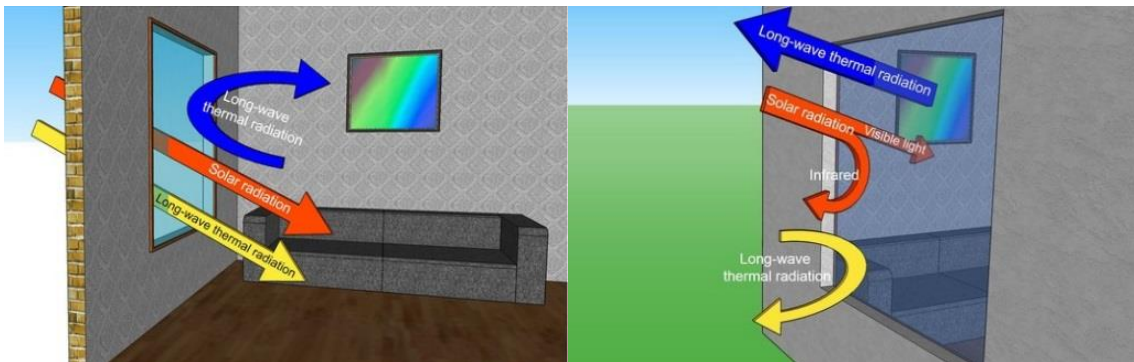


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σύνθεση και χαρακτηρισμός λεπτών υμενίων σε συμβατικούς υαλοπίνακες με ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) και εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΤΕΡΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, με τίτλο: «*Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*» και αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων με χρήση θερμοχρωμικών επιστρώσεων λεπτών υμενίων σε συμβατικά τζάμια προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση της υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες, η οποία είναι υπεύθυνη για την επιπλέον θέρμανση στους χώρους. Επίσης μελετάται η προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία. Είναι γνωστό ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελεί μείζων θέμα. Τέτοιου είδους λύσεις όπως και άλλες που θα αναφερθούν παρακάτω, θα πρέπει να είναι εφαρμόσιμες, διότι παρέχουν εξοικονόμηση ενέργειας και είναι φιλικές προς το περιβάλλον.

Στην αρχή μελετάται η ανάγκη μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας στον κτιριακό τομέα, αναλύονται οι παράγοντες που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην επίτευξη αυτού του στόχου. Στη συνέχεια αναλύεται ο ρόλος και η σπουδαιότητα των “έξυπνων” παραθύρων και ιδίως των θερμοχρωμικών. Ύστερα παρουσιάζονται αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών των επιστρώσεων πάνω σε συμβατικά τζάμια, ώστε να αναλυθούν και συγκριθούν οι οπτικές τους ιδιότητες.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ηλία Σταθάτο, Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της Εργασίας.

ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο
φοιτητής
(Ονοματεπώνυμο)

.....
...
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση θερμοχρωμικών επιστρώσεων σε συμβατικά τζάμια. Είναι γεγονός ότι μπορούν να προσφέρουν βελτιώσεις θερμικής άνεσης σε ένα χώρο, εξοικονόμηση ενέργειας, αισθητική αξία και προστασία από την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία. Με την ευρεία χρήση των υαλοπινάκων που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις σε τοίχους και στέγες σε σύγχρονα κτίρια, θα μπορούσαν να επιτευχθούν σημαντικά οικονομικά οφέλη αν οι εν λόγω γυάλινες επιφάνειες είχαν δυνατότητες παραγωγής ενέργειας.

Ως μείζων θέμα αναφέρεται η κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων και κυρίως των κατοικιών, αλλά και μέρος της ενέργειας που χρειάζονται τα κτίρια για θερμική άνεση. Αναλύονται οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στα κτίρια με έμφαση στη σπουδαιότητα των υαλοπινάκων για περαιτέρω εξοικονόμηση.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε οκτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία, το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η μετάδοση θερμότητας. Αναλύονται οι τρόποι μετάδοσης θερμότητας ώστε να γίνει κατανοητή η άμεση σχέση μεταξύ τους.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύεται ο ορισμός των “έξυπνων” παραθύρων και η χρησιμότητά τους σε κτιριακές εφαρμογές. Αναφέρονται οι παράγοντες αξιολόγησής των ανάλογα με τη χρήση και το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα. Γίνεται κατηγοριοποίηση αυτών και επεξηγείται ο ρόλος και η διαδικασία σε κάθε μια από αυτές.

Στο τρίτο Κεφάλαιο μελετώνται οι τεχνολογίες επίστρωσης που χρησιμοποιούνται με μεγαλύτερη έμφαση στην επίστρωση των θερμοχρωμικών film. Αναφέρονται όλες οι τεχνολογίες αναλυτικά και ακολουθεί ανάλυση της μεθόδου sol-gel η οποία και χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακά.

Το τέταρτο Κεφάλαιο εξηγεί τη σπουδαιότητα της υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας. Εξηγείται πότε πρέπει να αποφεύγεται σε ένα κτίριο και πότε μπορεί να εισέλθει προκειμένου να εξοικονομηθεί ενέργεια και να μειωθούν οι ανάγκες θέρμανσης – ψύξης σε ένα χώρο. Αναλύονται οι ιδιότητες των υαλοπινάκων με γνώμονα πάντα την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό των χώρων και την άνεση. Αναφέρεται ο ρόλος του συντελεστή θερμοπερατότητας U – value (k) αλλά και η επιλεκτικότητα των υαλοπινάκων.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής ανάλυση του ρόλου, της χρήσης, των χαρακτηριστικών αλλά και το είδος ανάλυσης του φασματοφωτόμετρου που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να διεξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται σε μια μελέτη ενδεικτική με σκοπό να γίνει κατανοητή η σπουδαιότητα και η ανάγκη βελτίωσης των υαλοστασίων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Αναφέρονται ενδεικτικά οι απώλειες ενός χώρου αρχικά με υαλοπίνακες με μονό τζάμι, στη συνέχεια οι θερμικές απώλειες της κατοικίας υπολογίζονται με διπλό τζάμι διάκενου 12mm και τέλος οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται με βάση το συντελεστή θερμοπερατότητας και τις προδιαγραφές ενός τζαμιού με επίστρωση θερμοχρωμικών ιδιοτήτων.

Στο έβδομο Κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία δημιουργίας των θερμοχρωμικών films στο εργαστήριο και στη συνέχεια παρεμβάλλονται τα αποτελέσματα όπως αυτά επεξεργάστηκαν από το φασματοφωτόμετρο. Εξηγούνται και συγκρίνονται οι διαφορές των γραφικών παραστάσεων των αποτελεσμάτων.

Γίνεται επίσης ανάλυση των δειγμάτων που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

Στο όγδοο Κεφάλαιο παρεμβάλλονται τρόποι και μέθοδοι άλλων ερευνητών που έχουν προσεγγίσει και έχουν λάβει πειραματικά αποτελέσματα της αποδοτικότητας των film που έχουν παρασκευάσει καθώς και του τρόπου που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Εργασία είναι α) η σημαντική διαφορά απόδοσης και κατ' επέκταση εξοικονόμησης ενέργειας λόγω των θερμοχρωμικών επιστρώσεων σε συμβατικά τζάμια, σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες, κυρίως για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, β) τείνει να γίνει οικονομικά προσιτό και εύκολα χρησιμοποιούμενο είτε σε ήδη υπάρχουσες κατοικίες είτε σε νέες εγκαταστάσεις, και γ) λόγω ανάκλασης της ανάκλασης που παρουσιάζουν στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας προστατεύει τους εσωτερικούς χώρους από τις βλαβερές επιπτώσεις.

ABSTRACT

The present studies are deal with the importance of saving energy, especially in buildings through the opening, taking into account several factors as orientation of the opening, external surrounding temperature, as well as the factors that affect the building itself, such as bioclimatic architecture design and materials used during the building construction.

The influence of thermochromic windows in the interior space is also being experimentally studied. Elicited measurements of many different materials - solution are observed more carefully in order that differences among them are recorded in term of the absorbance, transmittance and reflection. The results for the all aforementioned optical characteristics are studied and compared. The procedure that followed in the present study for preparing the coatings was the sol-gel method. Measurements were taken by absorption spectrophotometer which enabled the study and the results up to 2600 nm.

Besides, bibliographic studies carried out on the thermochromic windows by other researchers were also referred, utilizing different materials and methods of preparing to cover wider effects of different solutions in order to have a more complete overview on the proposed studies.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
Κατανάλωση Ενέργειας	1
Εξέλιξη – Επεμβάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας	2
Παράγοντες που συνεισφέρουν στα οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας.....	4
Εξέλιξη – Επεμβάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας	5
1. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	6
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	6
1.2 Ηλιακό Φάσμα	7
1.2.1 Η Υπεριώδης Ηλιακή Ακτινοβολία	8
1.2.2 Η Ορατή Ηλιακή Ακτινοβολία	9
1.2.3 Η Υπέρουθρη Ηλιακή Ακτινοβολία.....	10
1.3 Συντελεστές ηλιακής ακτινοβολίας.....	11
1.3.1 Συντελεστής Ανάκλασης	11
1.3.2 Συντελεστής Ανάκλασης	11
1.3.3 Συντελεστής διαπερατότητας	12
1.4 Μεταφορά θερμότητας	12
1.4.1 Μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγής.....	13
1.4.2 Μεταφορά θερμότητας λόγω μετάδοσης	13
1.4.3 Μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	14
2.1 ΕΞΥΠΝΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ.....	14
2.2 Εναλλαγή αντανάκλαστικών παραθύρων - Switchable Reflective Glazing (Intelligent Glazing) [13].....	15
2.3 Κατηγοριοποίηση “έξυπνων” παραθύρων.....	16
2.3.1 Ηλεκτροχρωμικά Παράθυρα.....	17
2.3.2 Αεριοχρωματικά παράθυρα (Gasochromic windows).....	19
2.3.3 Υγροί κρύσταλλοι (LC)	19
2.3.4 Συσσκευές αιωρούμενων σωματιδίων - Suspended-Particle Devices (SPD).....	20
2.3.5 Θερμοχρωμικά παράθυρα (TCW)	21
2.4 Οξειδίο του βαναδίου – Vanadium Oxide (VxOx).....	25
2.5 Οξειδίο του βαναδίου νοθευμένο με Βολφράμιο (VxOx doped with W).....	25

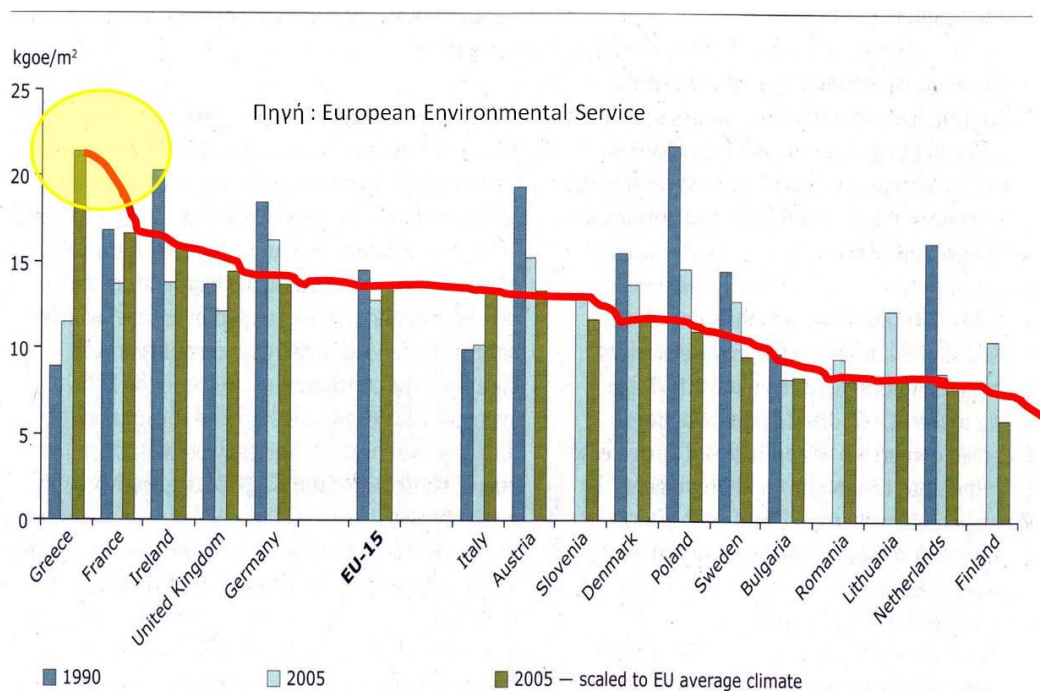
2.6	Οξειδίο του ψευδαργύρου νοθευμένο με Αλουμίνιο (ZnO : Al).....	26
2.7	Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO ₂)	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		30
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΧΡΩΜΙΚΩΝ Films		30
3.1	Μέθοδος Sol – Gel.....	30
3.2	Μέθοδος φυσικής εναπόθεσης ατμού - PVD Method	32
3.2.1	Εξάχνωση Υπό Κενό (Vacuum Evaporation).....	33
3.2.2	Θρυμματισμός (Sputtering).....	34
3.2.3	Επιταξία Μοριακής Δέσμης (MBE: Molecular Beam Epitaxy).....	35
3.3	Μέθοδος χημικής εναπόθεσης ατμού - CVD Method	36
3.3.1	Χημική εναπόθεση ατμών με τεχνολογία πλάσματος (Plasma CVD).....	37
3.3.2	Χημική εναπόθεση ατμών με τεχνολογία λέιζερ και φωτός	38
3.4	Τεχνολογία Ηλεκτροαποθέσεων	39
3.4.1	Βασικές αρχές ηλεκτροαπόθεσης.....	41
3.5	Μέθοδος αέριας φάσης (gas – phase).....	43
3.5.1	Συμπύκνωση αδρανούς αερίου (inert gas condensation)	43
3.5.2	Πυρόλυση αεροδιαλύματος	44
3.6	Διαδικασία Στερεού – Αερίου (Solid Vapor Process)	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		45
4.1	Θερμική Άνεση	45
4.2	Υπέρυθρη ακτινοβολία.....	47
4.3	Θερμική ακτινοβολία.....	47
4.3.1	Ηλιακή Σταθερά.....	48
4.3.2	Εσωτερική Ενέργεια	48
4.3.3	Θερμοχωρητικότητα.....	49
4.4	ΓΥΑΛΙ & ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ.....	50
4.4.1	Θερμική εκπομπή υαλοπινάκων	50
4.4.2	Ηλιακός Συντελεστής.....	51
4.4.3	Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-VALUE).....	52
4.4.4	Επιλεκτικότητα.....	53
4.4.5	3 ^{ης} γενιάς επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες Low-e.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		56
5.1	Γενικά.....	56
5.2	ΕΙΔΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ	57
5.3	Συγκριτικοί πίνακες χαρακτηριστικών υαλοστασίων - σκαριφήματα.....	60
5.4	Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας.....	64

5.5	Θερμικές Απώλειες	65
5.6	Συγκριτικοί πίνακες Θερμικών Απωλειών.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....		75
6.1	Φασματοφωτόμετρο	75
6.1.1	Λειτουργία του φωτοπολλαπλασιαστή PMT.....	76
6.1.2	Λειτουργία του ανιχνευτή InGaAs	76
6.1.3	Ψυχωμένος ανιχνευτής PBS	77
6.2	Φασματοφωτόμετρο υπερύθρων (FTIR)	79
Κεφάλαιο 7		82
7.1	Γενικά.....	82
7.1.1	Ανάλυση ηλεκτρικών ιδιοτήτων	84
7.1.2	Ανάλυση διαπερατότητας σε UV – VIS	84
7.1.3	Ανάλυση κρυσταλλικής δομής.....	85
7.1.4	Ανάλυση ιδιοτήτων στο υπέρυθρο φάσμα.....	86
7.2	Γενικά.....	87
7.2.1	Ιδιότητες οπτικών χαρακτηριστικών	87
7.2.2	Ανάλυση Διαπερατότητας – Ανακλαστικότητας	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....		91
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....		91
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....		91
8.1	Οξείδιο του Βαναδίου ($VxOx$).....	91
8.2	Οξείδιο του ψευδαργύρου με προσμίξεις Αλουμινίου (Zinc doped Al).....	93
8.3	Οξείδιο του Βαναδίου με προσμίξεις βολφραμικού οξέος ($VxOx$ doped W)	95
8.4	Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO_2)	97
8.5	Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων	99
Βιβλιογραφία		101

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατανάλωση Ενέργειας

Τα ελληνικά κτίρια παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή κατανάλωση. Σύμφωνα με το Eurostat [1] και το ευρωπαϊκό κέντρο περιβάλλοντος η Ελλάδα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης από χώρες σε αντίστοιχη γεωγραφική θέση ενώ είναι σημαντικά μεγαλύτερη από χώρες με ψυχρότερο κλίμα όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Συγκριτική κατανάλωση ενέργειας νοικοκυριών για θέρμανση στην Ευρώπη [1]

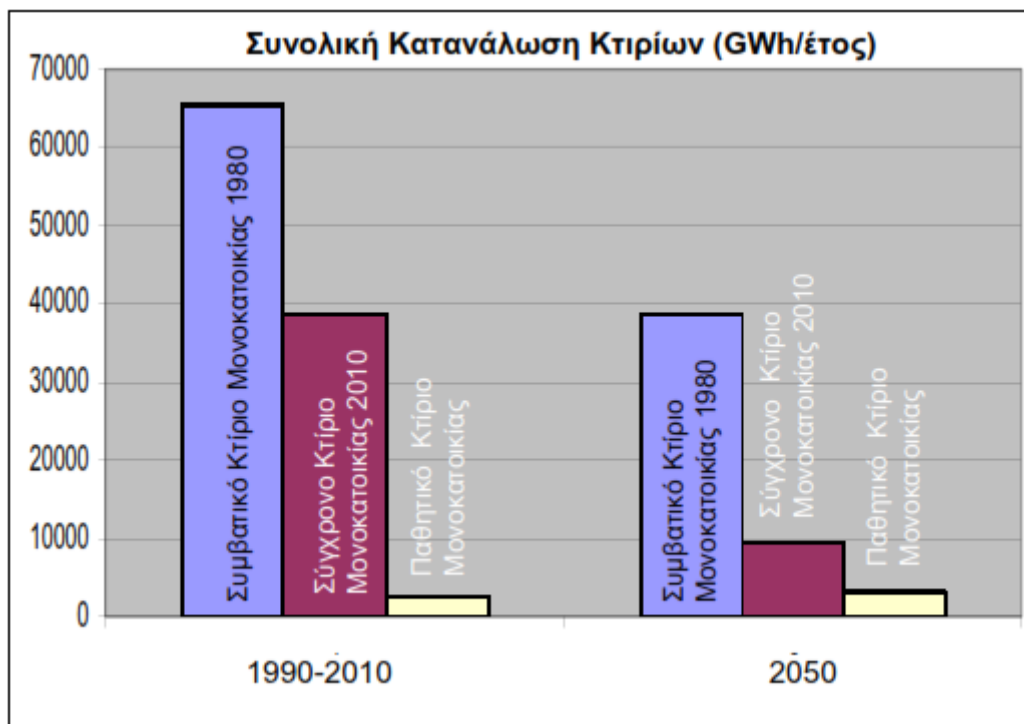
Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι υπάρχει σταδιακή αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας στην Ελλάδα με το πέρασ των χρόνων. Το αποτέλεσμα αυτό επιφέρει σημαντικά αρνητικές επιπτώσεις στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας δημιουργώντας την ανάγκη για κατασκευή περισσότερων σταθμών παραγωγής. Η αύξηση του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος είναι αναπόφευκτη, γεγονός που επιβαρύνει σημαντικά τον προϋπολογισμό του κάθε πολίτη.

Τα κτίρια που θεωρούνται ενεργοβόρα αφορούν κατά την κατασκευή τους κάποια παράληψη, αμέλεια ή αστοχία του σχεδιασμού ή της κατασκευής επί δεκαετίες. Πράγμα που σε ότι αφορά τη διαχείριση της ενέργειας θα έπρεπε να έχει αποφευχθεί. Έχει επίσης διαπιστωθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σαν αποτέλεσμα τοπικών και παγκόσμιων μεταβολών, η εμμονή στη χρήση εμπειρικών και ξεπερασμένων τεχνικών σχεδιασμού του αστικού χώρου και των κτιρίων, μεγιστοποιούν τη χρήση ενεργοβόρων μηχανικών μέσων για την εξασφάλιση της

θερμικής άνεσης και δημιουργούν σημαντικό πρόβλημα επιβιωσιμότητας σε σημαντικό μέρος του πληθυσμού, που αδυνατεί οικονομικά να ανταποκριθεί στην νέα πραγματικότητα.

Εξέλιξη – Επεμβάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας

Η μελλοντική και σχεδόν βέβαιη βελτίωση της τεχνολογίας των συστημάτων παραγωγής ενέργειας καθώς και η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κτιρίων αντισταθμίζει σε μεγάλο βαθμό τις συνέπειες της κλιματικής μεταβολής, όπως διαπιστώνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2: Μεταβολή της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της Ελλάδας για το έτος 2010 και το έτος 2050.

Τα κτίρια μηδενικών αναγκών θέρμανσης – ψύξης είναι εφικτά με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Αυτό συμβαίνει αν σε ένα σπίτι μονωθεί με τις υψηλότερες προδιαγραφές μόνωσης, δε χρειάζεται απαραίτητα σύστημα θέρμανσης ή ψύξης αντίστοιχα. Ένα σπίτι μπορεί να θερμαίνεται το χειμώνα από την ήλιο απευθείας, από τους ανθρώπους που ζουν εκεί αλλά και από τα ποσά θερμότητας που αποθηκεύονται και επανεκπέμπονται. Προφανές είναι το γεγονός ότι θα πρέπει να εντάσσονται νέες τεχνολογίες που εξυπηρετούν τους σκοπούς αυτούς αλλά και τις ανάγκες ανάλογα τις περιοχές και το κλίμα των.

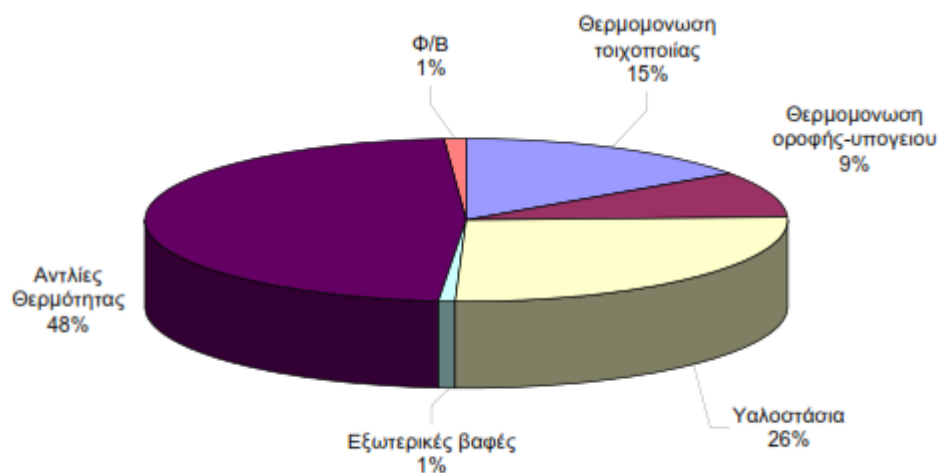
Πέραν των μονώσεων όμως για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός μεγάλη σημασία έχουν και οι υαλοπίνακες, οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγάλο μερίδιο ως προς τις προτεινόμενες παρεμβάσεις για κτίρια εξοικονόμησης ενέργειας. Μια από τις οδηγίες αφορά το σύνολο των υαλοπινάκων των υπαρχόντων κτιρίων να αντικατασταθούν από διπλούς με χαμηλό συντελεστή εκπομπής και συντελεστή θερμοπερατότητας $0.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Σε επόμενα κεφάλαια θα αναλυθεί ο ρόλος των υαλοπινάκων, τα χαρακτηριστικά τους αλλά και σε ερευνητικό επίπεδο οι πρόοδοι που έχουν γίνει. Επίσης παρεμβάλλονται πειραματικές μετρήσεις όσον αφορά τις ιδιότητές τους και ακολουθεί ανάλυση αυτών.

Σχετικά με τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα κάλυψης των κτιριακών αναγκών θέρμανσης – ψύξης καθώς και τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπολογίζεται ότι:

- Η θέρμανση και η ψύξη όλων των κτιρίων επιτυγχάνεται με ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας, μπορεί να καλύπτεται πλήρως από φωτοβολταϊκά στοιχεία

Βάση των παραπάνω παραδοχών, τα κτίρια εμμέσως μετατρέπονται σε κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη, θέρμανση αλλά και το σύνολο των ενεργειακών αναγκών των.

Στα υπάρχοντα κτίρια θα μπορούσαν να γίνουν παρεμβάσεις για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας όπως αυτές απεικονίζονται παρακάτω.



Σχήμα 3: Ανάλυση κόστους παρεμβάσεων ανά τεχνολογία.

Παράγοντες που συνεισφέρουν στα οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας

Αναλυτικά κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενέργεια σε ένα κτίριο λαμβάνονται από το άθροισμα των απωλειών και τα οφέλη θερμότητας είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Τέτοιοι είναι η θερμοκρασία, τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή και τα χαρακτηριστικά τους, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού περιβάλλοντος και του περιβάλλοντα χώρου, τα ανοίγματα και τα χαρακτηριστικά τους και τέλος οι συνήθειες των ιδιοκτητών ως προς τα οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας.

Με τον όρο θερμοκρασία ενός κτιρίου εννοείται ο συνδυασμός επιθυμητής θερμοκρασίας στο χώρο και η πραγματική θερμοκρασία στο εσωτερικό αυτού του χώρου. Τα φορτία που θα έπρεπε να καλυφθούν ακολουθούν την παρακάτω εξίσωση.

$$T_{\text{επιθ.}} - T_{\text{εσ.}} = \text{φορτίο που πρέπει να καλυφθεί (1)}$$

όπου: $T_{\text{επιθ}}$ → επιθυμητή θερμοκρασία και

$T_{\text{εσ}}$ → εσωτερική θερμοκρασία

Σύμφωνα με την εξίσωση (1) το αρνητικό αποτέλεσμα σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη ψυκτικού φορτίου, ενώ το θετικό αποτέλεσμα σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη θερμικού φορτίου.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή ενός κτιρίου αλλά και τα χαρακτηριστικά τους είναι υψίστης σημασίας προκειμένου να διατηρηθεί θερμική ισορροπία στο κτίριο ανάλογα με τους περιορισμούς και τα όρια που θέτονται κάθε φορά. Η μόνωση ανάμεσα σε κάθετες επιφάνειες, όπως τοίχους και παράθυρα, αλλά και οριζόντιες επιφάνειες, όπως πατώματα και οροφές, αποτελούν σημαντικά ζητήματα όπου στην πορεία θα επηρεάσουν τη “συμπεριφορά” του κτιρίου.

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός πρέπει να συναντά τις προδιαγραφές του βιοκλιματικού σχεδιασμού λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, όπως προσανατολισμός, τοποθεσία κτίσματος, φυσικός αερισμός, αστική ή υπαίθρια θέση και εναρμόνιση του περιβάλλοντος χώρου. Ο σχεδιασμός από την αρχή ενός παθητικού ηλιακού κτιρίου με σωστή διαμόρφωση μπορεί να μετατραπεί σε έξυπνο ενεργειακό κτίριο ή ακόμη και μηδενικό ενεργειακό κτίριο.

Τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού περιβάλλοντος και του περιβάλλοντος χώρου είναι οι κλιματικές συνθήκες αλλά και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτά τα στοιχεία καθορίζουν σημαντικά στοιχεία που θα βοηθήσουν τον προγραμματισμό για την αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων αλλά και ενίσχυση των αδύνατων σημείων. Στον περιβάλλοντα χώρο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πιθανά γειτονικά κτίρια, άλση και άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια.

Επίσης, η χρήση των συστημάτων κλιματισμού για τη διατήρηση άνεσης στην εργασία και τη διαβίωση έχουν γίνει όλο και πιο συχνές. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ταυτόχρονη αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων. Το γεγονός αυτό έρχεται να προστεθεί στο μεγαλύτερο πρόβλημα το οποίο έγκειται στην ήδη παγκόσμια άνοδο της θερμοκρασίας λόγω της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου και το οποίο επιβαρύνει την ήδη αυξημένη χρήση των συστημάτων κλιματισμού. Η τεχνολογία που απαιτείται

προκειμένου να μπορέσει να μειωθεί η χρήση του κλιματισμού σε εμπορικούς και οικιακούς χώρους υπάρχει ήδη και οφείλει να χρησιμοποιηθεί είτε για ενεργειακή αναβάθμιση των υπαρχόντων κτιρίων είτε ακόμη και την ενεργειακή αυτονομία αυτών.

Εξέλιξη – Επεμβάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας

Τα επιχρίσματα ηλιακού ελέγχου για τα παράθυρα είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τα παράθυρα στα κτίρια υπηρεσιών ή κατοικιών να διαδραματίσει ενεργό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, όπου αυτό είναι και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Εν τάχει ο ηλιακός έλεγχος είναι υψίστης σημασίας και αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν υποθεθεί ότι ένα περιβάλλον είναι συνεχώς ζεστό, τότε λεπτές μεταλλικές επικαλύψεις ή φιμέ τζάμια θα πρέπει να χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η ηλιακή θερμότητα να αντανakλάται μακριά ή να εμποδίζεται από την είσοδο του κτιρίου, ώστε να μειώνεται το κόστος ψύξης. Επίσης όταν το περιβάλλον είναι κρύο, η διατήρηση της θερμότητας εντός του κτιρίου, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση επιλεκτικής επίστρωσης η οποία να είναι οπτικά διαφανής και να έχει ιδιότητες χαμηλής εκπομπής. Αυτό επιτρέπει στο φως του ήλιου να εισέρχεται στο κτίριο, όπου μαζί με τη θερμότητα που παράγεται στο εσωτερικό (σε υπέρυθρα μήκη κύματος), να εμποδίζεται η διαφυγή της ώστε να μειώνονται οι απαιτήσεις θέρμανσης [2].

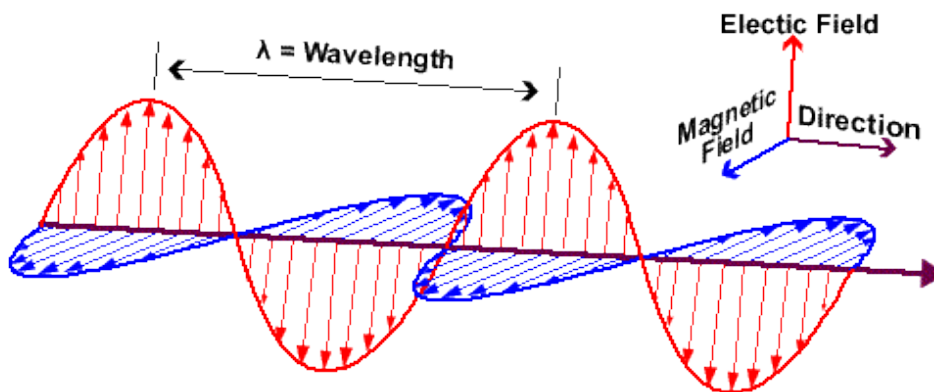
Σύμφωνα με αναφορά του εργαστηρίου ανανεώσιμης ενέργειας το 2009, τα ανοίγματα είναι υπεύθυνα περίπου 30% των κτιρίων για θέρμανση και ψύξη ηλεκτρικών φορτίων. Με την εφαρμογή τεχνικών υψηλής τεχνολογίας μπορούν να εξοικονομηθούν περίπου 6% της κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, για να περιοριστούν οι απώλειες αυτές με τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης ανοιγμάτων θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος του ηλιακού κέρδους και των απωλειών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των κτιρίων. Καθώς μειώνεται η μεταδιδόμενη ακτινοβολία, τα χρησιμοποιούμενα υλικά των ανοιγμάτων θα πρέπει να παρέχουν επαρκή μετάδοση του ορατού φωτός μέσω αυτών. Η μοντέρνα αρχιτεκτονική συνδυάζοντας την έννοια της άνεσης των κατοικιών αλλά και από αισθητικής άποψης δημιουργεί μια εντυπωσιακή σύνθεση φωτισμού από το εισερχόμενο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα οι διαφανείς προσόψεις να θεωρούνται απαραίτητα δομικά στοιχεία που παρέχουν ένα άνετο εσωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, υπάρχουν μερικοί στόχοι, οι οποίοι είναι δύσκολο να επιτευχθούν με συμβατικά υλικά όπως μέταλλα και πλαστικά ενώ το γυαλί θεωρείται κατάλληλο [3].

Βελτιωμένα χαρακτηριστικά υαλοπινάκων, όπως η θερμική διαπερατότητα και η ηλιακή παραμέτρων θεωρούνται σημαντικά κριτήρια ώστε να θεωρηθούν τα ανοίγματα κτιρίων πρότυπα. Υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός παραμέτρων που επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας μέσα από τα ανοίγματα, όπως εξωτερικές συνθήκες, σκίαση, προσανατολισμός κτιρίου, τύπος και θέση των ανοιγμάτων αλλά και τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων, όπως ήδη αναφέρθηκαν παραπάνω αλλά και θα αναφερθούν σε μεγαλύτερη έκταση στο τρίτο κεφάλαιο. Οι δύο πιο πρόσφατες εξελίξιμες εφαρμογές αφορούν τις αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες και τους έξυπνους υαλοπίνακες, τα οποία προσφέρουν εξαιρετική ενεργειακά απόδοση και συνάμα φιλική προς το περιβάλλον.

1. Ηλιακή Ακτινοβολία

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται από διαφορετικούς τύπους ενέργειας από τον ήλιο. Τέτοιοι είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια σαν σύνολο είναι πρακτικά ανεξάντλητη, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί στο χώρο και στο χρόνο για την λειτουργία της. Κύρια πηγή της ενέργειας του συστήματος Γης – ατμόσφαιρας, είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τον ήλιο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε περιοχές από το μήκος κύματος (λ), την περίοδο και τη συχνότητα. Όλες αυτές οι περιοχές αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο χώρο και μεταφέρουν ηλεκτρική και μαγνητική ενέργεια με την ταχύτητα του φωτός.



Σχήμα 4: Απεικόνιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων [4]

Μήκος κύματος (λ) είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Η θερμική δυναμική και η δυνατότητα φωτισμού των τζαμιών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους ενεργειακούς υπολογισμούς ενός κτιρίου. Η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων περιλαμβάνει γενικά υπολογισμούς βασισμένους στο λόγο της διαφοράς θερμοκρασίας ενός χώρου στο κτίριο και τη ροή θερμότητας (R-Value) ή το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου σε ορισμένες συνθήκες (U-factor). Σε ψυχρά κλίματα, χαμηλός συντελεστής θερμοπερατότητας με μεγάλη ροή θερμότητας, εμποδίζει τη διαφυγή θερμότητας από τα κτίρια και σε θερμά κλίματα εμποδίζει τη θερμότητα από την είσοδο των κτιρίων.

1.2 Ηλιακό Φάσμα

Ο ήλιος ακτινοβολεί με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και χωρίζεται σε τρεις κύριες διακριτές συχνότητες όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Υπεριώδης ακτινοβολία → UV 150nm - 400nm

Ορατή ακτινοβολία → Visible 400nm - 740nm

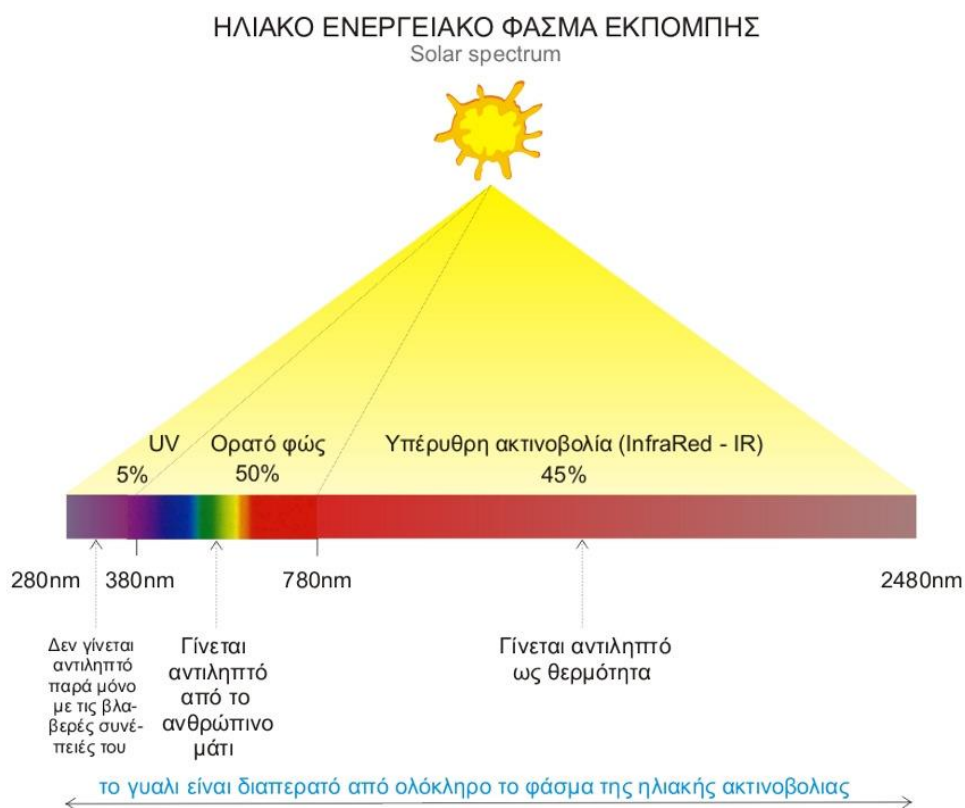
Υπέρυθρη ακτινοβολία → Infrared 740nm - 4000nm

*Η κατανομή της ενέργειας στο ηλιακό φάσμα
(Radiation in the atmosphere by K. Y. Kondratyev)*

<i>Φασματική Περιοχή</i>	<i>Μήκος κύματος</i>	<i>Ένταση</i>
<i>Υπεριώδης</i>	150 nm - 400 nm	0.183 ly/min
<i>I</i>	150 - 280	0.011
<i>II</i>	280 - 320	0.035
<i>III</i>	320 - 400	0.137
<i>Ορατή</i>	400 nm - 740 nm	0.865 ly/min
<i>I</i>	400 - 520	0.343
<i>II</i>	520 - 620	0.259
<i>III</i>	620 - 740	0.263
<i>Υπέρυθρη</i>	740 nm - 4000 nm	0.922 ly/min
<i>I</i>	740 - 1400	0.658
<i>II</i>	1400 - 3000	0.241
<i>III</i>	3000 - 4000	0.022

Σχήμα 5: Συχνότητες της ηλιακής ακτινοβολίας [5]

Από τη συνολική ενέργεια που ακτινοβολεί ο ήλιος, μόνο το 5% εκπέμπεται στην υπεριώδη περιοχή, το 50% εκπέμπεται στην ορατή περιοχή και τέλος το υπόλοιπο 45% εκπέμπεται στην υπέρυθη περιοχή. Από το σύνολο της ηλιακής ενέργειας το ανθρώπινο μάτι μπορεί να εντοπίσει μόνο ένα μικρό εύρος συχνοτήτων που ανήκει στο 50% της συνολικής, δηλαδή της ορατής περιοχής.



Σχήμα 6: Σχηματική αναπαράσταση του ηλιακού φάσματος

1.2.1 Η Υπεριώδης Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία (UV) [6] αποτελεί ένα πολύ μικρό μέρος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος της Γης. Η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτήν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον άνθρωπο. Το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να αντιληφθεί την υπεριώδη ακτινοβολία, άρα είναι δύσκολο να μπορέσει να αναγνωριστεί η έντασή της, η οποία γενικά ακολουθεί τις μεταβολές της ορατής ακτινοβολίας που προκαλούνται όπως είναι αλλαγή της θέσης του ήλιου σε σχέση με τον ορίζοντα ή τα νέφη. Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι παράγοντες που επιδρούν μόνο στην υπεριώδη ακτινοβολία, όπως το όζον. Αν μειωθεί το όζον πάνω από έναν τόπο, η υπεριώδης ακτινοβολία θα αυξηθεί, όμως η ορατή ακτινοβολία θα παραμείνει αμετάβλητη.

Τα τελευταία 15 χρόνια η υπεριώδης ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος έχει αυξηθεί σημαντικά σε πολλές περιοχές της Γης, συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας, σαν αποτέλεσμα της μείωσης του όζοντος, και της ελάττωσης των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία. Ανεξάρτητα όμως από την αυξητική τάση, οι βλαβερές επιπτώσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας θα μπορούσαν να προκληθούν ακόμη και είχε παρατηρηθεί ελάττωση της υπεριώδους ακτινοβολίας, διότι εξαρτώνται καθαρά από τον χρόνο έκθεσης σε αυτήν.

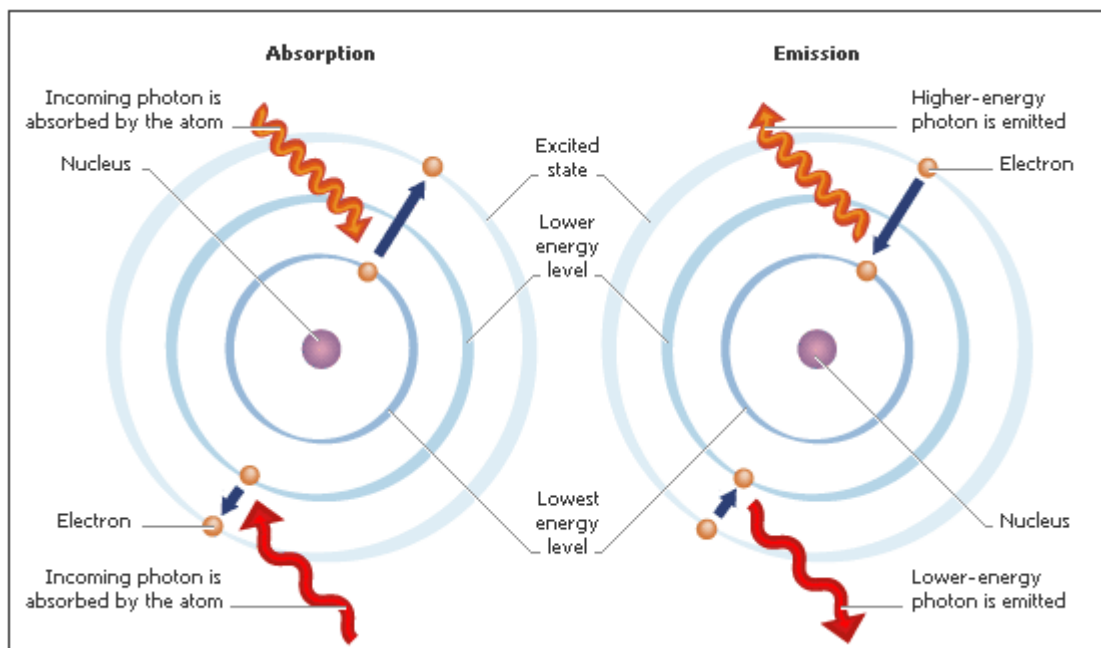
Ο **δείκτης UV** (Ultra-Violet = Υπέρ Ιώδης) είναι ένα μέγεθος το οποίο καθιερώθηκε διεθνώς ως ένα απλό μέσο έκφρασης της επικινδυνότητας της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας. Η μεγάλη τιμή του δείκτη UV, η οποία κυμαίνεται ≈ 10 με 11 δηλώνει εξαιρετικά ισχυρή ακτινοβολία, ενώ όσο ο ήλιος πλησιάζει στον ορίζοντα τόσο μικρότερες τιμές έχει ο δείκτης UV και κατά συνέπεια τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος από την υπεριώδη ακτινοβολία.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα μετάδοσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που μεταφέρεται από την ακτινοβολία. Η υψηλή συχνότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι περισσότερο επιζήμια από την ορατή ή την υπέρυθη ακτινοβολία. Με βάση την βασική αρχή της φυσικής που η ενέργεια δεν εξαφανίζεται ούτε δημιουργείται από το μηδέν, μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι το άθροισμα των τριών ειδών των ηλιακών ακτινοβολιών πρέπει πάντα να δίνει αποτέλεσμα 100%.

1.2.2 Η Ορατή Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ορατή ηλιακή ακτινοβολία του φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος. Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες το φως εκδηλώνει ιδιότητες είτε φωτεινού κύματος, (φωτεινή ακτίνα), είτε δέσμης σωματιδίων, (φωτεινή δέσμη ή δέσμες).

Το σωματίδιο αυτό είναι το φωτόνιο, το οποίο είναι η πηγή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό είναι αποτέλεσμα του φαινομένου ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου σε καθορισμένες τροχιές, οι οποίες εκπροσωπούν ένα ενεργειακό επίπεδο η κάθε μία.



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση των ηλεκτρονίων [7]

Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στις τροχιές μέσα στα ηλεκτρονικά νέφη. Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια από εξωτερικούς παράγοντες και να ανέλθουν σε κάποια ανώτερη ενεργειακή στάθμη.

Αυτή η κατάσταση του ηλεκτρονίου στην ανώτερη στάθμη είναι ασταθής και τελικά χάνει την επιπλέον ενέργεια με αποτέλεσμα να επανέλθει στην προηγούμενη κατάστασή του. Για να γίνει αυτό εκπέμπει φωτόνια, δηλαδή φως. Η ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτονίων είναι ίση με αυτή που απορρόφησε το ηλεκτρόνιο για να ανέλθει στην ανώτερη στάθμη προηγουμένως.

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας ο οποίος αναλύει τα χρώματα που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι ανάλογα το μήκος κύματος.

Μήκος κύματος (σε νανόμετρα)	Χρώμα που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι
340-400	υπεριώδες (δεν είναι ορατό)
400-430	μωβ
430-500	μπλε
500-560	πράσινο
560-620	κίτρινο προς πορτοκαλί
620-700	πορτοκαλί προς κόκκινο
πάνω από 700	σχεδόν υπέρυθρο (δεν είναι ορατό)

1.2.3 Η Υπέρυθρη Ηλιακή Ακτινοβολία

Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα κάτω από την περιοχή της ερυθρής περιοχής του ορατού φωτός [8]. Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από το 1 χιλιοστό έως τα 700 νάνο-μέτρα, όπου ξεκινά το ορατό φάσμα. Συνήθως εκπέμπονται από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερες υπέρυθρες και αντίστροφα τα σώματα που απορροφούν περισσότερες υπέρυθρες αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την ταλάντωση των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, η οποία αφορά τη θερμική ενέργεια του σώματος. Μεγαλύτερη ανάλυση της υπέρυθρης ακτινοβολίας ακολουθεί στο πέμπτο κεφάλαιο.

1.3 Συντελεστές ηλιακής ακτινοβολίας

Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, ένα μέρος της ανακλάται, ένα άλλο μέρος απορροφάται από τη μάζα και το άλλο μέρος διέρχεται μέσω του υαλοπίνακα. Η σχέση του κάθε τμήματος προς τη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία καθορίζει το συντελεστή ανάκλασης, το συντελεστή απορρόφησης και του συντελεστή διαπερατότητας.

1.3.1 Συντελεστής Ανάκλασης

Συντελεστή ανάκλασης είναι μια παράμετρος που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο ένα μέρος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος ανακλάται από μια ασυνέχεια εμπέδησης στο μέσο μετάδοσης. Είναι ίση με την αναλογία του πλάτους του ανακλώμενου κύματος προς το προσπίπτον κύμα, όπου και τα δύο εκφράζονται ως διανύσματα. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ποσότητας του φωτός που αντανακλάται από μια επιφάνεια με έναν διαφορετικό δείκτη διάθλασης, όπως μία γυάλινη επιφάνεια, για να υπολογίσει το ποσό του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που ανακλάται από μια αντίσταση. Ο συντελεστής ανάκλασης είναι στενά συνδεδεμένος με τον συντελεστή μετάδοσης (διαπερατότητας). Γωνία ανάκλασης είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ανακλώμενη δέσμη με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης. Με βάση τους νόμους της ανάκλασης είναι γνωστό ότι:

1. Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη ευθεία γραμμή στην επιφάνεια ανάκλασης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.
2. Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίδια με τη γωνία ανάκλασης

Βάση του δεύτερου νόμου, εάν η προσπίπτουσα ακτίνα είναι κάθετη προς την επιφάνεια την οποία ανακλάται, δηλαδή έχει γωνία 0° , τότε η ανακλώμενη ακτίνα έχει επίσης γωνία 0° , δηλαδή συμπίπτουν.

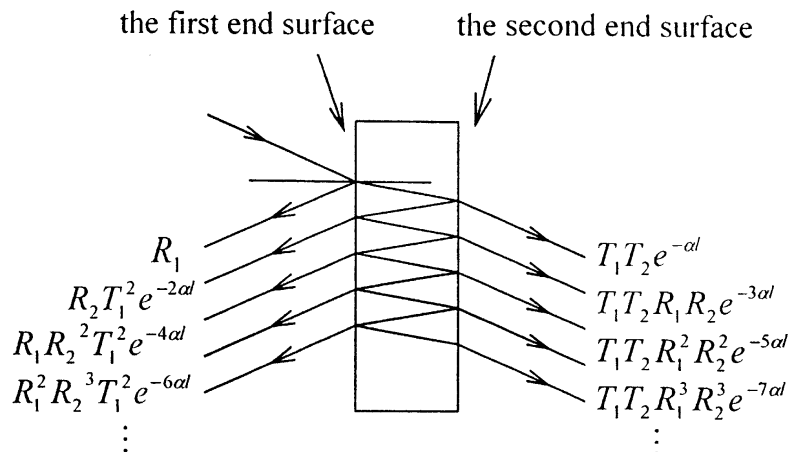
Η πειραματική απόδειξη των νόμων ανάκλασης γίνεται με το "γωνιομετρικό δίσκο".

Η ανάκλαση του φωτός εξαρτάται άμεσα από το υλικό της ανακλώμενης επιφάνειας. Δηλαδή, αν η επιφάνεια διαχωρίζει ένα διηλεκτρικό από ένα αγωγίμο υλικό, τότε η φάση του κύματος μπορεί να αναστραφεί. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν η επιφάνεια του διηλεκτρικού υλικού διαχωρίζεται από ένα άλλο υλικό, η ηλεκτρική φάση του κύματος δεν αναστρέφεται.

1.3.2 Συντελεστής Ανάκλασης

Απορρόφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία η ενέργεια των φωτονίων απορροφάται από ένα άλλο υλικό. Δηλαδή, ένα άτομο του οποίου τα ηλεκτρόνια σθένους μετακινούνται από το ένα επίπεδο ενέργειας σε ένα υψηλότερο, απορροφάται ενέργεια. Τα πρώτα λοιπόν σωματίδια που μεταφέρθηκαν μπορούν να χάσουν την ενέργεια που απορροφάται είτε με ανταλλαγή θερμότητας είτε λόγω ακτινοβολίας.

Η εξασφάλιση της ακρίβειας του συντελεστή απορρόφησης εξαρτάται από την ποιότητα της επιφάνειας αλλά το πόσο επίπεδες είναι οι δύο τελικές επιφάνειες των μετρούμενων δειγμάτων, καθώς και η διαπερατότητα και ο δείκτης διάθλασης. Αυτή η απορρόφηση της ενέργειας μετράται με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας.



Σχήμα 8: Σχηματική αναπαράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας όπως αυτή ανακλάται και διαπερνά την επιφάνεια. [9]

1.3.3 Συντελεστής διαπερατότητας

Η **διαπερατότητα** είναι η φυσική ιδιότητα που επιτρέπει στο φως να περάσει από το υλικό όπου τα φωτόνια μπορούν να διασκορπιστούν σε μια από ότι δύο διεπαφές, λόγω μεταβολής του δείκτη διαθλάσεως. Όταν το φως συναντά το υλικό, μπορεί να αλληλοεπιδράσει με αυτό με πολλούς τρόπους. Αυτές οι αλληλοεπιδράσεις εξαρτώνται από το μήκος κύματος του φωτός και τη φύση του υλικού. Τα φωτόνια αλληλοεπιδρούν με ένα αντικείμενο με συνδυασμό αντανάκλασης, απορρόφησης και μεταφοράς.

Μερικά υλικά, όπως το γυαλί και καθαρό νερό, μεταδίδουν ένα μεγάλο μέρος του φωτός όταν τα διαπερνά και λίγο είναι αυτό το οποίο ανακλούν. Τέτοιου είδους υλικά ονομάζονται οπτικά διαφανή. Πολλά υγρά και υδατικά διαλύματα είναι ιδιαίτερα διαφανή και η απουσία δομικών ελαττωμάτων (κενά, ρωγμές) αλλά και προβλήματα στη μοριακή δομή των περισσότερων υγρών είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για την άριστη οπτική μετάδοση.

1.4 Μεταφορά θερμότητας

Η μεταφορά θερμότητας περιγράφει την ανταλλαγή θερμικής ενέργειας μεταξύ φυσικών συστημάτων, ανάλογα με τη θερμοκρασία, την πίεση και τη διάχυση της θερμότητας [10]. Επεκτείνει τη θερμοδυναμική ανάλυση μελετώντας τις θεμελιώδεις διαδικασίες και τους τρόπους μεταφοράς θερμότητας μέσω της ανάπτυξης των

σχέσεων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό τους. Οι βασικές λειτουργίες της μεταφοράς θερμότητας είναι λόγω αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας [11].

1.4.1 Μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγής

Η μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγής λαμβάνει χώρα σε μοριακό επίπεδο στο ίδιο μέσο, το οποίο μπορεί να είναι στερεό ή ρευστό. Η θερμότητα μεταφέρεται κατά μήκος του μέσου όταν η θερμοκρασία του ενός αυξηθεί ή σε επαπτόμενα μεταξύ τους μέσα. Η αγωγή μεταφορά είναι άμεσου ενδιαφέροντος μέσα από στερεά υλικά. Ωστόσο, η αγωγιμότητα εντός υγρών είναι επίσης σημαντική καθώς είναι ένας από τους μηχανισμούς με τους οποίους η θερμότητα φθάνει και αφήνει την επιφάνεια ενός στερεού. Επιπλέον, τα μικροσκοπικά κενά μέσα στα στερεά υλικά περιέχουν τα αέρια που άγουν τη θερμότητα, αν και δεν είναι πολύ αποτελεσματικά εφόσον δεν έχουν αντικατασταθεί από υγρά, γεγονός που δεν είναι ασυνήθιστο.

1.4.2 Μεταφορά θερμότητας λόγω μετάδοσης

Η μετάδοση της θερμότητας μέσω μεταφοράς ισχύει για την μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού και ενός υγρού ή αερίου σώματος. Αυτός ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας συνεπάγεται κίνηση των μορίων μέσω κυκλοφορίας. Οι διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ των σημείων του υγρού ή αερίου υλικού, προκαλούν κίνηση των μορίων προς τα επάνω καθώς αυτά ζεσταίνονται, με αποτέλεσμα την βαθμιαία εξισορρόπηση της θερμοκρασίας. Εμφανίζεται με δύο μορφές, την ελεύθερη ροή και την εξαναγκασμένη.

- Στην ελεύθερη ροή, η ρευστή κίνηση οδηγείται από τις διαφορές πυκνότητας που σχετίζονται με τις αλλαγές της θερμοκρασίας μέσω της θέρμανσης ή ψύξης. Συνοπτικά η ροή ρευστού προκαλείται από τις δυνάμεις άνωσης. Έτσι, η ίδια η μεταφορά θερμότητας δημιουργεί ροή η οποία μεταφέρει την ενέργεια μακριά από το σημείο αναφοράς.
- Στην εξαναγκασμένη ροή, η κίνηση του ρευστού επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες. Τέτοιο παράδειγμα είναι η ροή αέρα από κάποιον ανεμιστήρα, ή τον αέρα καθώς και η ροή ρευστού εντός των συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης. Σε όλες αυτές τις διαδικασίες τα ρευστά μεταφέρουν ενέργεια, είτε από το σχεδιασμό ή ακούσια.

1.4.3 Μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας

Η μεταφορά θερμότητας από θερμική ακτινοβολία, ή υπέρυθρη ακτινοβολία, έχει διαφορετικό μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας από ότι οι δύο προηγούμενες μορφές. Ειδικότερα, η θερμική ακτινοβολία δεν απαιτεί κανένα μέσο για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας. Η θερμική ακτινοβολία μπορεί να ταξιδέψει μέσω του "κενού" χώρου (όπως η θερμότητα φθάνει στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο). Είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο, το οποίο εμφανίζεται ως αποτέλεσμα σωμάτων απόλυτης θερμοκρασίας. Όλα τα σώματα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν βιώνουν τη μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας. Το εύρος της θερμικής ακτινοβολίας βρίσκεται σε μήκος κύματος $0,1 < \lambda < 100 \mu\text{m}$, ενώ το ορατό φως καταλαμβάνει το εύρος $0,5 < \lambda < 1 \mu\text{m}$. Για στερεές επιφάνειες, θερμική ακτινοβολία

απορροφάται και εκπέμπεται μέσα σε περίπου 1 μm από την επιφάνεια. Η απορρόφηση και η εκπομπή της θερμικής ακτινοβολίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και τις οπτικές ιδιότητές της.

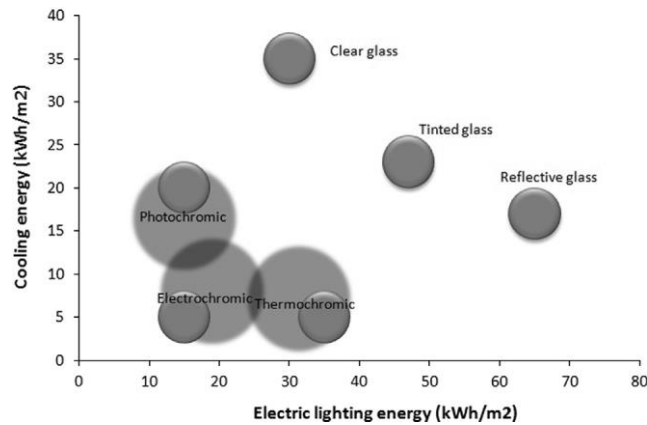
Στη μεταφορά θερμότητας η ανταλλαγή κινητικής ενέργειας των σωματιδίων των δύο συστημάτων, τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες λαμβάνει χώρα πάντοτε από μία περιοχή υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη περιοχή της χαμηλότερης θερμοκρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΕΞΥΠΝΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ

Τα ανοίγματα και ιδίως τα παράθυρα είναι γνωστά ως μία από τις πιο ενεργειακά αποδοτική συνιστώσα του κτιρίου. Η πρόληψη των απωλειών σε συνδυασμό με την βελτίωση της θερμικής απόδοσης των ανοιγμάτων [12], οδηγεί σε μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και λιγότερες εκπομπές αέριων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα ιδανικό άνοιγμα θα πρέπει να είναι ικανό να είναι διαπερατό στο ορατό φάσμα την ηλιακής ακτινοβολίας (VIS), όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο, και να μπορεί να ελέγχει το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας είναι οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του τζαμιού. Βελτιώνοντας τα οπτικά χαρακτηριστικά των τζαμιών αλλά και μελετώντας τη μετάδοση θερμότητας, που απαιτούνται για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, οι οποίες λαμβάνονται υπόψιν από τις οδηγίες ISO 10291:1994, ISO 12567:2005, ISO 9050:2003, ISO 14438:2002. Ορισμένες μελέτες προκειμένου να καθορίσουν τις οπτικές ιδιότητες των επικαλυμμένων γυαλιών έχουν συμμορφωθεί σύμφωνα με την ισοδύναμη ευρωπαϊκή οδηγία EN420.

Ως έξυπνα παράθυρα ορίζεται το είδος των παραθύρων που εμποδίζουν μερικώς την ανεπιθύμητη ηλιακή ακτινοβολία και μπορεί να βελτιώσει στα κτίρια τα επίπεδα της ενεργειακής τους απόδοσης. Η ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνεται με την αύξηση της απολαβής θερμότητας σε κρύο καιρό και την αντίστοιχη μείωση της θερμότητας σε ζεστό καιρό χρησιμοποιώντας παράθυρα με δυναμικές θερμικές ιδιότητες. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα σύγχρονων επιλογών των έξυπνων τζαμιών για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Μερικά από αυτά αναφέρονται παρακάτω και περιλαμβάνουν) επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής low-e, β) πολύ μικρές περσίδες, γ) τζάμια διηλεκτρικού υλικού / μετάλλου / διηλεκτρικές (D / M / D) ταινίες, δ) ηλεκτροχρωμικά παράθυρα, ε) gasochromic παράθυρα, στ) υγρού κρυστάλλου υαλοπίνακες, ζ) συσκευές αιωρούμενων σωματιδίων και η) θερμοχρωμικά παράθυρα.



Σχήμα 9: Σύγκριση της ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο και της ψυκτικής ενέργειας μεταξύ των διαφόρων τύπων υαλοπινάκων [13]

Κάποια από τα αναφερθέντα είδη υαλοπινάκων θα αναλυθούν παρακάτω για τη χρήση και τις ιδιότητές τους. Η χρήση τους γίνεται εφαρμόζοντάς τα σε παθητικά και ενεργητικά συστήματα ανάλογα με την διαφοροποίηση των ιδιοτήτων του γυαλιού που βασίζονται σε οπτική μεταγωγή.

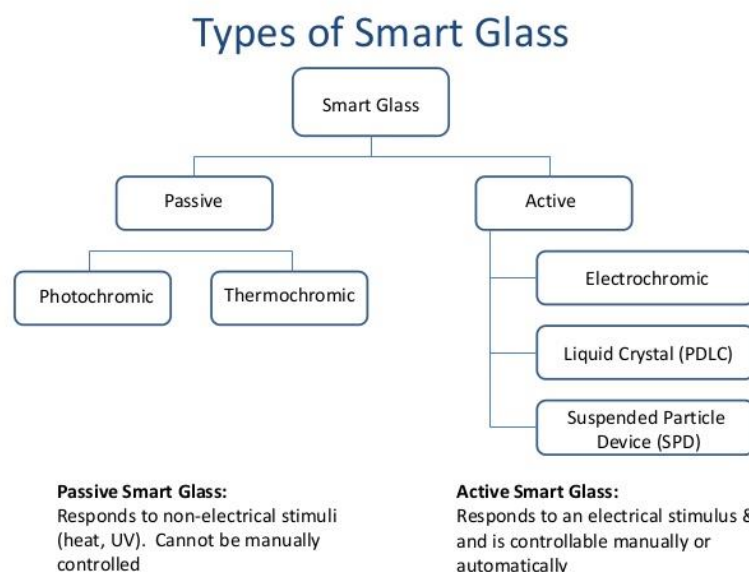
2.2 Εναλλαγή αντανακλαστικών παραθύρων - Switchable Reflective Glazing (Intelligent Glazing) [13]

Σε παθητικά συστήματα, η διαδικασία μεταγωγής ενεργοποιείται αυτόματα σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός ο περιβαλλοντικός παράγοντας μπορεί να είναι το φως για τα φωτοχρωμικά παράθυρα ή η θερμοκρασία και η θερμότητα στα θερμοχρωμικά παράθυρα (TCW). Εναλλακτικά, τα ενεργητικά συστήματα απαιτούν έναν εξωτερικό μηχανισμό ενεργοποίησης για την εκτέλεση της διαμόρφωσης. Σχηματικά εμφανίζονται αυτές οι δύο κατηγορίες αναλυτικά παρακάτω. Για παράδειγμα, η ηλεκτρική ενέργεια είναι το σήμα ενεργοποίησης σε ηλεκτροχρωμικά παράθυρα (ECW). Τα ενεργά συστήματα εναλλαγής τζαμιών προσφέρουν πρόσθετες επιλογές σε σύγκριση με τα παθητικά συστήματα, ενώ εξαρτώνται από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και καλωδίων γεγονός που υπολογίζεται ως μειονέκτημα. Χρωμικά υλικά, υγροί κρύσταλλοι, και αιωρούμενα σωματίδια είναι οι τρεις πιο κοινές τεχνικές ελέγχου των ενεργητικών συστημάτων. Η τελευταίες δύο τεχνικές μοιράζονται το μειονέκτημα της εξάρτησής της από ένα διατηρούμενο ηλεκτρικό πεδίο ακόμη και όταν είναι επιθυμητή μια διαφανής λειτουργία, με αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό βέβαια δε συμβαίνει σε ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ρεύμα μόνο για την μετάβαση.

Οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αξιολογήσουν την επίδοση των “έξυπνων” παραθύρων παρατίθενται παρακάτω ανάλογα με τη σπουδαιότητά της.

- Διαφοροποίηση της μετάδοσης στο ορατό φάσμα αλλά και στο εξωτερικό του ορατού φάσματος
- Προβλεπόμενος χρόνος ζωής και ο αριθμός των κύκλων ζωής χωρίς υποβάθμιση
- Ο χρόνος που απαιτείται για την εναλλαγή μεταξύ έγχρωμης και αποχρωματισμένης κατάστασης, που εξαρτάται από το μέγεθος του παραθύρου
- Το μέγεθος του παραθύρου που η λειτουργία είναι αποτελεσματική
- Η συνολική κατανάλωση ενέργειας
- Τάση λειτουργίας και θερμοκρασίας

2.3 Κατηγοριοποίηση “έξυπνων” παραθύρων



Σχήμα 10: Κατηγοριοποίηση των “έξυπνων” παραθύρων κατά την εφαρμογή τους

Ακολουθεί πίνακας σύγκρισης των διαφόρων τύπων των έξυπνων παραθύρων:

	Thermal performance	Optical performance	View	Actuator	Challenge
TC	Reducing transmitted radiation UV transmissive in colored mode; operates best in the near IR	Low transmission in visible range	Transparent at high IR ; reduction in light intensity but still transparent	Heat (surface temperature)	Low visibility (can be solved by choosing the suitable dopant)

EC	reducing transmitted radiation	transparent in the short wavelength region coupled with opacity in the long wavelength region	Reduction in light intensity	Voltage or current	Electric field dependent; Wiring required
LC	Low reduction in transmitted radiation	Opaque in colored mode	Reduction in visibility; opaque	Voltage	High electricity consumption
SPD	Low reduction in transmitted radiation	Opaque in colored mode	Reduction in visibility; opaque	Current	High electricity consumption

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας των χαρακτηριστικών των “έξυπνων” παραθύρων

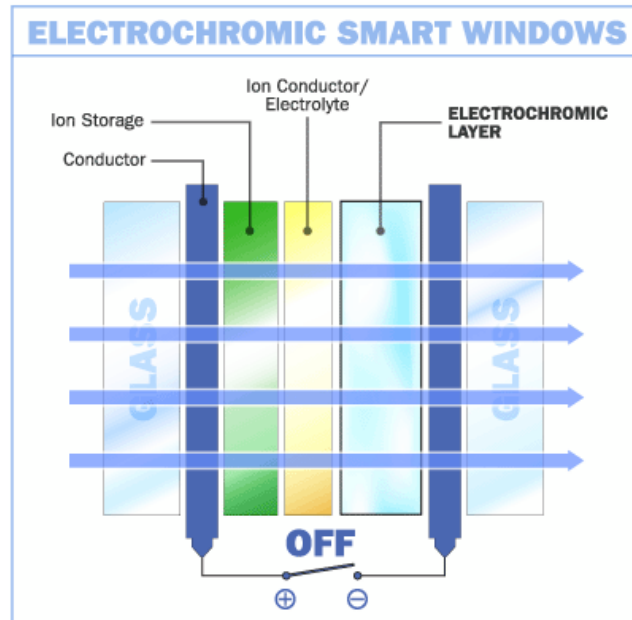
2.3.1 Ηλεκτροχρωμικά Παράθυρα

Η αποτελεσματικότητα των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων, η οποία πρώτη φορά εξηγείται το 1969, έχει τέτοια διάταξη η οποία μπορεί να αλλάζει τις οπτικές ιδιότητές του υαλοπίνακα όταν εφαρμοστεί μια εξωτερική τάση με χαμηλό δυναμικό DC, η οποία ενεργοποιεί το ηλεκτροχρωμικό υλικό και διαμορφώνει τη διαπερατότητά του στο ορατό αλλά κυρίως στο υπέρυθρο φάσμα την ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα αποτελούνται από διάφορες στρώσεις οι οποίες βρίσκονται στο εσωτερικό του γυαλιού. Τα υποστρώματα γυαλιού συνήθως είναι επικαλυμμένα με διαφανή αγωγή υμένα σε φυσικά χρώματα. Το επικαλυμμένο γυαλί αποτελείται συνήθως από τρεις στρώσεις:

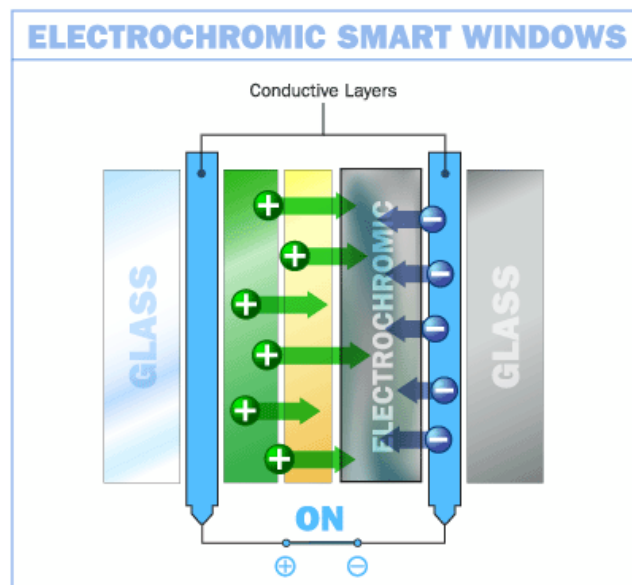
- Την ηλεκτροχρωμική ταινία η οποία παίρνει ένα πιο σκούρο χρώμα όταν το εξωτερικό κύκλωμα μεταφέρει ηλεκτρόνια στο ηλεκτροχρωμικό πλέγμα για την αντιστάθμιση των θετικών ιόντων που εγχυθήκαν από το γειτονικό στρώμα αποθήκευσης ιόντων
- Αγωγός ιόντων
- Στρώμα αποθήκευσης των ιόντων που γίνεται σκοτεινότερο ενώ απελευθερώνει θετικά ιόντα

Τα ηλεκτροχρωμικά στρώματα καθώς εναλλάσσονται μεταξύ τους από την οξειδωμένη και ανηγμένη μορφή τους προκαλούν μεταβολές στις οπτικές ιδιότητες και τα χρώματά τους. Ιδανικά θα έπρεπε να λειτουργούν περισσότερο ως ανακλαστικά και από ότι ως απορροφητικά στην έγχρωμη κατάσταση τους σε σχέση με τη λειτουργία αποχρωμάτισης.

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα [13] θα πρέπει να επιτρέπουν το φως της ημέρας και να λειτουργούν ως εμπόδιο για τη θέρμανση. Προφανώς, αυτό το είδος του παραθύρου δεν είναι ικανό να παρέχει και τις δύο δράσεις ταυτόχρονα. Η λειτουργία τους μπορεί να ελεγχθεί από το θερμικό φορτίο, τη θερμοκρασία αλλά και το φως του ήλιου. Η τελευταία είναι η καλύτερη παράμετρος ιδιαίτερα από την άποψη της άνεση. Όλο και περισσότερο, τα αυτό-παραγόμενα ηλεκτροθερμικά παράθυρα χρησιμοποιούν ημιδιάφανες φωτοβολταϊκές κυψέλες, οι οποίες παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια ενεργοποίησης. Παρακάτω παρατίθενται σχηματικά η λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε αποχρωματισμό, μη λειτουργία, αλλά και σε έγχρωμη κατάσταση, λειτουργία.



Σχήμα 11: Απεικόνιση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε μη λειτουργία (κατάσταση αποχρωματισμού)



Σχήμα 12: Απεικόνιση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε λειτουργία (έγχρωμη κατάσταση)

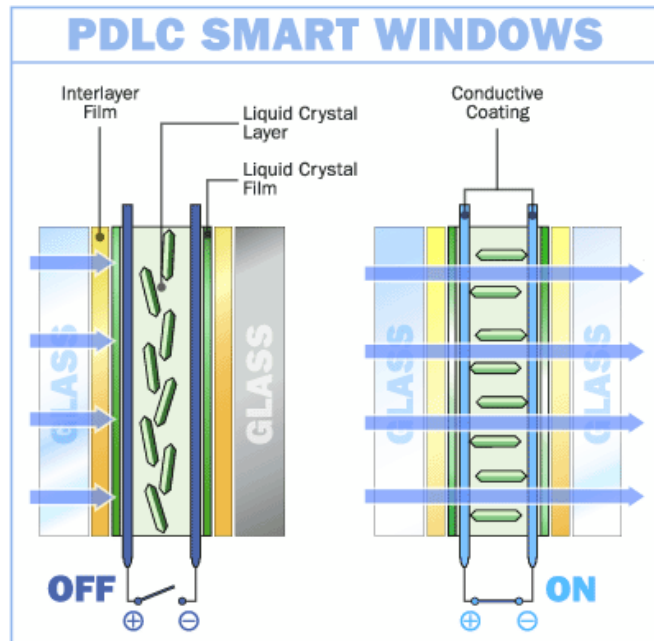
2.3.2 Αεριοχρωματικά παράθυρα (Gasochromic windows)

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται στην ίδια λογική των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων[13]. Η κύρια διαφορά είναι ότι αντί της συνεχούς τάσης, ένα αέριο υδρογόνο (H_2) εφαρμόζεται για την εναλλαγή μεταξύ έγχρωμης και αποχρωματισμένης κατάστασης. Τα συστήματα αυτά είναι πιο οικονομικά και απλούστερα στην κατασκευή τους, διότι μόνο μία στρώση στο εσωτερικό του γυαλιού είναι απαραίτητη, διότι το στρώμα που υπάρχει ο αγωγός ιόντων και το στρώμα αποθήκευσης ιόντων δεν χρειάζονται. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα, όπως καλύτερη διαμόρφωση της διαπερατότητας, χαμηλότερη απαιτούμενη τάση, που διαμένουν διαυγή κατά την περίοδο ανταλλαγής, και προσαρμοστικότητα στην ενδιάμεση κατάσταση, από έγχρωμη σε αποχρωματισμένη. Βέβαια μόνο ένας μικρός αριθμός ηλεκτροχρωμικών υλικών μπορεί να συσκοτίζεται από υδρογόνο. Ένα επίσης σοβαρό ζήτημα αυτών των συστημάτων είναι ο αυστηρός έλεγχος της διαδικασίας ανταλλαγής αερίων.

2.3.3 Υγροί κρύσταλλοι (LC)

Στην τεχνολογία των υγρών κρυστάλλων υπάρχουν δύο διαφανή στρώματα αγωγών επί πλαστικών μεμβρανών, όπου πιέζονται μεταξύ δύο στρωμάτων του γυαλιού[13]. Συνήθως τα μόρια των υγρών κρυστάλλων βρίσκονται σε τυχαία σειρά και δεν ευθυγραμμίζονται σε σχέση με τον προσανατολισμό σκίασης του φωτός αλλά και την απόκρυψη της εξωτερικής θέας από το εσωτερικό.

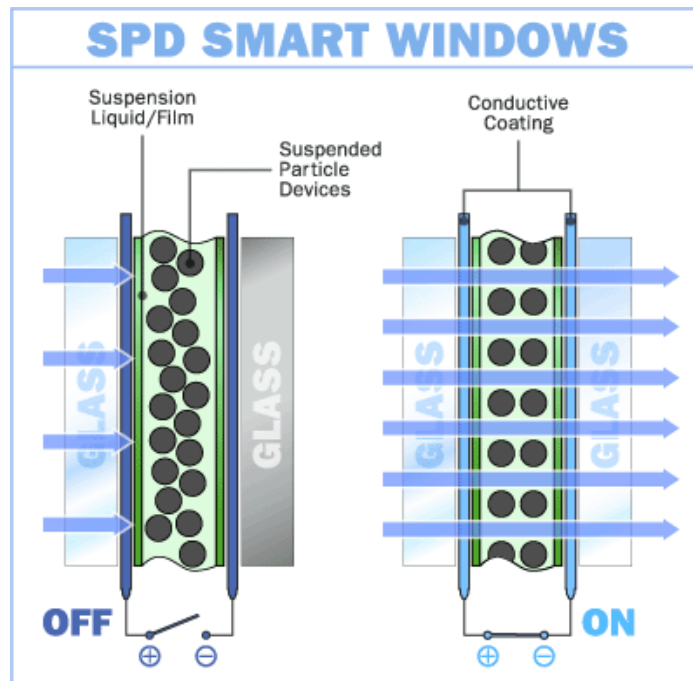
Όταν το σύστημα ενεργοποιείται τα δύο αγωγά στρώματα παρέχουν ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσω των ηλεκτροδίων τους. Το πεδίο αναγκάζει τα μόρια του κρυστάλλου να τοποθετούνται σε μία ευθυγραμμισμένη κατεύθυνση προκαλώντας μια αλλαγή στην διαπερατότητα. Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει μειονεκτήματα υψηλής ζήτησης ισχύος σε λειτουργία διαφάνειας με αποτέλεσμα την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος $5-20 \text{ Watt} / \text{m}^2$. Δύο επίσης σημαντικά μειονεκτήματα είναι η μακροχρόνια σταθερότητα στις υπεριώδεις ακτίνες (UV) αλλά και το υψηλό κόστος. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί υγρούς κρυστάλλους σε “έξυπνα” παράθυρα ονομάζεται Polymer Dispersed Liquid Crystals (PDLC), δηλαδή διασκορπισμένα πολυμερή υγρών κρυστάλλων και απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 13: Απεικόνιση της τεχνολογίας (PDLC) σε “έξυπνα” παράθυρα

2.3.4 Συσσκευές αιωρούμενων σωματιδίων - Suspended-Particle Devices (SPD)

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων είναι αρκετά κοινή με την τεχνολογία των υγρών κρυστάλλων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έχει γρήγορη εναλλαγή των φάσεων και ενεργοποιείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο[13]. Όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω το σύστημα αυτό αποτελείται από υγρό σαν ενεργό στρώμα το οποίο σχηματίζεται με απορρόφηση σφαιρικών σωματιδίων (μοριακά σωματίδια). Συνήθως χρησιμοποιείται πολυαλογονίδιο το οποίο αιωρείται σε ένα οργανικό υγρό ή γέλη και υπάρχει μεταξύ δύο φύλλων γυαλιού όπου είναι επικαλυμμένα με διαφανής αγωγίμες ταινίες. Συνήθως, η συσκευή είναι ανακλαστική στο σκοτάδι, λόγω της τυχαίας απορρόφησης σωματιδίων του φωτός στην ενεργή στρώση. Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, τα σωματίδια ευθυγραμμίζονται με αποτέλεσμα την σαφή διαπερατή κατάσταση. Από τη στιγμή που η συσκευή απενεργοποιείται μεταβαίνει σε κατάσταση σκότους. Οι απαιτήσεις για τη λειτουργία αυτού του συστήματος είναι από 100 – 200 ms χρόνος ενεργοποίησης του ηλεκτρικού πεδίου και τάση από 65 – 220 Volt εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχήμα 14: Απεικόνιση της τεχνολογίας (SPD) σε “έξυπνα” παράθυρα

2.3.5 Θερμοχρωμικά παράθυρα (TCW)

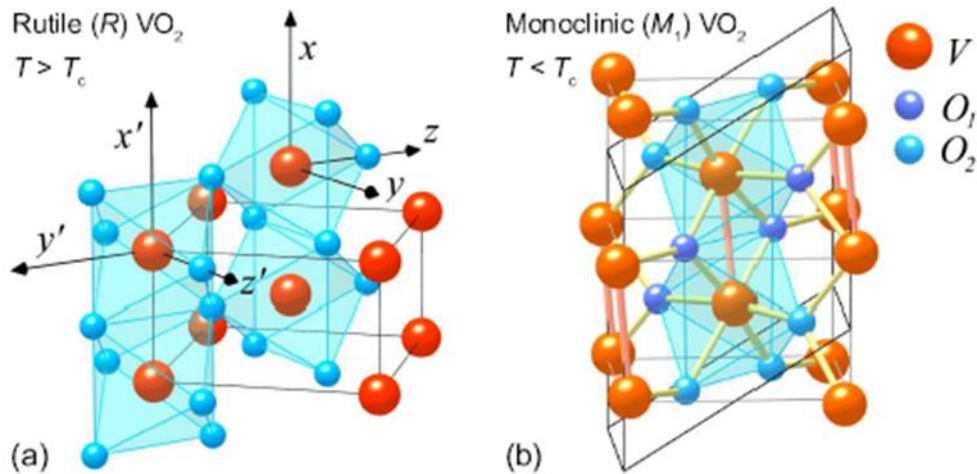
Στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί το είδος των θερμοχρωμικών παραθύρων. Μια πρώτη προσέγγιση του όρου “thermochromic”, προέρχεται από τις λέξεις θερμός και χρώμα [14]. Δηλαδή τα θερμοχρωμικά παράθυρα αντιδρούν στην ηλιακή ακτινοβολία και αλλάζουν χρώμα με περισσότερη θερμότητα [15][16].

Τα θερμοχρωμικά τζάμια έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν την ποσότητα του φωτός και της θερμότητας που εισέρχεται στο κτίριο, αλλάζοντας τις οπτικές ιδιότητες του τζαμιού (διαπερατότητα, ανακλαστικότητα) όταν εκτίθεται σε θερμότητα, λόγω αλλαγής φάσης του ίδιου του υλικού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

2.3.5.1 Ιδιότητες θερμοχρωμικών παραθύρων

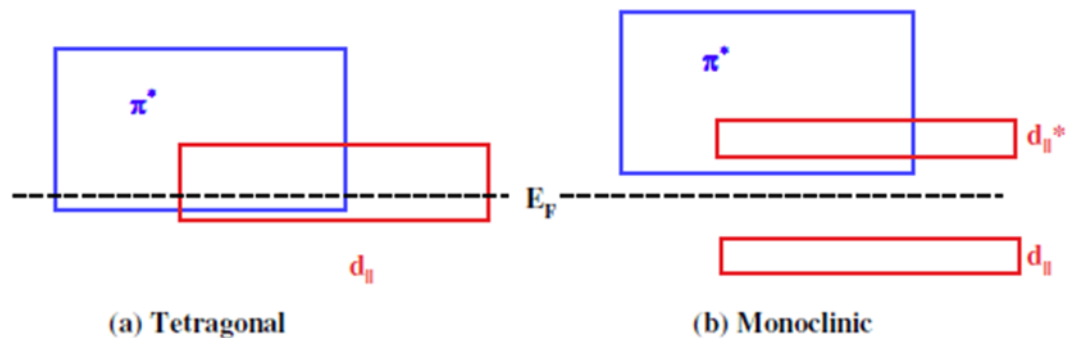
Τα θερμοχρωμικά υλικά εναποτίθεται στα παράθυρα σε μια λεπτή μεμβράνη. Τα έξυπνα παράθυρα μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων εξαιτίας της μεμβράνης αυτής η οποία στην ουσία αλλάζει κάποια ή κάποιες ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα με το εξωτερικό περιβάλλον. [48, 49]. Η θερμοχρωματική λεπτή ταινία είναι αρχικά σε μονοκλινή κατάσταση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (συνήθως θερμοκρασία δωματίου). Τα υλικά σε μονοκλινή φάση συμπεριφέρονται ως ημιαγωγοί και είναι λιγότερο ανακλαστικά στην υπέρυθη ακτινοβολία IR. Καθώς η θερμοκρασία ανεβαίνει, το θερμοχρωμικό υλικό αλλάζει τη φύση του από μονοκλινή στην κατάσταση ρουτιλίου. Αυτό το φαινόμενο καλείται μεταλλικοί ημιαγωγοί μεταπτώσεως (MST). Στην κατάσταση ρουτιλίου, το υλικό ενεργεί σαν ένα ημι-μέταλλο, αντικατοπτρίζοντας ένα ευρύ φάσμα του ηλιακού φάσματος [50], όπου η αλλαγή αυτή είναι αναστρέψιμη. Αναλυτικά η μονοκλινή φάση έχει πολύ μικρή ανακλαστικότητα και μεγάλη αντίσταση εξαιτίας της φύσης του ημιαγωγού λόγω του μεγάλου ενεργειακού

του χάσματος. Στην ορατή περιοχή του φάσματος δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή παρόλο που απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Κατά την αλλαγή από τη μονοκλινή φάση στη φάση ρουτιλίου τα επίπεδα του ατόμου μετατοπίζονται παράλληλα. Αυτή η μετατόπιση προκαλεί διάσπαση των ζευγών ώστε να σχηματιστεί η τετραγωνική φάση, επιτρέποντας μεταλλική αγωγιμότητα. Σχηματικά απεικονίζεται η αλλαγή φάσης όπως τα άτομα και συγκεκριμένα του Βαναδίου διαμορφώνονται [11].



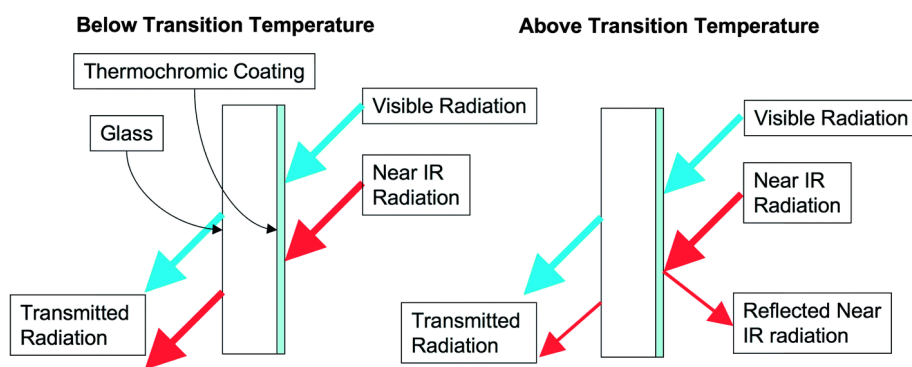
Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση της αλλαγής της δομής του οξειδίου του Βαναδίου με την αύξηση της θερμοκρασίας

Παρακάτω εμφανίζεται σχηματικά το ενεργειακό χάσμα των δύο φάσεων που αναλύθηκαν παραπάνω (Fermi level).



Σχήμα 16: α) Το ενεργειακό χάσμα στην τετραγωνική δομή (φάση ρουτιλίου) , β) Το ενεργειακό χάσμα στην μονοκλινή φάση

Σε υψηλές θερμοκρασίες, η θερμοχρωμική επίστρωση μπλοκάρει την υπέρυθη ακτινοβολία NIR στα (800-1200 nm) και Far – IR στα (1200-2500 nm) , μήκη κύματος από τα οποία προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπει αυτά τα μήκη κύματος να “περάσουν” όπως απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω [51]. Για να είναι αποδοτικό βέβαια ένα παράθυρο και να υπάρξει εξοικονόμηση ενέργειας με την αύξηση της θερμοκρασίας χρειάζεται σημαντική μείωση της διαπερατότητας και ταυτόχρονα αύξηση της ανακλαστικότητας.



Σχήμα 17: Ιδιότητες των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων [14]

Ακολουθεί πίνακας ο οποίος αναφέρει ιδανικά τη συμπεριφορά των θερμοχρωμικών υλικών όσον αφορά τις ιδιότητές των σε κάθε φάση.

State	Monoclinic / cold		Rutile / hot	
	Visible (%)	NIR (%)	Visible (%)	NIR (%)
Transmittance (T)	60 – 65	80	60 – 65	15
Reflectance (R)	17	12	17	77

Πίνακας 2: Απεικόνιση της ιδανικής απόδοσης των θερμοχρωμικών παραθύρων κατά την αλλαγή φάσης [14]

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην ορατή περιοχή η διαπερατότητα αλλά και η ανακλαστικότητα είναι ίδιες, αυτό μόνο που αλλάζει κατά την αλλαγή φάσης είναι η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα στην υπέρυθη περιοχή.

Αυτή η διαπίστωση μπορεί επίσης να εκφραστεί και μέσα από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\Delta T\% = (T_h - T_c) * 100 \quad (2)$$

$$\Delta R\% = (R_h - R_c) * 100 \quad (3)$$

όπου T_h είναι η διαπερατότητα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη της θερμοκρασίας μεταβάσεως, T_c είναι η διαπερατότητα σε θερμοκρασία μικρότερη της θερμοκρασίας μεταβάσεως και αντίστοιχα R_h είναι η ανακλαστικότητα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη της θερμοκρασίας μεταβάσεως και R_c είναι η θερμοκρασία μικρότερη της θερμοκρασίας μεταβάσεως.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας που αναφέρει ορισμένα από τα θερμοχρωμικά υλικά και κάποιες από τις ιδιότητές τους καθώς αλλάζει η θερμοκρασία τους.

TC material	T _t (1C)	Cold state color	Hot state color	Reason of transition
Cuprous mercury iodide (Cu ₂ HgI ₄)	55	Bright red	Dark brown	Cu (I)-Hg (II) charge transfer
Silver mercury iodide (Ag ₂ HgI ₄)	47- 51	Yellow	Orange	Cu(I)-Hg(II) charge transfer
Mercury(II) iodide	126	Red	Pale yellow	Reversible change transition
Bis (dimethylammonium) tetrachloronickelate	110		Blue	
		Rasp berry- red		
Bis (diethylammonium) tetrachlorocuprate	52- 53	Bright green	Yellow	
Nickel sulfate	155	Green	Yellow	
Chromium (III) oxide: aluminium (III) oxide	400	Red	Grey	Changes in its crystal field
chromium-rich pyropes normally reddish-purplish	80 80		Green Green	
titanium dioxide		White	Yellow	
zinc oxide		White	Yellow	
indium (III) oxide		Dark yellow		
Yellow			Brown	
Lead (II) oxide		Dark yellow	Yellow brown	

Πίνακας 3: Θερμοχρωμικά υλικά [14]

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας αποτελεσμάτων από ορισμένα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί επικαλύπτοντας απλούς υαλοπίνακες.

Materials	Effect on MST	T _t	Film color
Pure VO ₂ crystals	-	68 °C	Brown/yellow
Un-doped VO ₂ films	-	50-66 °C	Brown/yellow
Tungsten doping	23% ΔT at 2500 nm	20 °C 1.56 at%	Blue
Gold nanoparticle	35-40% ΔT and 10% ΔR at 2500 nm	25 °C 2.7 mol%	Green/blue
Fluorine doping	15 % ΔT and 5 % ΔR	15-20 °C	Varies in different Brown/yellow
TiO ₂	21.2% IR-ΔT and 84% Vis-ΔT 5-10% ΔT at 2500 nm	60 °C 25 °C	Brown
CeO ₂	5-10% ΔT at 2500 nm	50-60 °C	Brown/yellow

Πίνακας 4: Θερμοχρωμικές επιστρώσεις [14]

Αναλυτικά παρατίθενται υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα είτε στο εργαστήριο από εμάς τους ίδιους είτε από άλλους ερευνητές ώστε να γίνει κατανοητή η φύση και η επιλογή κάποιων εξ αυτών για τη διεξαγωγή πειραμάτων.

2.4 Οξειδίο του βαναδίου – Vanadium Oxide (VxOx)

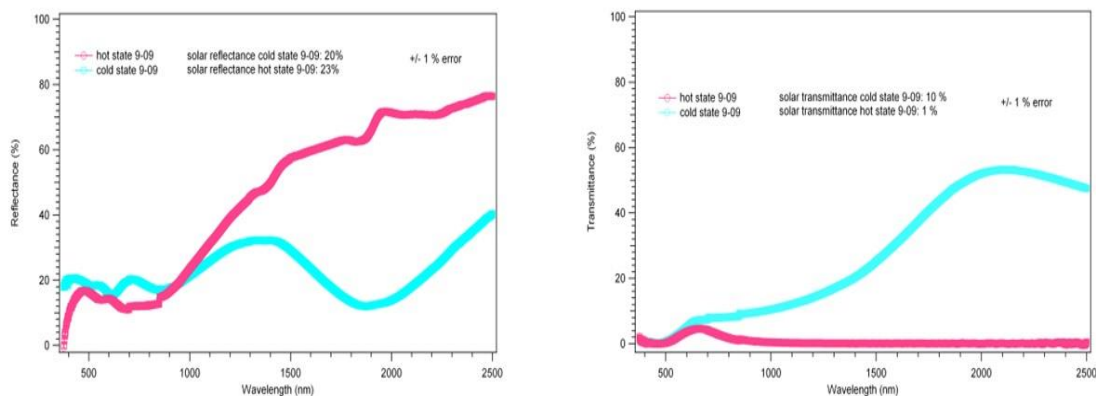
Το οξειδίο του Βαναδίου είναι το πιο κοινό και πολλά υποσχόμενα υλικό ως επίστρωση στα θερμοχρωμικά παράθυρα [14][17]. Η δομή του αλλάζει από μονοκλινική σε τετραγωνική (φάση ρουτιλίου) η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία που συνοδεύεται από μια ισχυρή διακύμανση της αγωγιμότητας, ειδικής θερμότητας, οπτικών και μαγνητικών ιδιοτήτων και είναι αναστρέψιμη. Η θερμοκρασία μετάβασης του “καθαρού” βαναδίου είναι οι 68 °C. Σε θερμοκρασίες κάτω της θερμοκρασίας μετάβασης το υλικό είναι διαπερατό στην ορατή αλλά και την υπέρυθρη ακτινοβολία “αφήνοντας” την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο χώρο, γεγονός που συμβάλει στη θερμότητά του. Σε θερμοκρασίες ανώτερες της θερμοκρασίας μετάβασης, το υλικό είναι διαπερατό στο ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά γίνεται ανακλαστικό σε ορισμένα μήκη κύματος στο υπέρυθρο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό αποτρέπει τη θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας να εισέλθει στο χώρο, διότι η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για τη θερμότητα. Επίσης η χρησιμότητα του ηλιακού φωτός δεν εμποδίζεται με αποτέλεσμα να ενισχύει την ενέργεια του κτιρίου αλλά και να αποφεύγονται άσκοπα κόστη (φωτισμός κ.α.).

Παρ’ όλα αυτά το οξειδίο του βαναδίου χρησιμοποιώντας τόσο υψηλή θερμοκρασία μετάβασης >68 °C, δεν είναι τόσο αποτελεσματικό γνωρίζοντας πως η μέση θερμοκρασία σε ένα κτίριο είτε το χειμώνα είτε το καλοκαίρι θα πρέπει να κυμαίνεται από 18 °C - 25 °C. Μια επίσης σημαντική αδυναμία του συγκεκριμένου υλικού είναι ότι συγκρινόμενο με άλλα υλικά η διαπερατότητά του στο ορατό φάσμα είναι χαμηλότερη σύμφωνα με τιμές που έχουν αναφερθεί της τάξεως του 40% και 50%, όταν πλέον αποδεκτή τιμή είναι το 60%.

2.5 Οξειδίο του βαναδίου νοθευμένο με Βολφράμιο (VxOx doped with W)

Το οξειδίο του βαναδίου χρησιμοποιείται ως βάση για διάφορες νοθεύσεις προκειμένου να καταγραφεί ένα καλύτερο αποτέλεσμα από τα ήδη καταγεγραμμένα της καθαρής μορφής βαναδίου. Μία τέτοια νόθευση η οποία δείχνει ενδιαφέροντα αποτελέσματα είναι η νόθευση με βολφράμιο (tungsten→W), η οποία μειώνει σημαντικά όπως θα δούμε και παρακάτω τη θερμοκρασία μετάβασης [18][19].

Στη συνέχεια παρατίθενται πειραματικά αποτελέσματα από την ορατή και την κοντινή υπέρυθρη περιοχή (από 375nm έως 2500nm). Οι επιστρώσεις των films τοποθετούνται σε μεγαλύτερης επιφάνειας υπόστρωμα μεγέθους: 60mm * 70mm * 1mm, ώστε να ληφθούν οι μετρήσεις.



Σχήμα 18: Ανακλαστικότητα του VO₂:W σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και 90°C και Διαπερατότητα του VO₂:W σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και 90°C

Η θερμοκρασία του υποστρώματος μετρήθηκε με θερμοκάμερα κάνοντας ξεκάθαρες τις θερμοκρασίες κρύας κατάστασης στους 25 °C και θερμής κατάστασης στους 90 °C. Ο χρωματισμός των films διαφοροποιόταν κατά τη διάρκεια της μετάβασης από κιτρινωπό στην κρύα κατάσταση σε καφετί στην θερμή κατάσταση.

Νοθεύοντας λοιπόν με βολφράμιο η θερμοκρασία μετάβασης έγινε πολύ μικρότερη από αυτή του καθαρού βαναδίου, περίπου στους 45 °C, δηλαδή 20 °C με 25 °C διαφορά θερμοκρασίας μετάβασης. Ανάμεσα στα δύο στάδια η εκπομπή του VO₂:W πάνω στο τζάμι είχε πτώση από 85% σε 34%.

2.6 Οξειδίο του ψευδαργύρου νοθευμένο με Αλουμίνιο (ZnO : Al)

Το οξειδίο του ψευδαργύρου ZnO δείχνει μεγάλο ενδιαφέρον ως προς τη μελέτη του λόγω υψηλής διαπερατότητας, μη τοξικότητας και του χαμηλού κόστους του υλικού. Οι επιστρώσεις καθαρού οξειδίου του ψευδαργύρου χωρίς νόθευση παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση. Κατά τη νόθευσή του όμως με άλλα υλικά, όπως το αλουμίνιο Al – doped ZnO, μπορεί να αυξηθεί η αγωγιμότητά του με πολλούς τρόπους [20][21][22]. Η ανάμειξη αυτών των δύο υλικών και η επίστρωσή τους σε υαλοπίνακες φαίνεται πολλά υποσχόμενη σε ανακλαστικούς καθρέπτες αλλά και ανακλαστικές θερμότητας λόγω των οπτικών χαρακτηριστικών τους.

Αναφέρεται υψηλή διαπερατότητα άνω του 87% στην ορατή περιοχή ανεξαρτήτως θερμοκρασίας. Η διαπερατότητα μειώνεται πλησιάζοντας την υπέρυθρη περιοχή όπου το σημαντικό είναι πως αυξάνεται η ανακλαστικότητα λόγω του συντονισμού των αερίων ηλεκτρονίων του πλάσματος στη ζώνη αγωγιμότητας. Η χαμηλότερη τιμή διαπερατότητας πλησίον της υπέρυθρης περιοχής λαμβάνει χώρα στα 1500nm με τιμή χαμηλότερη του 15% και θερμοκρασία δείγματος 350 °C.

Όλο και περισσότερο φως απορροφάται σε υλικά με αυξημένο πάχος εκ των οποίων η διαπερατότητα είναι σχετικά χαμηλή. Η ανακλαστικότητα όμως των λεπτών Films στα 2000nm καταγράφηκε περίπου στο 50%, το οποίο θεωρείται από τις καλύτερες αποδόσεις που έχουν αναφερθεί σε film ZnO:Al με ανακλαστικότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία.

Temperature (°C)	Thickness (nm)
RT	280
250	310
300	300
350	730
400	530
450	320

Πίνακας 5: Αύξηση του πάχους των films AZO αυξάνοντας τη θερμοκρασία

2.7 Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO₂)

Το διοξείδιο του τιτανίου γνωστό ως TiO₂ έχει μεγάλο συντελεστή ανάκλασης με αποτέλεσμα να είναι πολύ αποδοτικό αντανάκλαστικό υλικό [23]. Είναι ένας εξαιρετικός φωτοκαταλύτης και έχει χρήση σε διάφορες εφαρμογές όπως:

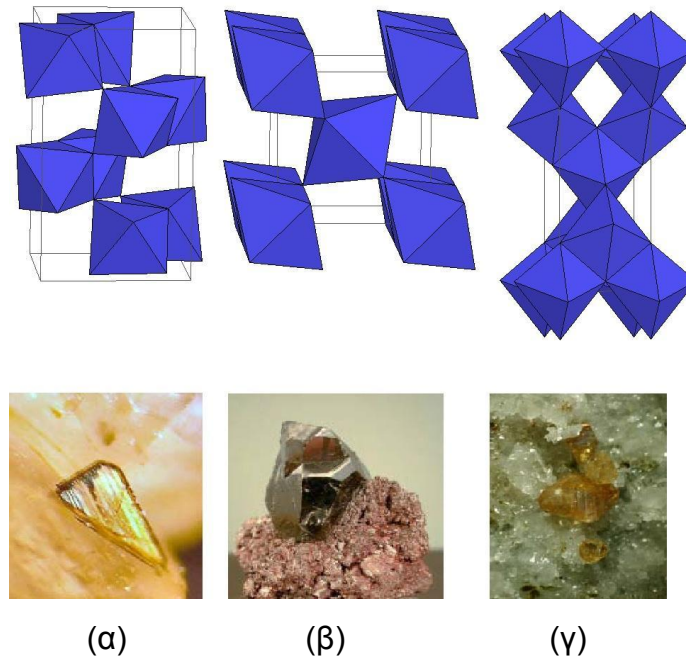
στον καθαρισμό του αέρα,

στη φωτοκαταλυτική αποστείρωση,

σε αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες,

σε μη θαμπωμένες επιφάνειες

Το TiO₂ είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό το οποίο βρίσκεται στην φύση έχοντας τρεις κρυσταλλικές δομές: **ανατάση** με ενεργειακό χάσμα 3,23 eV, **ρουτίλιο** με ενεργειακό χάσμα 3,02 eV και **μπρουκίτης**. Χρησιμοποιείται ευρύτατα ως χρωστική ουσία (λευκή σκόνη) και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι είναι ένα υλικό φθινό που απαντάται σε αφθονία, είναι χημικά σταθερό, μη τοξικό, είναι αποδοτικό στην επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και παρασκευάζεται εύκολα.



Σχήμα 19: Κρυσταλλική δομή (α) μπρουκίτης (β) ρουτίλιο (γ) ανατάση.

Οι πιο σπουδαίες κρυσταλλικές δομές από τεχνολογική άποψη είναι το ρουτίλιο και η ανάταση, όπως φαίνεται και στο σχήμα παραπάνω. Η ανατάση και το ρουτίλιο έχουν τις ίδιες κρυσταλλικές δομές αλλά διαφορετική γεωμετρία και χημεία.

Το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) είναι ημιαγωγός τύπου n, με “έμμεσο” ενεργειακό χάσμα, από 3 έως 3,3 eV. Λόγω αυτού του μεγάλου εύρους το TiO_2 απορροφά μόνο ελάχιστη ορατή ακτινοβολία και από ατέλειες και προσμίξεις του κρυσταλλικού του πλέγματος επηρεάζεται η συμπεριφορά του ημιαγωγού σε διάφορες εφαρμογές.

	Ρουτίλιο	Ανατάση
Ενεργειακό Χάσμα (E_g)	3,02 eV	3,23 eV
ΔG_f° Σχηματισμού	-212,6 kcal/mol	-211,4 kcal/mol
Ισοηλεκτρικό Σημείο (pI)	-	4,9-5,2 (μέθοδος sol-gel)
Πυκνότητα ρ (g cm ⁻³)	4,250 g cm ⁻³	3,894 g cm ⁻³
“Ενεργός” μάζα m^*/m_0	20-40	1
“Ενεργός” μάζα οπής	-	(0,8±0,2) m_e
Δομή πλήρωσης χώρου		

Σχήμα 20: Βασικές φυσικοχημικές ιδιότητες του TiO_2

Η μορφή της ανατάσης λαμβάνεται με οξειδωση του $TiCl_4$ σε θερμοκρασία $925^\circ K$ με $1025^\circ K$. Αν η οξειδωση γίνει παρουσία υδρατμών ή $SiCl_4$ τότε λαμβάνεται ρουτίλιο για θερμοκρασίες μικρότερες ακόμα και των $250^\circ C$. Δηλαδή, η χαμηλή θερμοκρασία ευνοεί το σχηματισμό της ανατάσης ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες το σχηματισμό του ρουτιλίου το οποίο είναι θερμοδυναμικά σταθερό. Η ανατάση, όπως συμπεραίνεται, είναι θερμοδυναμικά μετασταθής φάση κι αυτό είναι που εμποδίζει το σχηματισμό μονοκρυστάλλων τέτοιας φάσης σε μεγάλες ποσότητες.

Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για χρήση υμενίων TiO_2 (ανατάση).

Πλεονεκτήματα:

- Πορώδης υφή, αρκετά ομοιογενής κατανομή των πόρων. Μέγεθος πόρων 25-45 nm.
- Μεγάλη ενεργή επιφάνεια με πολύπλοκη μορφολογία, υψηλό παράγοντα τραχύτητας και πολύ μεγάλο ανάπτυγμα επιφάνειας. Δρα ουσιαστικά ως ιδανικό υπόστρωμα που προσροφά μεγάλες συγκεντρώσεις πρωτεϊνικών μορίων.
- Ημιαγωγός η τύπου με ενεργειακό χάσμα $\sim 3,23$ eV επιτρέπει τη μελέτη οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων.
- Το ισοηλεκτρικό σημείο του TiO_2 (4,9-5,2) καθιστά εύκολη την διαδικασία ακινητοποίησης θετικά φορτισμένων πρωτεϊνών όπως του κυτοχρώματος c και της αιμοσφαιρίνης.
- Οπτικά διαφανές υλικό στο ορατό φως (390-800 nm), το φάσμα απορρόφησης του TiO_2 δεν συμπίπτει με το φάσμα απορρόφησης της πρωτεΐνης, γι' αυτό είναι εύκολη η παρακολούθηση της ακινητοποίησης.
- Η παρασκευή τους είναι εύκολη και χαμηλού κόστους.

Μειονεκτήματα:

- Πρέπει να φυλάσσεται σε καθαρό, χωρίς σκόνη και υγρασία περιβάλλον. Αν για κάποιο λόγο δεν επιτευχθεί αυτό τότε καταστρέφεται το υλικό (χάνει τις ιδιότητές του και την ομοιογένεια).
- Εξαιτίας του μεγάλου του ενεργειακού χάσματος του μεσοπορώδους TiO_2 , η κίνηση των ηλεκτρονίων και η παγίδευσή τους σε όλο το πάχος του υμενίου συμβαίνει για δυναμικά μεγαλύτερα των -0.3 V. Για τιμές θετικότερες των $-0,3$ V το υμένιο συμπεριφέρεται ως μονωτής.
- Η πάστα TiO_2 λόγω της παρασκευής της με τη μέθοδο sol-gel δεν είναι 100% αναπαραγώγιμο υλικό.

Γενικά για όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμοχρωμικά σε “έξυπνα” παράθυρα σημαντικό ρόλο παίζει η απόδοση μεταγωγής, γνωστό και ως ηT, το οποίο θεωρείται σημείο αναφοράς της εξοικονόμησης ενεργειακής απόδοσης. Ο δείκτης αυτός επηρεάζει τη διαπερατότητα πριν και μετά την κρίσιμη θερμοκρασία, δηλαδή τη θερμοκρασία εναλλαγής φάσεων, στα 2500 nm. Η τιμή αυτή επηρεάζεται κυρίως από την εκάστοτε νόθευση των υλικών, τη μικροδομή των υλικών (κρυσταλλικότητα) αλλά και το πάχος των films.

Σε έρευνες που έχουν ήδη γίνει έχει καταγραφεί ότι οι επιστρώσεις με πάχος μικρότερο των 200nm, έχουν χαμηλότερες τιμές για τη θερμοκρασία μετάβασης γεγονός που εικάζεται να συμβαίνει λόγω της πίεσης των κρυσταλλικών films. Η πίεση αυτή μπορεί να δημιουργείται από τη μη συμβατότητα της επίστρωσης με το εκάστοτε υπόστρωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΧΡΩΜΙΚΩΝ Films

3.1 Μέθοδος Sol – Gel

Η μέθοδος sol – gel περιλαμβάνει το σχηματισμό λεπτών υμενίων από εμβάπτιση ή περιστροφική επίστρωση (spin coating) υποστρωμάτων με διαλύματα <αλκοξειδία μετάλλων>. Οι επιστρώσεις στη συνέχεια επεξεργάζονται κατάλληλα προκειμένου να σχηματίσουν μια λεπτή μεμβράνη του απαιτούμενου οξειδίου του μετάλλου. Η διαδικασία της sol – gel έχει πολλά στάδια εκ των οποίων η διαδικασία μπορεί να διακοπεί [24] [25].

Η διαδικασία sol-gel βασίζεται κυρίως στη χημεία. Θα πρέπει ως εκ τούτου να είναι δυνατό να ελεγχθεί ο σχηματισμός των δικτύων των οξειδίων μέσω του χημικού σχεδιασμού των προδρόμων μορίων. Επίσης, είναι γνωστό ότι αλκοξειδία μετάλλων αντιδρούν με πυρηνόφιλα αντιδραστήρια που δημιουργούν νέες πρόδρομες ουσίες που εμφανίζουν διαφορετική μοριακή δομή, λειτουργικότητα και δραστηριότητα. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το χημική έλεγχο των αντιδράσεων συμπύκνωσης.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα της μεθόδου sol-gel είναι ότι οι ήπιες συνθήκες που συνδέονται με αυτή τη χημεία επιτρέπουν τη σύνθεση των υβριδικών ενώσεων (οργανικών και ανόργανων). Εύθραυστα οργανικά μόρια μπορεί να ενθυλακώνονται μέσα στις μήτρες οξειδίων. Αυτά τα υβριδικά υλικά έχουν μελετηθεί εκτενώς, κυρίως για οπτικές εφαρμογές. Μελετήθηκε λίγα χρόνια πριν, ότι τα βιομόρια θα μπορούσαν επίσης να ενθυλακώνονται μέσα σε μήτρες sol-gel πυριτίου. Η βιολογική δραστηριότητα των ενζύμων διατηρείται παγιδευμένη και μπορεί να αντιδράσει με μικρά μόρια που διαχέονται μέσα από τους πόρους της xerogel. Τέτοια ενθυλακωμένα ένζυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή καταλυτών ή βιοαισθητήρων. Πιο πρόσφατα, έρευνες έχουν δείξει ότι ακόμη και ολόκληρα τα κύτταρα θα μπορούσαν να παγιδευτούν σε μήτρες sol-gel. Ωστόσο, η παγίδευση των ολόκληρων κυττάρων είναι στην πραγματικότητα πιο δύσκολη από εκείνη των οργανικών μορίων ως πρωτεΐνες και είναι πολύ ευαίσθητα στο αλκοόλ και το pH.

Προσφέρει έναν ευέλικτο τρόπο για την σύνθεση των υλικών της καθόδου. Πολλά μεταλλικά κατιόντα μπορούν να παρεμβάλλονται στην στρωματική δομή των πηκτωμάτων οξειδίου που οδηγούν σε μια μεγάλη ποικιλία από διαλυτικές ουσίες γέλης οι οποίες επιδεικνύουν βελτιωμένες ηλεκτροχημικές ιδιότητες.

Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το σχηματισμό του οξειδίου του βαναδίου, η διαδικασία περιλαμβάνει μερικώς υδρόλυση της αρχικής επικάλυψης και στη συνέχεια θέρμανση σε αναγωγική ατμόσφαιρα ώστε να σχηματιστεί κρυσταλλικό οξείδιο του βαναδίου. Προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος του φιλμ, προστίθενται επιπλέον στρώματα. Οι προσμίξεις εισάγονται εύκολα με την προσθήκη αλάτων ή αλκοξειδίων στο αρχικό διάλυμα στις απαραίτητες αναλογίες.

Λόγω της απλοϊκής φύσης της διαδικασίας της μεθόδου sol – gel χρησιμοποιείται εκτεταμένα για την παρασκευή λεπτών φιλμς σε καθαρές αλλά και ενισχυμένες μορφές. Επίσης χρησιμοποιώντας διαφορετικές αλκοόλες προκαλείται μετεστεροποίηση και σχηματισμός διαφόρων αλκοξειδίων. Η χρήση της διαδικασίας αυτής επιτρέπει ενίσχυση του εκάστοτε οξειδίου στο σύνολο των στοιχείων κάθε στρώσης.

Μια νέα μέθοδος [26] που χρησιμοποιείται γέλη κυρίως σε μεταλλικό βανάδιο όπου διαλύεται σε 30% H₂O₂, στη συνέχεια θερμαίνεται και σχηματίζει υδρόλυμα. Το υδρόλυμα στη συνέχεια επιστρώνεται περιστροφικά (spin) πάνω σε κατάλληλο υπόστρωμα και μειώνεται σε μια ατμόσφαιρα υδρογόνου. Κάποια από τα υλικά που θα μπορούσαν να εισαχθούν σε μεταλλική μορφή κατά το αρχικό στάδιο της διάλυσης είναι το βολφράμιο και το μολυβδαίνιο.

Η διαδικασία αυτή προσφέρει πολλά πιθανά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις συνήθεις αντιδράσεις στερεάς κατάστασης. Χημικά διαλύματα στα οποία οι ασθενείς αλληλεπιδράσεις ευνοούν τη αυτοσυναρμολόγηση του μοριακού πρόδρομου, ανοίγουν πολλές δυνατότητες για τη σύνθεση των υλικών οξειδίου. Ο κοινός προσανατολισμός των ταινιών των πολυμερικών σωματιδίων μπορεί να διατηρηθεί στη στερεά κατάσταση μετά την ξήρανση ή ακόμη και μετά από θερμική κατεργασία. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό μεμβρανών με κάποιο προτιμώμενο προσανατολισμό όπου επιδεικνύει βελτιωμένες ηλεκτροχημικές ιδιότητες. Πρόδρομοι αλκοξειδίων μπορούν να τροποποιηθούν χημικά με συμπλοκοποίηση. Οι αντιδράσεις συμπύκνωσης μπορούν να ελέγχονται δίνοντας μονοδισπαρμένα νανοσωματίδια οξειδίου. Τα οργανικά χημικά αντιδραστήρια στην επιφάνεια αυτών των σωματιδίων οξειδίου προλαμβάνουν τη συσσωμάτωση και σταθεροποιούν τα διαλύματα που σχηματίζονται.

Ο όρος συμπλοκοποίηση χρησιμοποιείται για να δείξει κάτι το οποίο αποτελείται από ένα άτομο μετάλλου ή ιόντων στο κέντρο, που περιβάλλεται από συμπλοκοποιητές. Τα σύμπλοκα μπορούν να θετικά φορτισμένα, ουδέτερα ή αρνητικά φορτισμένα. Το συνολικό φορτίο του συμπλόκου εξαρτάται από την κατάσταση οξειδωσης του μετάλλου και του φορτίου που δέχεται από τους συμπλοκοποιητές

Ύστερα από αυτή τη μέθοδο και για τους λόγους που αναλύονται παρακάτω έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι όπως αναλύονται παρακάτω.

Η επιφάνεια ενός υλικού το οποίο είναι εκτεθειμένο στις περιβαλλοντικές συνθήκες αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης και ακτινοβολιών, ηλεκτρομαγνητικά πεδία και άλλα πολύπλοκα φαινόμενα. Για το λόγο αυτό οφείλει να έχει τις ιδιότητες εκείνες που θα του επιτρέψουν να αντέξει σε συγκεκριμένες εφαρμογές ή με κάποια μέθοδο να αναπτύξει άλλες, όπως είναι η ανακλαστικότητα, η ημιαγωγιμότητα, η υψηλή θερμική αγωγιμότητα και η αντιδιαβρωτική προστασία. Η εναπόθεση λεπτών στρωμάτων λοιπόν παράγει ένα σύνθετο υλικό με συγκεκριμένες ιδιότητες. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, το λεπτό στρώμα είναι ιδιαίτερα συναφές με το υπόστρωμα και με τις περισσότερες παρασκευαστικές μεθόδους είναι δυνατόν

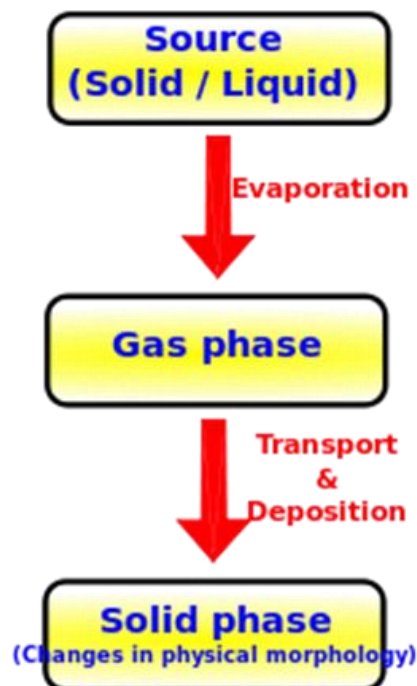
να ελέγχονται λίαν επαρκώς οι μικρές μεταβολές, οι οποίες είναι απαραίτητες ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για την παραγωγή τέτοιων λεπτών στρωμάτων κυρίαρχες σήμερα σε βιομηχανικό επίπεδο είναι οι τεχνικές φυσικής και χημικής εναπόθεσης ατμών. Σημαντική θέση στην αγορά κατέχει επίσης και η μέθοδος της ηλεκτροαπόθεσης, (για την οποία θα γίνει αναλυτική περιγραφή στα παρακάτω), η οποία όμως είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία και επιπλέον είναι ακατάλληλη στις περιπτώσεις όπου απαιτείται πολύ μικρό πάχος επικάλυψης (της τάξεως των nm) για την εναπόθεση στρωμάτων σε μικροηλεκτρονικές εφαρμογές.

3.2 Μέθοδος φυσικής εναπόθεσης ατμού - PVD Method

Στην περίπτωση της φυσικής απόθεσης ατμών, κατά τη μεταφορά και συμπύκνωση του ατμού δε συμβαίνει καμιά χημική αντίδραση, απλά το προς εναπόθεση υλικό αλλάζει φάση. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για επιμεταλλώσεις, δηλαδή τη δημιουργία ωμικών επαφών και ηλεκτρικών συνδέσεων πάνω στο ολοκληρωμένο κύκλωμα, καθώς επίσης και για την εναπόθεση plasmaized διοξειδίου του πυριτίου [27].

Κατά τη μέθοδο αυτή επομένως, το πρόδρομο υλικό (precursor) και το εναποτιθέμενο είναι το ίδιο. Για το λόγο, αυτό οι φυσικές μέθοδοι είναι πιο απλές από τις χημικές μεθόδους. Επιπλέον, η τεχνική PVD (Physical Vapor Deposition) είναι συνήθως εξώθερμη στο υπόστρωμα.



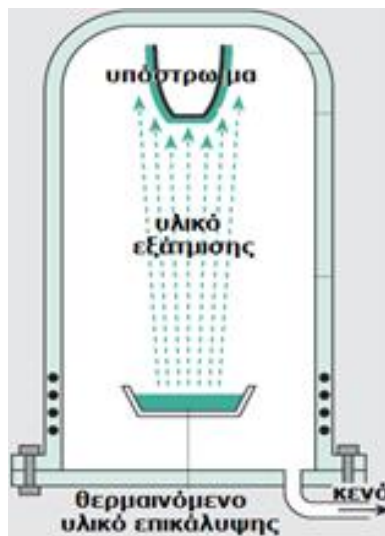
Σχήμα 21: Διάγραμμα ροής της μεθόδου φυσικής εναπόθεσης ατμού - PVD Method

Οι κυριότερες μέθοδοι φυσικής αποθέσεως ατμών [28], είναι:

- Εξάχνωση υπό κενό - Vacuum evaporation.
- Θρυμματισμός – Sputtering.
- Μοριακή επιταξία δέσμης - Molecular Beam Epitaxy (MBE).

3.2.1 Εξάχνωση Υπό Κενό (Vacuum Evaporation).

Το υλικό επικάλυψης θερμαίνεται υπό κενό πάνω από το σημείο ζέσεως του, στέλνοντας άτομα ή μόρια πάνω στο υπόστρωμα, όπου και αυτά συμπυκνώνονται σε μορφή υμενίου. Η θέρμανση του προς εξάχνωση υλικού γίνεται είτε μέσω αντίστασης, είτε μέσω βομβαρδισμού από δέσμη ηλεκτρονίων. Στην πρώτη περίπτωση κάνουμε λόγο για θερμική εξάχνωση, ενώ στη δεύτερη για εξάχνωση με ηλεκτρονικό πυροβόλο. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνονται ρυθμοί απόθεσης έως 75 $\mu\text{m}/\text{min}$, ενώ χρησιμοποιείται ευρύτατα στην οπτική, καθώς και στην εναπόθεση μετάλλων. Με τη μέθοδο αυτή επίσης, είναι δυνατή η απόθεση καρβιδίων, οξειδίων και νιτριδίων (reactive evaporation). Επιπλέον, επιθυμητή είναι η δημιουργία κενού, της τάξεως πιέσεων 10-5 – 10-6 Torr.



Σχήμα 22: Απεικόνιση της εξάχνωσης υπό κενό

Τα βασικά μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής, είναι ότι δεν εξασφαλίζει ικανοποιητική συγκόλληση του επικαλυπτικού στρώματος, καθώς και το γεγονός ότι δημιουργούνται δυσκολίες στην απόθεση στρωμάτων πολύπλοκων σχημάτων. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος τείνει να ξεπεραστεί από άλλες διαδικασίες παραγωγής λεπτών υμενίων, όπως ο θρυμματισμός. Δύο τεχνικές βέβαια, οι οποίες βασίζονται στην εξάχνωση, μπορεί να αντιστρέψουν την τάση να αντικατασταθεί τελείως η μέθοδος αυτή, στο άμεσο μέλλον.

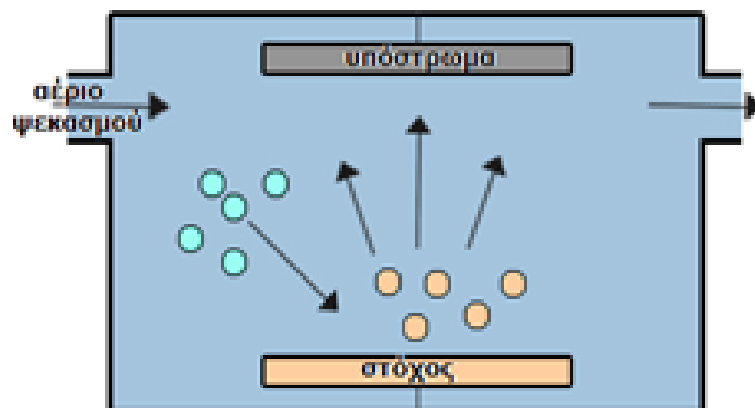
Η πρώτη βασίζεται σε ένα παλμικό laser, το οποίο έχει τη δυνατότητα να εξαχνώνει υλικά με ευρείες διαφορές ως προς την τάση ατμών τους και με πολύπλοκες δομές, ώστε η αρχική σύνθεση να διατηρείται στο αποτιθέμενο στρώμα.

Η άλλη τεχνική είναι η επιταξία μοριακής δέσμης, η οποία περιγράφεται πολύ συνοπτικά παρακάτω.

3.2.2 Θρυμματισμός (Sputtering)

Ο θρυμματισμός έχει αναχθεί τα τελευταία 30 χρόνια περίπου σαν την κυρίαρχη τεχνική παραγωγής υμενίων, ειδικά σε βιομηχανική κλίμακα. Μπορεί να παράγει ένα μεγάλο εύρος λεπτών υμενίων με εξαιρετικό έλεγχο της δομής τους, χωρίς τις υψηλές θερμοκρασιακές απαιτήσεις της τεχνικής CVD.

Ουσιαστικά πρόκειται για την απόξεση επιφανειακών ατόμων ή μορίων από την επιφάνεια ενός υλικού, που συνήθως καλείται στόχος (target), με βομβαρδισμό ενεργοποιημένων ιόντων, συνήθως Ar, υπό συνθήκες μεγάλου κενού. Για να απομακρυνθούν τυχόν ακαθαρσίες από το σύστημα, απαιτείται και πολύ μικρή αρχική πίεση, της τάξεως των 10⁻⁷ Torr.



Σχήμα 23: Απεικόνιση της μεθόδου του θρυμματισμού

Το μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο μικρός ρυθμός εναπόθεσης.

Ανάλογα με τις συνθήκες της ενεργειακής ανταλλαγής, διακρίνονται τα:

DC Sputtering: Χρησιμοποιείται συνεχής τροφοδοσία υψηλής τάσης. Στην άνοδο, τοποθετούνται τα υποστρώματα και στην κάθοδο ο στόχος. Ο στόχος "ξύνεται" με εκκένωση αίγλης μεταξύ ανόδου και καθόδου σε θάλαμο κενού, παρουσία χημικά αδρανούς αερίου, λόγω της μεγάλης ορμής των ατόμων του τελευταίου.

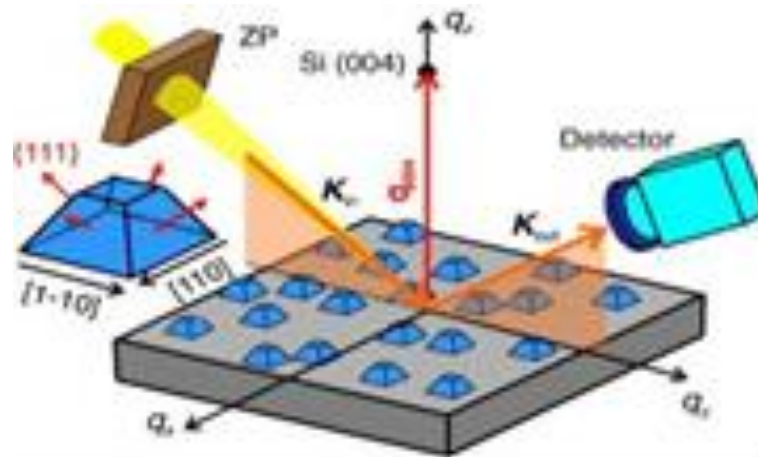
Reactive DC Sputtering: Πρόκειται για χημική παραλλαγή με χρήση χημικά ενεργού στοιχείου, π.χ. οξυγόνου για την εναπόθεση οξειδίου. Χρησιμοποιείται επίσης ευρύτατα σε ατμόσφαιρα αζώτου ή μεθανίου, για την εναπόθεση νιτριδίων και καρβιδίων.

RF Sputtering: Χρησιμοποιείται για την εναπόθεση μαγνητικών υλικών. Η υλοποίηση πραγματοποιείται μέσω πεδίου ραδιοσυχνοτήτων για τον περιορισμό της εκκένωσης στην περιοχή του στόχου.

Magnetron Sputtering: Χρησιμοποιούνται ισχυρά μαγνητικά πεδία, δημιουργούμενα από μόνιμους μαγνήτες, με σκοπό τον χωρικό περιορισμό του πλάσματος και την αύξηση της ομοιομορφίας του παραγόμενου στρώματος. Το υφιστάμενο μαγνητικό πεδίο εμποδίζει τα ιόντα μεγάλης ταχύτητας να χτυπήσουν το λεπτό στρώμα και να προκαλέσουν πλεγματικές ατέλειες σε αυτό, με αποτέλεσμα και την καλύτερη κρυσταλλική ποιότητα του στρώματος.

3.2.3 Επιταξία Μοριακής Δέσμης (MBE: Molecular Beam Epitaxy).

Η τεχνική αυτή παράγει πολύ λεπτά στρώματα εξαιρετικής καθαρότητας. Χρησιμοποιείται σε ιδιαίτερα δαπανηρές διατάξεις μικροκυμάτων και οπτοηλεκτρονικές διατάξεις, πολύ μεγάλης ακρίβειας. Έχει το μειονέκτημα όμως, ότι οι ρυθμοί εναπόθεσης των thin films είναι εξαιρετικά αργοί.



Σχήμα 24: Απεικόνιση της μεθόδου Επιταξίας Μοριακής Δέσμης - MBE

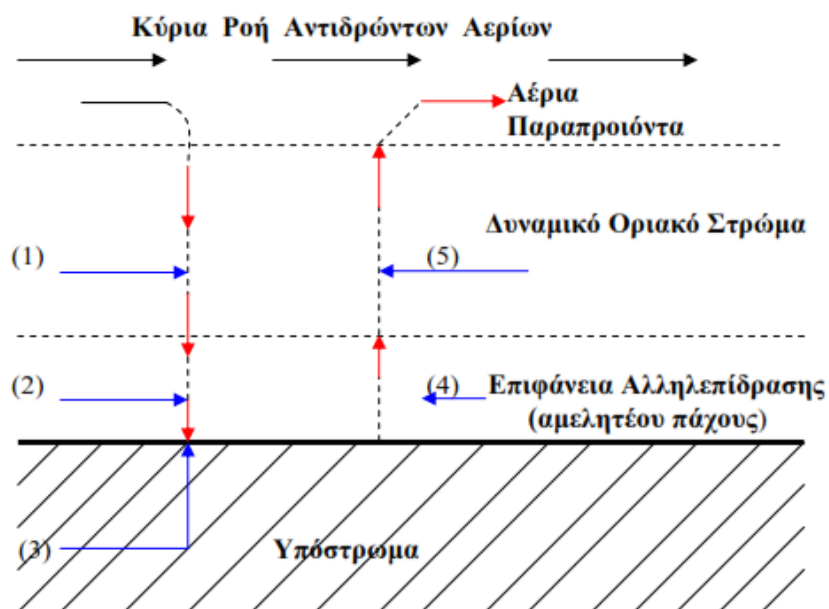
Παραλλαγές του PVD περιλαμβάνουν:

- Εναπόθεση καθοδικής εκκένωσης τόξου: Στην οποία ένα υψηλής ισχύος ηλεκτρικό τόξο εκχέεται στο στόχο (πηγή) υλικό εκρήξεις μακριά μερικά σε εξαιρετικά ιονισμένο ατμό που θα κατατεθεί πάνω στο δοκίμιο.
- Δέσμης ηλεκτρονίων με φυσική εναπόθεση ατμού: στον οποίο το υλικό που πρόκειται να αποτεθεί θερμαίνεται σε μία υψηλή πίεση ατμών από βομβαρδισμό ηλεκτρονίων σε «υψηλή» κενό και μεταφέρεται με διάχυση να εναποτίθεται με συμπύκνωση στο (ψυγείου) τεμαχίου.
- Εξατμιστική εναπόθεση: στον οποίο το υλικό που πρόκειται να αποτεθεί θερμαίνεται σε μία υψηλή πίεση ατμών από ηλεκτρικά ωμικά θερμαντικά σε "χαμηλό" κενό.
- Παλμική εναπόθεση λέιζερ: Στην οποία μία λέιζερ υψηλής ισχύος αφαιρεί υλικό από τον στόχο σε ατμό.
- Εναπόθεση καθοδικής διασκόρπισης: Στην οποία μία εκκένωσης αίγλης πλάσματος (συνήθως εντοπίζεται γύρω από το "στόχο" από ένα μαγνήτη) βομβαρδίζει το υλικό sputtering λίγο μακριά μορφή ατμού για τις επόμενες εναπόθεση.

3.3 Μέθοδος χημικής εναπόθεσης ατμού - CVD Method

Η χημική απόθεση ατμών (CVD) είναι μια σύνθετη διαδικασία, κατά την οποία χημικώς αντιδρώντα συστατικά αντιδρούν στην αέρια φάση, κοντά ή πάνω στο υπόστρωμα, το οποίο θερμαίνεται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό στερεών επικαλυπτικών στρωμάτων. Η τεχνική CVD είναι συνήθως ενδόθερμη. Η CVD τεχνική κάνει εκτεταμένη χρήση τεχνολογίας πλάσματος, το οποίο είναι φυσικό φαινόμενο και αντίστροφα, εξάχνωση και θρυμματισμός εμφανίζονται σε χημικό περιβάλλον. Ο σχηματισμός αυτός καθορίζεται από συγκεκριμένες βασικές αρχές, που επιβάλλονται από τη χημεία, τη θερμοδυναμική, τη χημική κινητική και τα φαινόμενα μεταφοράς. Τυπικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε έναν αντιδραστήρα χημικής εναπόθεσης ατμών είναι η πυρόλυση, η αναγωγή, η οξειδωση και η νιτρίδωση και χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα στη βιομηχανία των ημιαγωγών.

Η ακολουθία των φαινομένων κατά τη διάρκεια μιας CVD αντίδρασης, απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 25: Απεικόνιση μιας CVD αντίδρασης

Οι διεργασίες των βημάτων 1 έως και 5, που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα, αποδίδονται περιληπτικά ως εξής:

1) Τα αντιδρώντα αέρια εισάγονται στον αντιδραστήρα υπό συνθήκες εξαναγκασμένης ροής και εν συνεχεία, διαχέονται μέσω ενός δυναμικού οριακού στρώματος (boundary layer), αναλυτική περιγραφή του οποίου γίνεται παρακάτω.

- 2) Απορρόφηση των αντιδρώντων αερίων στην επιφάνεια του υποστρώματος.
- 3) Η χημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια επαφής.
- 4) Εκρόφηση των παραπροϊόντων της αντίδρασης.
- 5) Διάχυση των αερίων παραπροϊόντων, μέσω του δυναμικού οριακού στρώματος.

Τα συγκεκριμένα βήματα της όλης διαδικασίας ακολουθούν τη σειρά με την οποία και αναγράφονται παραπάνω. Το αργότερο από αυτά καθορίζει το ρυθμό της αντίδρασης. Το παραπάνω μοντέλο, που περιλαμβάνει τη θεωρία του δυναμικού οριακού στρώματος, ισχύει στις περιπτώσεις εκείνες όπου η πίεση είναι σχετικά αυξημένη, ενώ δεν εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που αυτή είναι υπερβολικά μικρή, της τάξεως των mTorr.

Το συνηθέστερο σύστημα CVD είναι το θερμικό, στο οποίο η απαιτούμενη ενέργεια για την ενεργοποίηση της αντίδρασης δίδεται μέσω είτε ηλεκτρικής αντίστασης είτε μέσω επαγωγικών ρευμάτων. Από εκεί και πέρα ιδιαίτερα διαδεδομένα είναι και τα ακόλουθα συστήματα CVD, τα οποία περιγράφονται ξεχωριστά στα παρακάτω.

3.3.1 Χημική εναπόθεση ατμών με τεχνολογία πλάσματος (Plasma CVD).

Κατά τις θερμικές διεργασίες, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αντίδραση ενεργοποιείται μέσω θερμικής ενέργειας και η θερμοκρασία εναπόθεσης είναι για διάφορες εφαρμογές συχνά ιδιαίτερα υψηλή. Με τη χρήση τεχνικής πλάσματος, γνωστής επίσης ως απόθεση εμπλουτισμένη σε πλάσμα (PECVD: Plasma enhanced CVD) ή υποβοηθούμενη από πλάσμα (PACVD: Plasma assisted CVD), η αντίδραση ενεργοποιείται από πλάσμα. Ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία του υποστρώματος μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη, που πολλές φορές αποδεικνύεται σημαντικό πλεονέκτημα.

Κατά τη μέθοδο αυτή, καθώς η θερμοκρασία του αερίου αυξάνει, τα άτομα σταδιακά ιονίζονται και σχηματίζεται πλάσμα, αποτελούμενο από ιόντα θετικά φορτισμένα, ηλεκτρόνια και άτομα με ουδέτερο φορτίο, τα οποία δεν έχουν ιονιστεί. Μετά από κάποια θερμοκρασία, όλα τα μόρια του αερίου διασπώνται σε άτομα, τα οποία ιονίζονται με αυξανόμενο ρυθμό. Για την επίτευξη βέβαια τέτοιων συνθηκών, απαιτούνται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας, οπότε οι θερμοκρασίες πρέπει να είναι πολύ υψηλές (>5000 °K). Είναι χαρακτηριστικό ότι περίπου σε θερμοκρασία 3700°K, το οποίο είναι το ελάχιστο θερμοκρασιακό όριο για τη δημιουργία πλάσματος, εκ των οποίων επιτυγχάνεται ιονισμός σε ποσοστό μόνο 10 %.

Η τεχνολογία πλάσματος έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το μεγαλύτερο όμως από αυτά είναι ότι καθιστά εύκολη την εναπόθεση σε θερμοκρασίες, όπου οι θερμικές διεργασίες δεν θα εξυπηρετούσαν, ενώ παράλληλα επιτρέπει το σχηματισμό υμενίων σε χαμηλής θερμοκρασίας υποστρώματα, όπως το αλουμίνιο (που σε άλλη περίπτωση θα ήταν πιθανό να υποστεί τήξη), οργανικά πολυμερή ή κραματωμένα μέταλλα, τα οποία υφίστανται δομικές αλλαγές σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως είναι ο ωστενιτικός χάλυβας. Άλλο ένα πλεονέκτημα είναι ότι μειώνονται (από τη στιγμή που η θερμοκρασία της εναπόθεσης παραμένει χαμηλή) οι επιβαλλόμενες τάσεις, που

αναπτύσσονται λόγω διαφορετικής επίδρασης της θερμικής διαστολής μεταξύ υποστρώματος και επικαλυπτικού στρώματος.

3.3.2 Χημική εναπόθεση ατμών με τεχνολογία λέιζερ και φωτός.

Εκτός από τις θερμικές και με χρήση πλάσματος διεργασίες, δύο άλλες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια: η laser και η photo CVD. Οι τεχνικές αυτές, αν και σε πειραματικό στάδιο, παρουσιάζουν μεγάλη δυναμική, ειδικά σε εξειδικευμένους τομείς εφαρμογών.

Laser CVD: Ένα laser παράγει μια συνεκτική, μονοχρωματική, υψηλής ενέργειας δέσμη φωτονίων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ενεργοποίηση μιας CVD αντίδρασης. Η ενεργοποίηση αυτή μπορεί να λάβει χώρα με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς: α) θερμικούς και β) φωτολυτικούς.

Το θερμικό laser, γνωστό και ως laser πυρόλυσης, εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της θερμικής ενέργειας από το laser, το οποίο έρχεται σε επαφή και θερμαίνει ένα υπόστρωμα απορρόφησης. Το μήκος κύματός του είναι τέτοιο ώστε ελάχιστη ή καθόλου ενέργεια δεν απορροφάται από τα μόρια του αερίου. Το υπόστρωμα είναι τοπικά θερμαινόμενο σε ανάλογο τρόπο με την τοπική θέρμανση που εφαρμόζεται σε έναν αντιδραστήρα ψυχρών τοιχωμάτων. Η εναπόθεση τότε περιορίζεται στη θερμαινόμενη περιοχή.

Photo CVD: Είναι γνωστό και ως φωτολυτικό CVD. Στην περίπτωση αυτή η χημική αντίδραση πραγματοποιείται με την επίδραση του φωτός (single photon absorption) στην περιοχή του υπεριώδους. Έτσι, παράγεται επαρκής φωτεινή ενέργεια ώστε να σπάσουν οι χημικοί δεσμοί των αντιδρώντων αερίων. Σε πολλές περιπτώσεις, τα μόρια αυτά έχουν ευρύ πεδίο ηλεκτρονικής απορρόφησης και διεγείρονται εύκολα από την υπεριώδη ακτινοβολία. Παρ' όλο που διάφορες πηγές έχουν χρησιμοποιηθεί, περισσότερη ενέργεια μπορεί να παραχθεί από τα laser υπεριώδους ακτινοβολίας.

Η μέθοδος αυτή διαφέρει από την τεχνική του θερμικού laser στο ότι η αντίδραση ενεργοποιείται μέσω φωτονίων, δεν απαιτείται θέρμανση και η εναπόθεση είναι δυνατόν να εμφανιστεί ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου. Επιπλέον, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς τον τύπο του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι απορροφητικό, αδιαφανές ή διαφανές.

Ένα βασικό μειονέκτημα της τεχνικής είναι ο χαμηλός ρυθμός εναπόθεσης, ο οποίος μέχρι τώρα έχει περιορίσει τις εφαρμογές της. Στην περίπτωση που η διάθεση laser υψηλότερης ισχύος καταστεί οικονομική, θα μπορέσει να ανταγωνιστεί ως τεχνική τις θερμικές διεργασίες, ιδιαίτερα σε κρίσιμες διατάξεις ημιαγωγών, όπου η χαμηλή θερμοκρασία είναι αναγκαία.

Πέρα από τις παραπάνω τεχνικές υπάρχουν και άλλες, όπως η τεχνική CVI (Chemical Vapor Infiltration), κατάλληλη για την παραγωγή κεραμικών υλικών και η τεχνική Fluidized Bed CVD για την παραγωγή επικαλυπτικών στρωμάτων σε μορφή πούδρας.

3.4 Τεχνολογία Ηλεκτροαποθέσεων

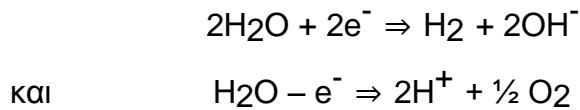
Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι βασικές αρχές της ηλεκτροαπόθεσης, η οποία ουσιαστικά ταυτίζεται με την τεχνική της ηλεκτρόλυσης εφόσον επιδιώκεται η απόθεση μεταλλικών κυρίως επικαλύψεων. Η ηλεκτρόλυση είναι το χημικό φαινόμενο που πραγματοποιείται όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από διάλυμα ή τήγμα ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι το μέσο που άγει το ρεύμα, μέσω των ιόντων και κατά την διάρκεια της ηλεκτρόλυσης διασπάται. Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης πραγματοποιείται συνήθως σε ειδικά διαμορφωμένα δοχεία τα οποία ονομάζονται ηλεκτρολυτικά κελιά. Στα δοχεία αυτά τοποθετείται το διάλυμα ή το τήγμα ηλεκτρολύτη και βυθίζονται δύο ηλεκτρόδια (από μέταλλο ή γραφίτη) τα οποία ενώνονται με τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής. Στη μάζα των διαλυμάτων ή των τηγμάτων των ηλεκτρολυτών υπάρχουν ανιόντα και κατιόντα ελεύθερα να κινηθούν στο διάλυμα, κάτω από την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και έλκονται από το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα.

Τα κατιόντα κινούνται προς το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, το οποίο ονομάζεται κάθοδος και εκεί προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια όπου και εξουδετερώνεται το φορτίο τους. Δηλαδή από θετικά φορτισμένα ιόντα μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα με μηδενικό ηλεκτρικό φορτίο. Η μετατροπή αυτή ονομάζεται αναγωγή. Αντίθετα τα αρνητικά ιόντα κινούνται προς το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, την άνοδο και εκεί αποβάλλοντας τα επιπλέον ηλεκτρόνια αποφορτίζονται. Δηλαδή από αρνητικά φορτισμένα ιόντα μετατρέπονται και αυτά σε ουδέτερα άτομα. Η μετατροπή αυτή ονομάζεται οξειδωση.

Στην κάθοδο λοιπόν τα ιόντα ανάγονται (παίρνουν ηλεκτρόνια) και στην άνοδο οξειδώνονται (δίνουν ηλεκτρόνια). Τα ουδέτερα άτομα που προκύπτουν είτε ενώνονται μεταξύ είτε αντιδρούν με το νερό ή ακόμα και με τα ίδια τα ηλεκτρόδια. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων ή στην περιοχή γύρω από αυτά. Έτσι οι ουσίες που δημιουργούνται είναι δυνατόν να προσροφηθούν στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων: όπως για παράδειγμα όταν ηλεκτρολύονται αραιά οξέα στην επιφάνεια της καθόδου σχηματίζονται προσροφημένα άτομα υδρογόνου, που ενώνονται και δίνουν υδρογόνο. Αυτός είναι ο μηχανισμός με τον οποίο σχηματίζονται οι ηλεκτρολυτικές μεταλλικές επικαλύψεις. Τα μεταλλοκατιόντα αποφορτίζονται στην κάθοδο, μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα και αυτά με τη σειρά τους ενώνονται και σχηματίζουν μεταλλικές επικαλύψεις.

Πολλές φορές όμως, οι ηλεκτρολυτικές αντιδράσεις είναι πιο πολύπλοκες. Κάθε ιόν για να αποβάλει το φορτίο του (ή αλλιώς για να αναχθεί αν είναι κατιόν ή να οξειδωθεί αν είναι ανιόν), απαιτεί μια ορισμένη τάση, η οποία ανάλογα με το ιόν μπορεί να είναι μικρή ή μεγάλη και ονομάζεται τάση απόθεσης του ιόντος. Έτσι σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα που υπάρχουν περισσότερα από ένα κατιόντα με την επιβολή τάσης έλκονται όλα από την κάθοδο και αποφορτίζονται πρώτα εκείνα που έχουν την μικρότερη τάση απόθεσης, ενώ δεν αποφορτίζονται εκείνα για τα οποία η τάση είναι μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να αναχθούν.

Εκτός όμως από τα ιόντα στην περιοχή γύρω από τα ηλεκτρόδια, υπάρχουν και τα μόρια του νερού (σε υδατικά διαλύματα). Αυτά είναι δυνατόν να αναχθούν ή να οξειδωθούν σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Αν λοιπόν η ηλεκτρική τάση που χρειάζονται τα ιόντα του διαλύματος για να αναχθούν ή να οξειδωθούν είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που χρειάζονται τα μόρια του νερού, τότε ανάγονται η οξειδώνονται τα μόρια του νερού.

Στην ειδική περίπτωση που τα ηλεκτρόδια δεν είναι κατασκευασμένα από αδρανές υλικό είναι δυνατόν να οξειδωθεί η άνοδος και σε αυτό το φαινόμενο βασίζεται ο ηλεκτρολυτικός καθαρισμός των μετάλλων και η ανοδίωση του αλουμινίου.

Οι νόμοι που περιγράφουν το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης διατυπώθηκαν τον περασμένο αιώνα από τον Faraday και είναι οι εξής:

1. Τα βάρη των σωμάτων που ελευθερώνονται στην άνοδο και στην κάθοδο του ηλεκτρολυτικού κελιού είναι ανάλογα με την ποσότητα του ηλεκτρισμού που διέρχεται από τον ηλεκτρολύτη.
2. Το ηλεκτρικό φορτίο είναι ίσο με το γινόμενο της έντασης του ρεύματος και του χρόνου που το ρεύμα διαρρέει αυτό το ηλεκτρικό κύκλωμα.
3. Το ποσό των σωμάτων που αποτίθενται στην άνοδο ή στην κάθοδο είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο μεγαλύτερη και η ένταση του ρεύματος και όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος της ηλεκτρόλυσης.
4. Η μάζα των στοιχείων που απελευθερώνονται στα ηλεκτρόδια από το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο είναι ανάλογη με τα χημικά τους ισοδύναμα.

Από τους νόμους αυτούς προκύπτει η σχέση με την οποία υπολογίζονται οι ποσότητες των μετάλλων ή των άλλων στοιχείων που ελευθερώνονται στα ηλεκτρόδια. Η μάζα (m) του στοιχείου που αποτίθεται στην ηλεκτροαπόθεση είναι

$$m = \frac{A * I * t}{N * F} ()$$

Όπου

A: ατομικό βάρος στοιχείου
N: φορτίο του ιόντος του στοιχείου
I: ένταση του ρεύματος
t: χρόνος ηλεκτροαπόθεσης
F: σταθερά του Faraday (9650 Cb)

Με τον όρο ηλεκτρολυτική επικάλυψη εννοείται η διαδικασία, βάσει της οποίας δημιουργείται ένα επίστρωμα από μέταλλο πάνω σε μια επιφάνεια, με το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης. Οι επιφάνειες πάνω στις οποίες γίνεται η επικάλυψη είναι κυρίως μεταλλικές και πριν χρησιμοποιηθούν έχουν υποστεί κατάλληλη κατεργασία.

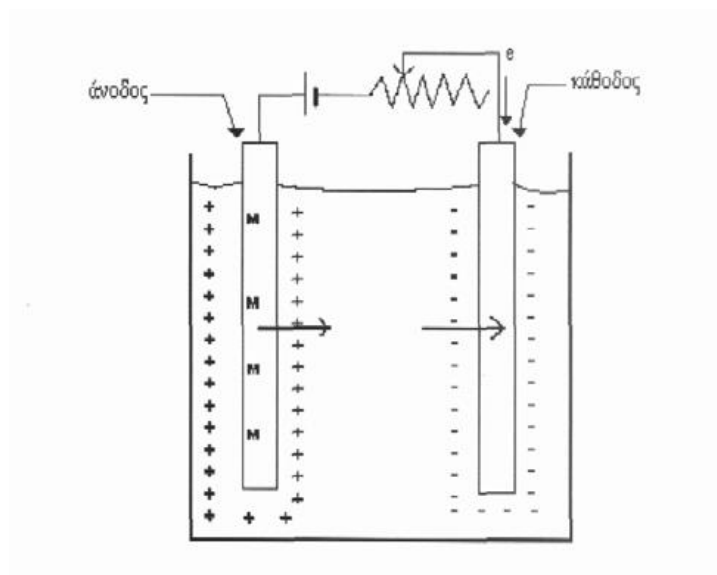
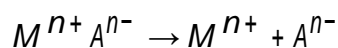
Η ηλεκτρολυτική επικάλυψη είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος βιομηχανικής επιμετάλλωσης και χρησιμοποιείται κυρίως:

- για την προστασία των μεταλλικών αντικειμένων από διάφορες χημικές αντιδράσεις και μηχανικές δράσεις.
- προκειμένου να προσδοθούν σε υλικά συγκεκριμένες μηχανικές, μαγνητικές, χημικές και άλλες ιδιότητες.
- για διακοσμητικούς λόγους, με σκοπό την βελτίωση της εμφάνισής τους.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις ηλεκτρολυτικών επικαλύψεων είναι η επιχάλκωση, η επινικέλωση, η επαργύρωση, η επιχρωμίωση, οι επικαλύψεις με ευγενή μέταλλα κτλ.

3.4.1 Βασικές αρχές ηλεκτροαπόθεσης

Μια ηλεκτρολυτική διάταξη έχει ως βασικό εξοπλισμό ένα δοχείο (ηλεκτρολυτική κυψελίδα), το οποίο περιέχει τον κατάλληλο ηλεκτρολύτη ανάλογα με το είδος της επιμετάλλωσης που θα γίνει. Έτσι, το λουτρό είναι συνήθως υδατικό διάλυμα του άλατος του μετάλλου που πρόκειται να αποτεθεί. Το άλας διαίεται στο νερό και τελικά υπάρχει μέσα στην κυψελίδα με την μορφή των θετικών ιόντων (κατιόντα) μετάλλου M^{n+} και αρνητικών ιόντων (ανιόντα) A^{n-}



Όπως φαίνεται στο σχήμα μέσα στο ηλεκτρολυτικό λουτρό της διάταξης είναι βυθισμένα τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου. Το ηλεκτρόδιο της ανόδου είναι συνδεδεμένο με το θετικό και ηλεκτρόδιο της καθόδου με τον αρνητικό πόλο μιας πηγής συνεχούς ρεύματος. Η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος εξασφαλίζεται, δηλαδή κλείνει το κύκλωμα, με τα ιόντα που βρίσκονται στο διάλυμα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όταν εφαρμόζεται μια τάση στους πόλους μιας ηλεκτρολυτικής διάταξης τα ιόντα του μετάλλου M^{n+} κινούνται εντός του ηλεκτρολυτικού λουτρού προς την κάθοδο. Εκεί προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και αποφορτίζονται (ανάγονται). Δηλαδή παίρνουν η ηλεκτρόνια, χάνουν το θετικό φορτίο τους και μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα μετάλλου. Έτσι τα μεταλλικά άτομα αποτίθενται στην επιφάνεια της καθόδου και την επικαλύπτουν. Αντίθετα τα ανιόντα A^{n-} του άλατος κινούνται, λόγω της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου, προς την άνοδο. Εκεί αποδίδουν τα ηλεκτρόνια και αποφορτίζονται (οξειδώνονται), δηλαδή μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα.

Όπως στις περισσότερες ηλεκτρολυτικές επιμεταλλώσεις, η άνοδος αποτελείται από το μέταλλο M το οποίο πρόκειται να αποτεθεί. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν, εκτός από οξείδωση των ανιόντων να εκδηλωθεί και οξείδωση του μετάλλου M της ανόδου. Το μέταλλο μετατρέπεται σε κατιόντα και περνάει στο ηλεκτρολυτικό λουτρό, στην ουσία δηλαδή διαλυτοποιείται. Επομένως σε ορισμένο αριθμό ιόντων μετάλλου M^{n+} που αποφορτίζονται και αποτίθενται στην κάθοδο αντιστοιχεί και σχεδόν ίσος αριθμός ατόμων μετάλλου M που οξειδώνονται και διαλυτοποιούνται στην άνοδο με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των ιόντων του μετάλλου στο λουτρό να παραμείνει σχεδόν σταθερή στην επιθυμητή κάθε φορά τιμή.

Για να πραγματοποιηθεί απόθεση πρέπει στους πόλους της ηλεκτρολυτικής διάταξης να εφαρμοστεί μια τάση (U). Έχει αποδειχθεί ότι για να εκδηλωθεί το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης, η τάση U θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη μιας συγκεκριμένης τιμής η οποία ονομάζεται τάση απόθεση ή τάση διάσπασης (E). Έτσι το μέταλλο δεν μπορεί να αποτεθεί όταν η τάση που εφαρμόζεται στην πηγή είναι μικρότερη από την τάση απόθεσης. Η τάση απόθεσης είναι διαφορετική για κάθε ηλεκτροχημική αντίδραση και συνεπώς εξαρτάται κάθε φορά από το διάλυμα και το προς απόθεση μέταλλο.

Όταν εκδηλωθεί το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης, οι ποσότητες των υλικών τα οποία αρχίζουν να αποτίθενται στα δύο ηλεκτρόδια δημιουργούν ένα γαλβανικό στοιχείο, το οποίο εμφανίζει δυναμικό αντίθετο από την εξωτερικά εφαρμοζόμενη τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πόλωση των ηλεκτροδίων. Για να ξεκινήσει η ηλεκτρόλυση θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται να είναι μεγαλύτερη από το δυναμικό του γαλβανικού στοιχείου που σχηματίζεται. Μόλις αρχίσει να διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα την κυψελίδα, εμφανίζεται πτώση τάσης, η οποία ασκείται στους πόλους της ηλεκτρολυτικής διάταξης. Η πτώση αυτή οφείλεται κυρίως στις εξής αιτίες:

1. Στο φαινόμενο της πόλωσης των ηλεκτροδίων, το οποίο δημιουργείται εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης των ιόντων στις περιοχές του λουτρού γύρω από τα ηλεκτρόδια. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να μειωθεί η πυκνότητα του

ρεύματος ή να αυξηθεί η θερμοκρασία του λουτρού. Η πόλωση των ηλεκτροδίων περιορίζεται με την ανάδευση του λουτρού, γιατί με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο αριθμός των ιόντων που συγκεντρώνονται γύρω από τα ηλεκτρόδια.

2. Στην ωμική πτώση της τάσης $I \cdot R$ η οποία εμφανίζεται κατά την δημιουργία αγώγιμων στρωμάτων στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων.

Κατά συνέπεια η τάση U που θα πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ της ανόδου και της καθόδου για να γίνει η ηλεκτρόλυση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με

$$U = E + \text{πόλωση ηλεκτροδίων} + IR \quad (4)$$

όπου

E η τάση απόθεσης ή διάσπασης

I η ένταση του ρεύματος

R η αντίσταση του ηλεκτρικού λουτρού

Η διαφορά ανάμεσα στην θεωρητική τάση απόθεσης E , για μια συγκεκριμένη ηλεκτροχημική αντίδραση και στην τάση U που πρέπει στην πραγματικότητα να εφαρμοστεί ονομάζεται υπέρταση. Η υπέρταση είναι συνήθως μεγαλύτερη όταν στα ηλεκτρόδια ελευθερώνονται αέριες ενώσεις και η τιμή της εξαρτάται από το υλικό με το οποίο έχουν κατασκευαστεί τα ηλεκτρόδια καθώς και από την πυκνότητα του ρεύματος.

3.5 Μέθοδος αέριας φάσης (gas – phase)

Η σύνθεση νανοδομών με τη μέθοδο αέριας φάσης έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τεχνικών μη αέριας φάσης, όπως είναι οι μέθοδοι υγρής φάσης (liquid – phase) στερεάς φάσης (solid – phase). Ορισμένα από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι η καθαρότητα των προϊόντων, η ευκολία διαχωρισμού του προϊόντος από τα υπολείμματα, η συνεχή διεργασία και ο καλός έλεγχος του προϊόντος.

Οι πρόδρομες ουσίες πρώτα μετατρέπονται σε ατμό. Όταν μειωθεί η θερμοκρασία, δημιουργείται ένας υπέρκορος ατμός, από τον οποίο λαμβάνει χώρα ομοιογενή πυρήνωση, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των πρώτων πρωτογενών σωματιδίων.

Υπάρχουν πολλές διαδικασίες σύνθεσης αέριας – φάσης, αλλά δύο είναι αρκετά σημαντικές. Η μέθοδος συμπύκνωσης αδρανούς αερίου και η πυρόλυση αεροδιαλύματος.

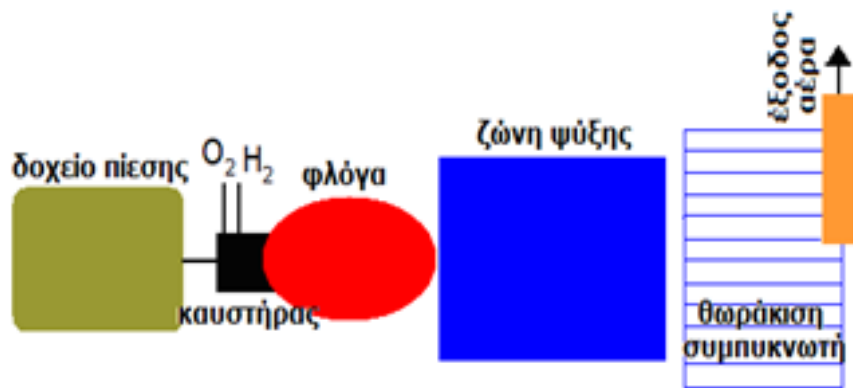
3.5.1 Συμπύκνωση αδρανούς αερίου (inert gas condensation)

Η μέθοδος αυτή απαιτεί δύο βήματα. Αρχικά παράγονται κρύσταλλοι μεγέθους νανομέτρων με εξάτμιση της πρώτης ύλης μέσα σε αδρανή ατμόσφαιρα. Η παραγωγή ατμού μπορεί να επιτευχθεί με θερμική δέσμη ηλεκτρονίων, αποκόλληση με χρήση λέιζερ, καθοδική διασκόρπιση αλλά κυρίως με θερμότητα Joule. Τα μόρια ή τα άτομα του υλικού συγκρούονται με τα άτομα του αδρανούς αερίου χάνοντας κινητική

ενέργεια και συμπυκνώνονται σε μικρά σωματίδια. Η εξαναγκασμένη ροή μεταφέρει τα τελευταία σε ένα ψυχόμενο σωλήνα όπου λόγω της ψύξης συσσωματώνονται.

3.5.2 Πυρόλυση αεροδιαλύματος

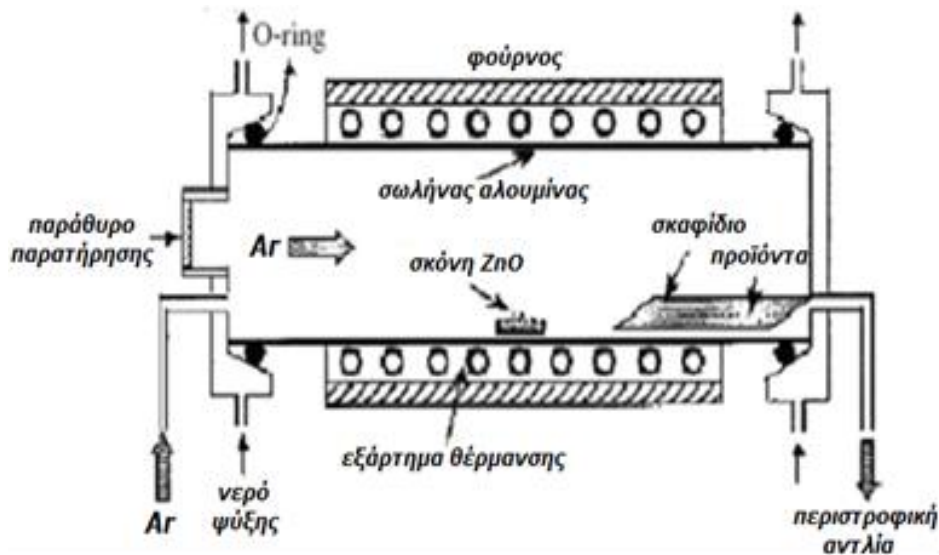
Κατά την πυρόλυση, αρχικά εισάγονται οι πρόδρομες ενώσεις στο δοχείο πίεσης, συνήθως διαλυμένες σε οργανικούς διαλύτες. Το διάλυμα αναμιγνύεται με το ρεύμα του οξυγόνου πριν εισέλθει στον καυστήρα και στη συνέχεια αναμιγνύεται με το ρεύμα του υδρογόνου και αναφλέγονται. Μέσα στα όρια της φλόγας το αεροδιάλυμα διασκορπίζεται, οξειδώνεται και σχηματίζονται τα σωματίδια. Ακολουθεί η ζώνη ψύξης του αντιδρώντος αερίου μίγματος και η απόθεση των σωματιδίων στο συμπυκνωτή, από την άκρη του οποίου εξέρχονται τα αέρια.



Σχήμα 26: Απεικόνιση της διαδικασίας πυρόλυσης αεροδιαλύματος.

3.6 Διαδικασία Στερεού – Αερίου (Solid Vapor Process)

Κατά την τεχνική αυτή, συμπυκνωμένα ή με τη μορφή σκόνης υλικά εξατμίζονται σε υψηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια η αέρια φάση συμπυκνώνεται κάτω από ορισμένες συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση) για να σχηματιστεί το επιθυμητό προϊόν. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται σε έναν οριζόντιο σωληνωτό φούρνο, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω και αναλύεται παρακάτω.



Σχήμα 27: Απεικόνιση της διαδικασίας Στερεού - Αερίου

Η συσκευή αποτελείται από έναν οριζόντιο φούρνο, έναν σωλήνα από αλουμίνια, ένα σύστημα αντλίας και ένα σύστημα ελέγχου και παροχής αερίου. Για τον έλεγχο της διαδικασίας ανάπτυξης, χρησιμοποιείται ένα παράθυρο παρατήρησης που υπάρχει στα αριστερά του σωλήνα αλουμίνιας, το δεξιό μέρος του σωλήνα είναι συνδεδεμένο με την περιστροφική αντλία. Τα δύο άκρα του σωλήνα είναι σφραγισμένα με ελαστικούς δακτυλίους. Το τελικό κενό για αυτή τη διαμόρφωση είναι $2 \cdot 10^{-3}$ Torr.

Το μεταφερόμενο αέριο εισέρχεται από το αριστερό άκρο και αντλείται από το δεξί άκρο του σωλήνα αλουμίνιας. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη εισάγονται σε ένα σκαφίδιο και τοποθετούνται στο κέντρο του σωλήνα, όπου επιτυγχάνεται και η υψηλότερη θερμοκρασία. Στην κατεύθυνση ρεύματος τοποθετούνται υποστρώματα αλουμίνιας για την περισυλλογή των προϊόντων ανάπτυξης. Με αυτή τη συσκευή μπορεί να επιτευχθεί υψηλός έλεγχος του τελικού προϊόντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Θερμική Άνεση

Η ύπαρξη κτιρίων, είτε αυτά εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συχνά στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζονται προβλήματα όσον αφορά στις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Τα αποτελέσματα του προβλήματος έχουν άμεσο αντίκτυπο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στα κτίρια όσο και στην υγεία των χρηστών. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η εμφάνιση φαινομένων θερμικής δυσaráσκειας στων χρηστών των κτιρίων είναι εκ διαμέτρου αντίθετη με τον λόγο ύπαρξής τους [29].

Εξετάζοντας το εκάστοτε κτίριο ως ένα ξεχωριστό υποσύστημα στο εξωτερικό περιβάλλοντος και με δεδομένη τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου.

Η πολυπλοκότητα και το βάθος των προβλημάτων που σχετίζονται με τη θερμική άνεση αυξάνεται, αν εισαγάγουμε και τον παράγοντα του κόστους. Τα κτίρια αποτελούν επενδύσεις εντάσεως κεφαλαίου, με υψηλό αρχικό κόστος και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Για το λόγο αυτό η όποια παράληψη, αμέλεια ή αστοχία στο σχεδιασμό και την κατασκευή έχει αντίτιμο επί δεκαετίες.

Το ζήτημα της θερμικής άνεσης και γενικότερα του εσωκλίματος εκτός από τους παράγοντες που φαίνονται παρακάτω στον πίνακα, εξαρτάται και από τον ανθρώπινο παράγοντα. Η χρήση του κτιρίου από τους κατοίκους του, μπορεί να οδηγήσει είτε σε βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος είτε σε υποβάθμισή του.

- i. Φυσικές παράμετροι
 - Θερμοκρασία του αέρα (°C)
 - Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών (°C)
 - Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (Pa)
 - Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα (m/s)
 - Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών

- ii. Βιολογικές παράμετροι
 - Το φύλλο των χρηστών του χώρου
 - Η ηλικία των χρηστών του χώρου
 - Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου

- iii. Εξωτερικές παράμετροι
 - Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου (met)¹
 - Ο τύπος ρουχισμού των χρηστών του χώρου (clo)²

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς οι οποίοι ως στόχο έχουν να διατηρούν τη θερμική κατάσταση του σώματος σταθερή και να την προσαρμόζουν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυξομείωση των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας.

¹ 1 met=58.15 W/m²

² 1 clo=0.155 m² °C / W

4.2 Υπέρυθρη ακτινοβολία

Η υπέρυθρη ακτινοβολία ή υπέρυθρες ακτίνες είναι τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στο φάσμα τοποθετούνται ως μικρότερη συχνότητα στην προέκταση της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας, εξ ου και το όνομα «υπέρυθρες» (υπό του ερυθρού). Το μήκος κύματός τους κυμαίνεται από το 1 χιλιοστό έως τα 700 νανόμετρα, όπου ξεκινά το ορατό φάσμα. Συνήθως εκπέμπονται από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα με τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερες υπέρυθρες και αντίστροφα τα σώματα που απορροφούν περισσότερες υπέρυθρες αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την ταλάντωση των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, η οποία αφορά τη θερμική ενέργεια του σώματος [30].

Το υπέρυθρο τμήμα από το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, διαιρείται σε τρία τμήματα από το μήκος κύματος που μετρείται σε μικρόμετρα ή μικρόμετρα (1 μικρόμετρα ισοδυναμεί με 1/ 1.000.000 του μέτρου).

0, 76 ~ 1,5 micro-infrared (μικρές – κοντινές)

1, 5 ~ 5,6 middle/intermediate-infrared (μεσαίες)

5,6 ~ 1.000 far-infrared (βαθύ υπέρυθρο)

Αυτή η ενεργειακή δέσμη φωτός δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι αλλά μπορεί να γίνει ορατή κάνοντας χρήση ειδικών καμερών οι οποίες μεταφράζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία σε χρώματα ορατά πλέον στα ανθρώπινα μάτια. Μπορούμε να αναγνωρίσουμε αυτό το τύπο φωτός μέσω της θερμότητας. Ο ήλιος παράγει ενέργεια, το πιο σημαντικό μέρος της ενέργειας αυτής εκτίθεται στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Η ατμόσφαιρα λειτουργεί ως παράθυρο που επιτρέπει στις υπέρυθρες ακτίνες να φθάσουν στην επιφάνεια της γης σε 7~14 μικρόμετρα. Όταν η γη ζεσταίνεται η μέγιστη παραγωγή υπέρυθρης ακτινοβολίας αγγίζει τα 10 μικρόμετρα.

4.3 Θερμική ακτινοβολία

Θερμική ακτινοβολία είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του. Γενικά, η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα αντιστοιχεί σε συχνότητες ολόκληρου του φάσματος ακτινοβολίας αφού προέρχεται από τη θερμική, «τυχαία», κίνηση των συστατικών της ύλης [31].

Γενικά όλα τα σώματα στη Φύση χάνουν ή αποκτούν θερμότητα εκπέμποντας ή απορροφώντας ακτινοβολία. Καθώς κινούνται αδιάκοπα, τα σωματίδια που συγκροτούν ένα σώμα εκπέμπουν ακτινοβολία, χάνοντας έτσι ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας με συνέπεια να αρχίζουν να επιβραδύνονται και έτσι τα σώματα που συγκροτούν να ψύχονται. Η ποσότητα της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή συχνότητας εξαρτάται από τον συντελεστή εκπομπής του σώματος, ο οποίος καθορίζεται από το υλικό και την θερμοκρασία του σώματος καθώς και από την γωνία

υπό την οποία γίνεται η εκπομπή ή η απορρόφηση. Ένα ιδανικό σώμα του οποίου ο συντελεστής εκπομπής είναι σταθερός ονομάζεται φαιό σώμα ενώ αν ο συντελεστής είναι σταθερός και ίσος με την μονάδα τότε καλείται μέλαν σώμα. Όταν το μέλαν σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία η ακτινοβολία που εκπέμπει ονομάζεται "ακτινοβολία μέλανος σώματος".

Η κατανομή της ενέργειας στις διάφορες συχνότητες³ για το μέλαν σώμα καθορίζεται από τον Νόμο του Πλανκ $E = h * \nu = 6.6 * 10^{-34} \frac{J}{s}$, όπου γενικά υποστηρίζει ότι σε μικρό μήκος κύματος η ενέργεια είναι μεγαλύτερη. Ο νόμος του Βιέν $\lambda_{\max} T = 2.898 * 10^{-3} m * K$ μας δίνει την συχνότητα της μέγιστης εκπομπής, όπου το γινόμενο του μήκους κύματος λ_{\max} που αντιστοιχεί στο μέγιστο της κατανομής επί τη θερμοκρασία είναι σταθερό. Ο νόμος των Stefan - Boltzmann $I = \sigma * T^4$ δίνει την συνολική ενέργεια που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφάνειας, όπου $\sigma = 5,67 * 10^{-8} Wm^{-2}K^4$ και είναι παγκόσμια σταθερά.

Το μέτρο της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας λέγεται Ηλιακή σταθερά (Solar factor) αναλύεται παρακάτω. Ο ηλιακός συντελεστής ή η συνολική διαπερατότητα της ενέργειας (Total Energy Transmittance): είναι ο λόγος της συνολικής ηλιακής ροής που περνάει μέσα από το γυαλί προς την προσπίπτουσα ηλιακή ροή. Η συνολική ενέργεια είναι το άθροισμα της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας από πού διαπερνά απευθείας το γυαλί (πρωτογενούς θερμότητας) και της ενέργειας που επανακτινοβολείται από το γυαλί στον εσωτερικό περιβάλλοντα χώρο αφού είχε απορροφηθεί από το γυαλί (δευτερογενούς θερμότητας). Σε περιοχές λοιπόν, που υπάρχουν θερμά καλοκαίρια η τιμή αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

4.3.1 Ηλιακή Σταθερά

Ηλιακή σταθερά ονομάζεται η ποσότητα της θερμότητας και γενικότερα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται επιφάνεια ίση προς 1 cm^2 όταν εκτεθεί κάθετα στις ηλιακές ακτίνες επί 1 λεπτό. Επίσης η ηλιακή σταθερά ως μέτρο της θερμικής ενέργειας του Ήλιου που φτάνει στη Γη ισούται με 1400 Joule , υπολογιζόμενη το δευτερόλεπτο ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της γης [4].

Η θερμότητα προκύπτει σε θερμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων, Η εισροή θερμότητας σε ένα σύστημα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του ή την παραγωγή έργου.

4.3.2 Εσωτερική Ενέργεια

Εσωτερική ενέργεια ονομάζεται το συνολικό άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας των δομικών στοιχείων ενός σώματος ως προς το κέντρο μάζας του σώματος. Αν αυτό απομονωθεί από όλες τις εξωτερικές δυνάμεις, τότε συμβολίζεται με U .

³ το μικρό μήκος κύματος έχει μεγαλύτερη ενέργεια

Η εσωτερική ενέργεια είναι το άθροισμα της συνολικής δυναμικής ενέργειας των πεδίων που δημιουργούν τα εσωτερικά του στοιχεία και της συνολικής κινητικής ενέργειάς τους. Η συνολική κινητική ενέργεια είναι κατά κανόνα θετική. Η συνολική δυναμική ενέργεια είναι αρνητική, γιατί συγκρατεί τα δομικά στοιχεία, άρα οφείλεται σε ελκτικές δυνάμεις.

Η εσωτερική ενέργεια χαρακτηρίζει την εσωτερική συνοχή του σώματος. Όταν είναι αρνητική σημαίνει ότι χρειάζεται προσφορά ενέργειας για τη διάσπαση του σώματος στα δομικά συστατικά του, ενώ όταν είναι θετική σημαίνει ότι θα διασπαστεί αυθόρμητα. Όταν είναι μηδέν η κατάσταση είναι οριακή και ασταθής, αφού με την παραμικρή προσφορά ενέργειας το σώμα μπορεί να διαλυθεί.

Η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας γίνεται με προσφορά ενέργειας από το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να συμβεί με κρούση, με ηχητικά κύματα, με αύξηση της θερμοκρασίας ή ακτινοβολήση, με χημικές αντιδράσεις, με ηλεκτρικό ρεύμα. Η μείωση της κινητικής ενέργειας γίνεται με αποβολή ενέργειας στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται με κρούση, με αποβολή θερμότητας, με χημική αντίδραση, με ακτινοβολήση.

Η προσφορά θερμότητας σε ένα σώμα δύναται να προκαλέσει την ανύψωση της θερμοκρασίας του. Ο ρυθμός αλλαγής της θερμοκρασίας ως προς την προσφερόμενη θερμότητα ονομάζεται θερμοχωρητικότητα η θερμότητα δεν είναι καταστατική ποσότητα, και ως εκ τούτου εξαρτάται από την διαδικασία που ακολουθείται κατά τη θέρμανση του υλικού, με αποτέλεσμα και η θερμοχωρητικότητα να εξαρτάται από αυτήν.

4.3.3 Θερμοχωρητικότητα

Ως θερμοχωρητικότητα ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Κελσίου. Έτσι η θερμοχωρητικότητα ενός σώματος βρίσκεται αν πολλαπλασιαστεί η μάζα του επί την ειδική του θερμότητα [32].

Σύμφωνα με τη μαθηματική έκφραση, ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα προς την αντίστοιχη ανύψωση της θερμοκρασίας του δT κατά ένα βαθμό Κελσίου ονομάζεται Θερμοχωρητικότητα C .

$$C = \frac{\Delta Q}{\delta T} \quad (5)$$

Στο Διεθνές Σύστημα (SI), η μονάδα της θερμοχωρητικότητας είναι (Joule / Kelvin, J/K).

Η ειδική θερμοχωρητικότητα ή ειδική θερμότητα (specific heat capacity ή specific heat) αναφέρεται στη μονάδα της μάζας, ενώ η γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα (molar heat capacity) αναφέρεται σε ένα mol ενός καθαρού υλικού

Εν γένει, η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού δεν είναι μια σταθερά, αλλά εξαρτάται από την κλίμακα της θερμοκρασίας στην οποία συμβαίνει η θέρμανση του υλικού. Δηλαδή, για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας δT , σε διαφορετικές περιοχές θερμοκρασίας, απαιτούνται διαφορετικά ποσά θερμότητας ΔQ . Ωστόσο, σε πολλές πρακτικές εφαρμογές προσεγγιστικών υπολογισμών, μπορεί να θεωρηθεί σαν σταθερά.

Τέλος Θερμική ροή ονομάζεται ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα ανά μονάδα χρόνου δt .

$$Q = \frac{\Delta Q}{\delta t} \quad (6)$$

Ο βαθμός στον οποίο ένα σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία μιας ορισμένης συχνότητας είναι ανάλογος με τον βαθμό στον οποίο μπορεί να απορροφήσει την ίδια συχνότητα.

4.4 ΓΥΑΛΙ & ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

Ο ορισμός του συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας (ϵ) είναι η αναλογία εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ενός σώματος προς τη θερμική ακτινοβολία του μέλανος σώματος. Οι τιμές που το χαρακτηρίζουν κυμαίνονται από 0 – 1.

Τα αντικείμενα ενός χώρου επανεκπέμπουν την θερμότητα που αποκτούν, με την μορφή μεγάλου μήκους υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Οι υαλοπίνακες γενικώς, δεν αφήνουν αυτού του είδους την ακτινοβολία να περάσει, την απορροφούν, θερμαίνονται και επανεκπέμπουν την θερμότητα. Έτσι, ένας κοινός υαλοπίνακας (όχι ανακλαστικός) επανεκπέμπει την θερμότητα προς την ψυχρότερη περιοχή, π.χ. προς τα έξω τον χειμώνα, με αποτέλεσμα να χάνεται ενέργεια. Η τιμή (ϵ) της δυνατότητας εκπομπής (emissivity) ενός κοινού υαλοπίνακα είναι 0,89. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από την μάζα του γυαλιού, επανεκπέμπεται προς το περιβάλλον (προς την ψυχρότερη πλευρά του) και μόνο το 11% ανακλάται πίσω στην θερμή περιοχή.

Η ικανότητα εκπομπής ενός υαλοπίνακα, μπορεί να μεταφραστεί και σαν το επίπεδο απορρόφησης του υαλοπίνακα. Όσο μικρότερη είναι η ικανότητα εκπομπής (δηλ. η απορροφητικότητα), τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάκλαση άρα και η διατηρούμενη στον χώρο θερμότητα.

Σημαντική βελτίωση (μείωση) της τιμής δυνατότητας θερμικής εκπομπής (ϵ) των υαλοπινάκων επέφερε η εφεύρεση της επιστρώσεως της επιφάνειάς των με ένα μικροσκοπικά λεπτό, θεωρητικά άορατο στρώμα μετάλλων ή μεταλλικών οξειδίων. Οι δε διαρκώς βελτιούμενες τεχνικές επιστρώσεων, έχουν επιτρέψει να γίνουν σημαντικά βήματα στην ποιότητα της θερμομόνωσης των υαλοστασίων.

4.4.1 Θερμική εκπομπή υαλοπινάκων

Το μέγεθος της θερμότητας που διαχέεται στον οικιακό χώρο μέσω των υαλοπινάκων δεν είναι ορατό. Οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής low - e αποτελούν διπλή μόνωση μέσω της αντανάκλασης, της απορρόφησης και της εκπομπής του ηλιακού φωτός που ως ποσοστό μικρότερης θερμότητας προσπίπτει στο γυαλί. Όταν η επιφάνεια ή η σύνθεση του γυαλιού αλλάξουν τα χαρακτηριστικά τους, τροποποιούνται ώστε να αναμορφώνουν το περιβάλλον του κτιρίου με τη σωστή θερμοκρασία. Το γυαλί low - e εστιάζει στην αναλογική ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται και διοχετεύεται από το εξωτερικό περιβάλλον και στη θερμοκρασία εντός του κτιρίου συμπεριλαμβανομένης και αυτής που παρέχεται από τις οικιακές συσκευές

και την κεντρική θέρμανση. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια του ηλιακού φωτός είναι μία κλίμακα ευρεία σε ηχοκύματα και χαρακτηριστικά.

4.4.2 Ηλιακός Συντελεστής

Ο Ηλιακός Συντελεστής (Solar Factor SF) ή (g) αντιπροσωπεύει την συνολικώς μεταφερόμενη μέσω ενός υαλοστασίου ενέργεια. Είναι κατά συνέπεια το άθροισμα της άμεσα μεταφερόμενης ακτινοβολίας και αυτής η οποία απορροφάται και επανεκπέμπεται προς τον εσωτερικό χώρο.

$$g = t_e + q_i \quad (7)$$

όπου t_e : άμεσα μεταφερόμενη ακτινοβολία

q_i : η ακτινοβολία που απορροφάται και επανεκπέμπεται προς τον εσωτερικό χώρο

Παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τους συντελεστές αυτούς σε μια δεδομένη προσπίπτουσα ακτινοβολία, είναι η απόχρωση του γυαλιού, το πάχος του και στην περίπτωση των επιστρωμένων (coated) γυαλιών, η φύση της επίστρωσης.

	Solar Factor (g)	Διερχόμενο Φως
Λευκό γυαλί 4mm	0,86	0,90
Διπλό τζάμι 4+15+4	0,76	0,81

πίνακας 6: Διαφορετικοί υαλοπίνακες σε σχέση με τα χαρακτηριστικά τους

Η χαμηλής εκπομπής (low-e) επίστρωση είναι σχεδιασμένη να αυξάνει την ανάκλαση της απορροφούμενης από το γυαλί θερμότητας προς την πλευρά της πηγής της θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι, αντίθετα με τα κοινά λευκά γυαλιά, οι χαμηλής εκπομπής υαλοπίνακες εξασφαλίζουν το ότι η θερμότητα διατηρείται μέσα σ' ένα κτίριο τον χειμώνα ή απωθείται προς τα έξω το καλοκαίρι, βελτιώνοντας την θερμική άνεση.

Η ικανότητα εκπομπής επιδρά μόνο στην μεγάλη μήκους υπέρυθρη ακτινοβολία ενώ δεν έχει ουσιαστικά επίπτωση στον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου να συνδυαστεί ο έλεγχος της θερμοπερατότητας με τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν γυαλιά με επικαλύψεις οι οποίες συνδυάζουν και τις δύο λειτουργίες. Τέτοιοι υαλοπίνακες είναι οι θερμοχρωμικοί όπως αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

4.4.3 Συντελεστής Θερμοπερατότητας (U-VALUE)

Η ικανότητα ενός παραθύρου να μην επιτρέπει τη διακίνηση θερμότητας από τη μια πλευρά στην άλλη καθορίζεται από το συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value ή K). Πρόκειται για τον βαθμό απώλειας θερμότητας (σε Watt), μέσω μιας επιφάνειας 1m², για διαφορά θερμότητας 1 βαθμού Kelvin, μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.. Η συνολική θερμική μόνωση ενός παραθύρου εξαρτάται από την θερμική μόνωση του πλαισίου, την θερμική μόνωση του υαλοστασίου και τους αποστάτες θερμοδιακοπής. Ο συντελεστής αυτός πρέπει να είναι μικρός ώστε να υπάρχει καλή επίδοση.

4.4.3.1 Εξέλιξη του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοστασίων

Με την πάροδο του χρόνου υπάρχουν σημαντικές εξελίξεις στους υαλοπίνακες σε σχέση με τη μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας αλλά και το πάχος προκειμένου να βελτιωθούν οι ιδιότητές τους ως προς τη θερμική άνεση του χώρου. Αρχικά ένας μονός υαλοπίνακας με πάχος 6mm, είχε συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 5,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 εμφανίζονται οι πρώτοι διπλοί υαλοπίνακες, οι οποίοι συναρμολογούνταν και τοποθετούνταν άμεσα. Αργότερα κατά τη δεκαετία του 1960 τα εργοστάσια παρήγαγαν ερμητικά σφραγισμένους διπλούς υαλοπίνακες. Η ιδέα των διπλών υαλοπινάκων ήταν να δημιουργήσουν ένα διάκενο γεμισμένο με ξηρό αέρα ανάμεσα σε δύο φύλλα υαλοπινάκων. Με δεδομένο ότι το γυαλί έχει θερμική αγωγιμότητα $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ενώ ο αέρας μόλις $U = 0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, βελτιώνονται σημαντικά τα μονωτικά χαρακτηριστικά και να μειώνεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοστασίου (U_g). Συγκεκριμένα ένας διπλός υαλοπίνακας αποτελούμενος από δύο κοινούς υαλοπίνακες 5mm με 12mm διάκενο αέρα ανάμεσά τους, έχει $U = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Αργότερα επήλθε νέα βελτίωση με την αντικατάσταση του αέρα με ευγενή αέρια (Argon, krypton) τα οποία έχουν μικρότερη θερμική αγωγιμότητα από τον αέρα ώστε να μειώνουν την μετάδοση θερμότητας με επαφή, αλλά και μεγαλύτερη πυκνότητα ώστε να περιορίζουν την μετάδοση θερμότητας με ανάμιξη (κάνουν δυσκολότερη την κίνηση), όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω.

Όμως αποφασιστικής σημασίας βήμα στην ποιότητα της θερμικής μόνωσης των υαλοστασίων αποτέλεσε η ανάπτυξη νέων τεχνικών επίστρωσης. Εφαρμόζοντας μία μεταλλική επικάλυψη στην επιφάνεια ενός υαλοπίνακα, τον μετατρέπουμε σε Υψηλής Αποδοτικότητας (High - performance) ή όπως αλλιώς αποκαλείται Χαμηλής θερμικής εκπομπής low-emissivity (Low-E). Συγκεκριμένα, ένας διπλός υαλοπίνακας αποτελούμενος από έναν κοινό υαλοπίνακα 5mm και έναν υψηλής αποδοτικότητας (High - performance) υαλοπίνακα 5mm, με 14mm διάκενο, γεμισμένο με αέριο, έχει $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Διευκρίνιση σχετική με την σύνθεση που δίνει τα εν λόγω χαρακτηριστικά

τιμή του συντελεστή ανάκλασης

τιμή του συντελεστή σκίασης

τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U-value

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Double-Glazing 6-16-4 (with 90% Argon)

Coating position	LT EN 410	LR EN 410	EA EN 410	SF EN 410	SC EN 410	U-Value EN 673
#2	59	11	47	46	0,53	1,1
#3	74	17	24	73	0,84	1,5
#2	56	37	22	46	0,53	1,1

Θέση στην οποία τοποθετείται η επίστρωση

τιμή του συντελεστή φωτοπερατότητας

απορροφούμενη ενέργεια

τιμή του ηλιακού συντελεστή (g) solar factor

Πίνακας 7: Πίνακας χαρακτηριστικών υαλοπινάκων

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή αυτή η μείωση της τιμής του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων U_g , αρκεί να συγκριθεί με το συντελεστή θερμοπερατότητας ενός τοίχου χωρίς μόνωση στο εσωτερικό του, ο οποίος έχει $U_g=1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ περίπου ενώ ένας τοίχος με μόνωση έχει U_g μικρότερο από $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

4.4.4 Επιλεκτικότητα

Η θερμότητα που μπαίνει σ' ένα δωμάτιο, προέρχεται στο σύνολό της από την ηλιακή ακτινοβολία (Ορατό φως, Υπεριώδης ακτινοβολία και Υπέρυθρες ακτίνες).

Η ποσότητα της θερμότητας που μπαίνει σ' ένα δωμάτιο, μπορεί να περιοριστεί χωρίς να μειωθεί το εισερχόμενο φως, με την χρήση υψηλής αποδοτικότητας επιστρωμένων υαλοπινάκων (high performance coated glass), οι οποίοι αποτρέπουν την είσοδο της Υπεριώδους και Υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ επιτρέπουν την είσοδο του ορατού φωτός.

Η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διερχόμενου φωτός (**LT** Light Transmission) και στον ηλιακό συντελεστή (**g** Solar Factor) ενός υαλοπίνακα είναι αυτό που αποκαλείται **επιλεκτικότητα** (selectivity) ενός υαλοπίνακα.

$$Selectivity = \frac{Light\ transmission\ (LT)}{Solar\ Factor\ (SF\ \acute{\eta}\ g)} \quad (8)$$

όπου LT: είναι ο συντελεστής διερχόμενου φωτός και

SF: η είναι η συνολικά μεταφερόμενη μέσω ενός υαλοστασίου ενέργεια

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η επιλεκτικότητα ενός υαλοπίνακα κυμαίνονται ανάμεσα στο 0 και το 2.

- τιμή 0 έχει ένας αδιαφανής υαλοπίνακας
- τιμή 2 είναι η καλύτερη δυνατή επιλεκτικότητα αφού το φως αντιπροσωπεύει το 50% του ηλιακού φάσματος.

Όσο πλησιέστερα προς το 2 είναι η τιμή, τόσο πιο επιλεκτικός είναι ο υαλοπίνακας.

4.4.5 3^{ης} γενιάς επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες Low-e

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένας κοινός υαλοπίνακας έχει μια φυσιολογική ικανότητα εκπομπής 0,89 (11%), γεγονός που σημαίνει ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από τη μάζα του γυαλιού επανεκπέμπεται στο περιβάλλον, σε αντίθεση με επιστρωμένους υαλοπίνακες οι οποίοι έχουν ικανότητα εκπομπής αντίστοιχα:

K-Glass	e= 0,30 (70%)
Sunergy	e= 0,15 (85%)
TOP N	e= 0,10 (90%)
ENERGY N	e= 0.05 (95%)
STOP RAY	e= 0,03 (97%)

Η θερμοκρασία ενός υαλοστασίου μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου. Καθώς η θερμοκρασία ενός υαλοπίνακα ανεβαίνει, αυτός διαστέλλεται. Αυτό γίνεται χωρίς πρόβλημα εφ' όσον η θερμοκρασία του υαλοπίνακα είναι ομοιόμορφη σ' όλη του την έκταση. Αντιθέτως, εάν ένα τμήμα μόνο του υαλοπίνακα θερμαίνεται, λόγω καθετότητας των ακτινών του ήλιου, ενώ το υπόλοιπο παραμένει κρύο, επειδή ένα τμήμα του υαλοστασίου μπορεί να σκιάζεται, εμποδίζεται η ελεύθερη διαστολή του. Αναπτύσσονται έτσι τάσεις εφελκυσμού οι οποίες σε περιπτώσεις μεγάλης διαφοράς της θερμοκρασίας από το ένα σημείο στο άλλο, μπορεί να ξεπεράσουν το επιτρεπόμενο επίπεδο τάσεων του υαλοπίνακα, με αποτέλεσμα την θραύση του υαλοπίνακα, λόγω θερμικού σοκ.

Αναφέροντας κάποια από τα χαρακτηριστικά των επιστρωμένων υαλοπινάκων που προαναφέρθηκαν έχουμε:

Τα **K – glass**⁴ είναι τζάμια χαμηλής εκπομπής με επίστρωση. Ένα από τα σημαντικά προβλήματα όμως που αντιμετωπίζουν είναι πως επειδή η επικάλυψη δεν είναι τόσο ομαλή, όπως η επιφάνεια του γυαλιού, με την πρόσπτωση του φωτός η οπτική επίδραση στην τραχύτερη επιφάνεια δημιουργεί την αίσθηση ενός λεπτού στρώματος σκόνης. Επειδή όμως στα K – glass η ποσότητα του σκεδασμένου φωτός είναι γενικά λιγότερο από το μισό τοις εκατό του φωτός που μπαίνει στο παράθυρο, έτσι ώστε στις περισσότερες συνθήκες θέασης να μην είναι προφανές. Ωστόσο, όταν το φως του ήλιου βρίσκεται υπό γωνία και δεν είναι κάθετο στον υαλοπίνακα, η θέα μέσα από το γυαλί να είναι μια σκεδασμένη περιοχή και το σκεδαζόμενο φως να γίνεται πιο ορατό προκαλώντας την εμφάνιση του θολώματος [33].

Τα **Sunergy**⁵ έχουν εξαιρετική εμφάνιση και οπτική άνεση. Αυτοί οι υαλοπίνακες συνδυάζουν αρκετά χαμηλή αντανάκλαση του φωτός με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Το γεγονός αυτό εξυπηρετεί την αρχιτεκτονική και τη δημιουργικότητα με διάφορους τρόπους. Το φάσμα του ηλιακού ελέγχου με σκληρή επίστρωση γυαλιού παρέχει ένα καλό επίπεδο άνεσης, σε συνδυασμό με χαμηλή εκπομπή⁶ και υψηλές ιδιότητες ηλιακού ελέγχου⁷. Η τεχνολογία που ακολουθείται είναι η πυρολυτική και σε αυτή αποδίδεται ο καλός φωτισμός, η ενεργειακή απόδοση και η καλή θερμομόνωση [34].

Κάποια από τα πλεονεκτήματά αυτού του υαλοπίνακα είναι:

- η απεριόριστη διάρκεια ζωής του
- εξαιτίας των χαρακτηριστικών χαμηλής εκπομπής μπορεί να συνδυαστεί με δεύτερο γυαλί χαμηλής εκπομπής προκειμένου να μειωθεί περισσότερο ο συντελεστής θερμοπερατότητας U
- μειώνεται αρκετά το κόστος κλιματισμού εξαιτίας του χαμηλού ηλιακού συντελεστή

Οι υαλοπίνακες **Top – N**⁸ είναι υαλοπίνακες με μόνωση των οποίων το εσωτερικό τμήμα είναι με λεπτή διάφανη μεταλλική επίστρωση. Ο χώρος μεταξύ των υαλοπινάκων είναι γεμάτος με θερμικό αέριο. Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι αρκετά χαμηλή $\approx U_g = 1.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ και εξαρτάται από το κενό. Έχουν φυσικό και χαμηλό επίπεδο ανάκλασης και υψηλή ενεργειακή απόδοση. Παρέχει διπλάσια μόνωση όπως τα παραδοσιακά διπλά τζάμια. Έχει μεγάλο ηλιακό κέρδος [35].

Τα ηλιακά τζάμια **Stop Ray** από μαλακό επίχρισμα (τύπου C μετά EN1096-1), επιτρέπει το υψηλότερο επίπεδο του φυσικού φωτός σε ένα κτίριο αλλά χωρίς θέρμανση. Παρέχει υψηλή προστασία, ενώ είναι διαφανές και διατηρεί ένα ουδέτερο χρώμα. Συνήθως χρησιμοποιείται ως διπλή ή τριπλή υάλωση και είναι κατάλληλο σε όλα τα κλίματα, καθώς ελέγχει τη θερμότητα που εισέρχεται το καλοκαίρι και διατηρεί

⁴ reference: www.pilkington.com

⁵ reference: www.yourglass.com

⁶ χαμηλή τιμή U

⁷ χαμηλό ηλιακό συντελεστή SF (g)

⁸ www.metalcoglazing.com

τη θερμότητα από τη διαφυγή κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης προσφέρει στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό περισσότερη ελευθερία σχεδιασμού και ευελιξία στα έργα.

Κάποια από τα πλεονεκτήματά αυτού του υαλοπίνακα είναι:

- Παρέχει πολύ υψηλό επίπεδο επιλεκτικότητας (1,79) και έχει 70% εκπομπή φωτός και 39% ηλιακή προστασία.
- Μειώνει το κόστος θέρμανσης και κλιματισμού, προσφέροντας παράλληλα το υψηλότερο επίπεδο φυσικού φωτισμού.
- Διαθέτει μεγάλη ποικιλία ουδέτερων χρωμάτων μετάδοσης του φωτός και παράλληλα προσφέρει προστασία στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας
- Έχει πολύ χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο θα τεθεί ένα παράδειγμα της χρησιμότητας των θερμοχρωμικών παραθύρων σε πραγματικές συνθήκες μιας κατοικίας έναντι των απλών μέχρι σήμερα συμβατικών λύσεων. Αναλυτικά θα υπολογισθούν τα θερμικά φορτία της κατοικίας και τα αντίστοιχα θερμικά κέρδη με την αντικατάσταση απλών και διπλών υαλοπινάκων σε θερμοχρωμικούς υαλοπίνακες.

Η κατοικία που τέθηκε σε μελέτη παρουσιάζεται παρακάτω από διαφορετική οπτική γωνία ώστε να εντοπιστούν τα ανοίγματα και ο προσανατολισμός αυτών.

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας k_m του κτιρίου εκφράζεται ως:

$$k_m = \frac{k_W \times F_W + k_F \times F_F + k_D \times F_D + k_G \times F_G + k_{DL} \times F_{DL}}{F} \quad (9)$$

όπου k_W , k_F , k_D , k_G και k_{DL} είναι οι συντελεστές θερμοπερατότητας που αντιστοιχούν στις επιφάνειες εξωτερικών τοιχωμάτων, παραθύρων, οροφών, δαπέδων και pilotis. Το άθροισμα τους συνιστά τη συνολική επιφάνεια F . Ο συντελεστής k_m δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή που αντιστοιχεί για την γεωγραφική ζώνη (Α, Β ή Γ) του κτιρίου, και για την τιμή του λόγου F/V (επιφάνειας προς όγκο).

Η αντίσταση θερμοπερατότητας $1/k$ ορίζεται σαν άθροισμα των αντιστάσεων θερμικής μετάβασης προς τον αέρα και της αντίστασης θερμοδιαφυγής:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{a_a} \quad (10)$$

Η αντίσταση θερμοδιαφυγής $1/\Lambda$ ενός δομικού στοιχείου προκύπτει από την έκφραση:

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (11)$$

όπου d_1, d_2, \dots, d_n τα πάχη (σε m) των στρώσεων των υλικών και $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ οι αντίστοιχοι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας (σε kcal/m²h°C ή w/mK).

Ακολουθώντας συγκεκριμένους περιορισμούς όπως αυτοί υποδεικνύονται ισχύει:

$$k_m(W,F) = \frac{k_W \times F_W + k_F \times F_F}{F_W + F_F} < 1.6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{ για κάθε όροφο}$$

$$k_W = \frac{\sum k_i \times F_i}{F_W} < 0.6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{ για κάθε προσανατολισμό}$$

Γνωρίζοντας λοιπόν τα ειδικά στοιχεία του κτιρίου όπως αυτά αναφέρονται παρακάτω,

5.2 ΕΙΔΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

- | | | |
|----|---|-----------------------------|
| 1. | Επιφάνεια εξωτερικών τοίχων | $F_w = 129.23 \text{ m}^2$ |
| 2. | Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα - πόρτες) | $F_f = 23.94 \text{ m}^2$ |
| 3. | Επιφάνεια οροφής, στέγης, οροφής κάτω από μη θερμομονωθείσα στέγη | $F_d = 120.20 \text{ m}^2$ |
| 4. | Επιφάνεια δαπέδου | $F_g = 120.20 \text{ m}^2$ |
| 5. | Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής $F = F_w + F_f + F_d + F_g + F_{dl} + F_{ab} =$ | 393.57 m^2 |
| 6. | Όγκος οικοδομής | $V = 1178.31 \text{ m}^3$ |
| 7. | Λόγος | $F/V = 0.33 \text{ m}^{-1}$ |

Γίνεται γνωστή η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του για τη ζώνη Β που βρίσκεται το κτίριο και είναι:

$$K_m = 0.935 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Παρακάτω απεικονίζεται η φωτορεαλιστική άποψη της κατοικίας που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των ανοιγμάτων.





5.3 Συγκριτικοί πίνακες χαρακτηριστικών υαλοστασίων - σκαριφήματα

Η παρούσα μελέτη θα εστιάσει το ενδιαφέρον της στα ανοίγματα, έτσι λοιπόν ανά προσανατολισμό θα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά αυτών ανάλογα με τις ιδιότητες των υαλοπινάκων.

Για το **βόρειο** προσανατολισμό ακολουθεί αναλυτικός πίνακας και σκαρίφημα αυτού.

Δεδομένα για μονό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ						
ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
2	5.2	1.40	1.00	1	1.40	7.28
8	3.0	0.90	2.20	1	1.98	5.94
ΣΥΝΟΛΑ :					3.38	13.22
KF = 3.91						

Δεδομένα για διπλό τζάμι

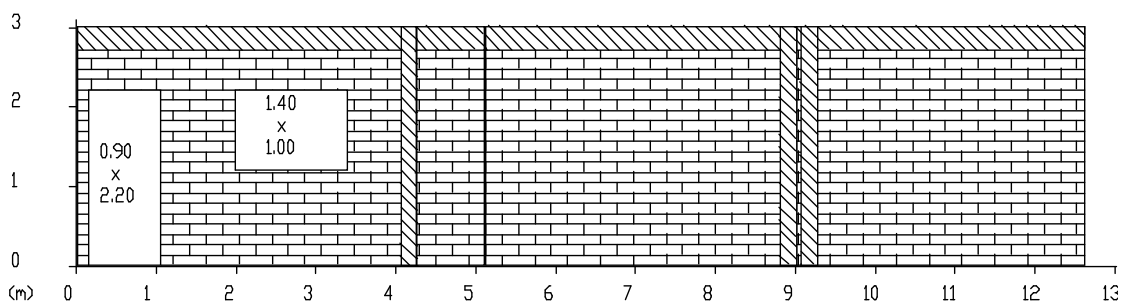
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ						
ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
6	3.0	1.40	1.00	1	1.40	4.20
8	3.0	0.90	2.20	1	1.98	5.94
ΣΥΝΟΛΑ :					3.38	10.14
KF = 3.00						

Δεδομένα για θερμοχρωμικό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ						
ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
7	0.9	1.40	1.00	1	1.40	1.26
8	3.0	0.90	2.20	1	1.98	5.94
ΣΥΝΟΛΑ :					3.38	7.20
KF = 2.13						

Ακολουθεί το σκαρίφημα των ανοιγμάτων στο βόρειο προσανατολισμό

ΤΟΙΧΟΙ : 28,84 m²
ΜΠΕΤΟΝ : 5,58 m²
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ: 3,38 m²



Για τον ανατολικό προσανατολισμό ακολουθεί αναλυτικός πίνακας και σκαρίφημα αυτού.

Δεδομένα για μονό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
2	5.2	1.40	1.00	1	1.40	7.28
2	5.2	1.00	0.80	1	0.80	4.16
2	5.2	1.40	0.80	1	1.12	5.82
2	5.2	2.20	2.20	1	4.84	25.17
ΣΥΝΟΛΑ :					8.16	42.43

KF = 5.20

Δεδομένα για διπλό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
6	3.0	1.40	1.00	1	1.40	4.20
6	3.0	1.00	0.80	1	0.80	2.40
6	3.0	1.40	0.80	1	1.12	3.36
6	3.0	2.20	2.20	1	4.84	14.52
ΣΥΝΟΛΑ :					8.16	24.48

KF = 3.00

Δεδομένα για θερμοχρωμικό τζάμι

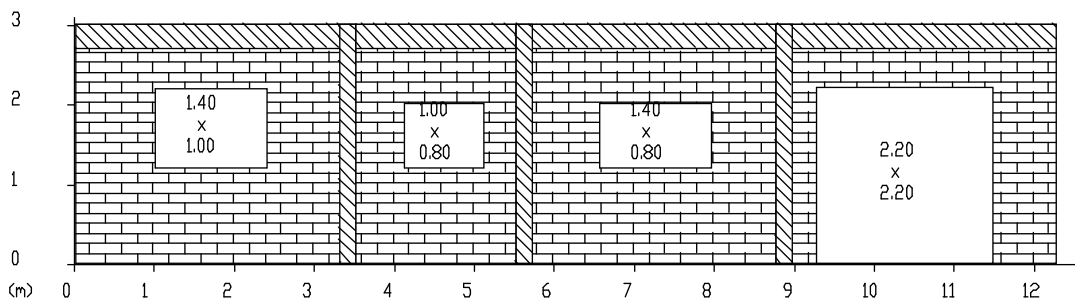
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
7	0.9	1.40	1.00	1	1.40	1.26
7	0.9	1.00	0.80	1	0.80	0.72
7	0.9	1.40	0.80	1	1.12	1.01
7	0.9	2.20	2.20	1	4.84	4.36
ΣΥΝΟΛΑ :					8.16	7.34

KF = 0.90

Ακολουθεί το σκαρίφημα των ανοιγμάτων για τον ανατολικό προσανατολισμό

ΤΟΙΧΟΙ : 23.12 m²
ΜΠΕΤΟΝ : 5.48 m²
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ: 8.16 m²



Για το νότιο προσανατολισμό ακολουθεί αναλυτικός πίνακας και σκαρίφημα αυτού.

Δεδομένα για μονό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
2	5.2	2.20	2.20	1	4.84	25.17
2	5.2	1.80	2.20	1	3.96	20.59
8	3.0	1.00	2.20	1	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΑ :					11.00	52.36

$$KF = 4.76$$

Δεδομένα για διπλό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
6	3.0	2.20	2.20	1	4.84	14.52
6	3.0	1.80	2.20	1	3.96	11.88
8	3.0	1.00	2.20	1	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΑ :					11.00	33.00

$$KF = 3.00$$

Δεδομένα για θερμοχρωμικό τζάμι

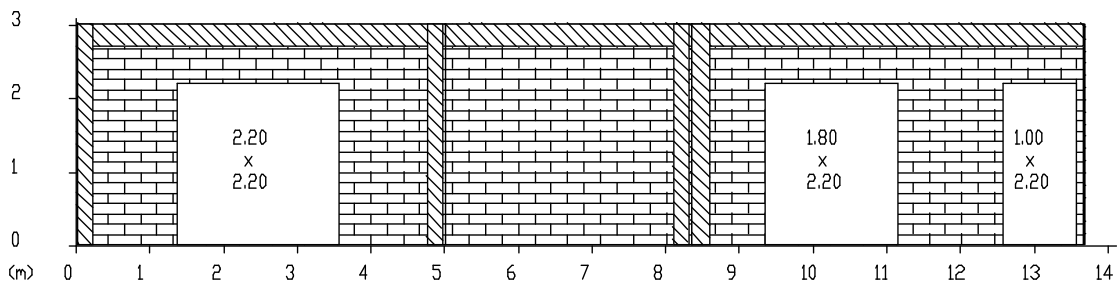
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
7	0.9	2.20	2.20	1	4.84	4.36
7	0.9	1.80	2.20	1	3.96	3.56
8	3.0	1.00	2.20	1	2.20	6.60
ΣΥΝΟΛΑ :					11.00	14.52

$$KF = 1.32$$

Ακολουθεί το σκαρίφημα των ανοιγμάτων για το νότιο προσανατολισμό

ΤΟΙΧΟΙ : 23.36 m²
ΜΠΕΤΟΝ : 6.62 m²
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ: 11.00 m²



Για το δυτικό προσανατολισμό ακολουθεί αναλυτικός πίνακας και σκαρίφημα αυτού.

Δεδομένα για μονό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
2	5.2	1.40	1.00	1	1.40	7.28
ΣΥΝΟΛΑ :					1.40	7.28

KF = 5.20

Δεδομένα για διπλό τζάμι

ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
6	3.0	1.40	1.00	1	1.40	4.20
ΣΥΝΟΛΑ :					1.40	4.20

KF = 3.00

Δεδομένα για θερμοχρωμικό τζάμι

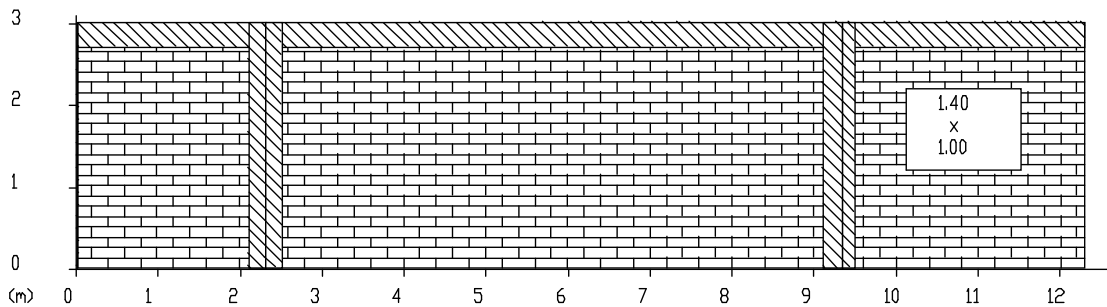
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ΑΡΙΘ. ΑΝΟΙΓΜ.	K Kcal/m ² hc	ΜΗΚΟΣ (m)	ΎΨΟΣ ή ΠΛΑΤ. (m)	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦ.	ΣΥΝ. ΕΠΙΦ. (m ²)	FxK
7	0.9	1.40	1.00	1	1.40	1.26
ΣΥΝΟΛΑ :					1.40	1.26

KF = 0.90

Ακολουθεί το σκαρίφημα των ανοιγμάτων για το νότιο προσανατολισμό

ΤΟΙΧΟΙ : 29.39 m²
ΜΠΕΤΟΝ : 6.05 m²
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ: 1.40 m²



5.4 Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΜ(W,F) ΓΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ **ΜΕ ΜΟΝΟ ΤΖΑΜΙ**

ισόγειο

$$\text{Οριο επιπέδου : } K_m(W,F) = \frac{\Sigma(K_w \cdot F_w) + \Sigma(K_f \cdot F_f)}{\Sigma(F_w + F_f)} \leq 1.6 \text{ Kcal/m}^2\text{hc}$$

1	2	3	4	5=(3X4)
Δομικό στοιχείο	Συμβολισμός	Επιφάνεια F (m ²)	Συντελεστής Κ θερμοπερατότητας (Kcal/m ² hc)	KF (kcal/hc)
τοίχοι	W 1	34.42	0.455	15.651
	W 2	28.59	0.458	13.097
	W 3	29.98	0.461	13.834
	W 4	35.44	0.456	16.149
ανοίγματα	F 1	3.38	3.911	13.220
	F 2	8.16	5.200	42.434
	F 3	11.00	4.760	52.360
	F 4	1.40	5.200	7.280
		ΣF= 152.3		ΣKF= 174.02
K _m (W,F)=ΣKF/ΣF= 1.142 <= 1.6				

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΜ(W,F) ΓΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ **ΜΕ ΔΙΠΛΟ ΤΖΑΜΙ**

ισόγειο

$$\text{Οριο επιπέδου : } K_m(W,F) = \frac{\Sigma(K_w \cdot F_w) + \Sigma(K_f \cdot F_f)}{\Sigma(F_w + F_f)} \leq 1.6 \text{ Kcal/m}^2\text{hc}$$

1	2	3	4	5=(3X4)
Δομικό στοιχείο	Συμβολισμός	Επιφάνεια F (m ²)	Συντελεστής Κ θερμοπερατότητας (Kcal/m ² hc)	KF (kcal/hc)
τοίχοι	W 1	34.42	0.455	15.651
	W 2	28.59	0.458	13.097
	W 3	29.98	0.461	13.834
	W 4	35.44	0.456	16.149
ανοίγματα	F 1	3.38	3.000	10.140
	F 2	8.16	3.000	24.480
	F 3	11.00	3.000	33.000
	F 4	1.40	3.000	4.200
		ΣF= 152.3		ΣKF= 130.55
K _m (W,F)=ΣKF/ΣF= 0.857 <= 1.6				

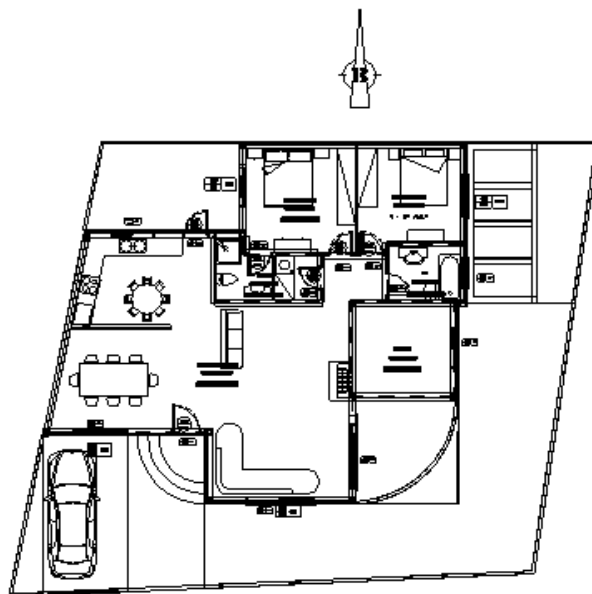
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΜ(W,F) ΓΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

ισόγειο **ΜΕ ΘΕΡΜΟΧΡΩΜΙΚΟ ΤΖΑΜΙ**

$$\text{Οριο επιπέδου : } K_m(W,F) = \frac{\Sigma(K_w \cdot F_w) + \Sigma(K_f \cdot F_f)}{\Sigma(F_w + F_f)} \leq 1.6 \text{ Kcal/m}^2\text{hc}$$

1	2	3	4	5=(3X4)
Δομικό στοιχείο	Συμβολισμός	Επιφάνεια F (m ²)	Συντελεστής Κ θερμοπερατότητας (Kcal/m ² hc)	KF (kcal/hc)
τοίχοι	W 1	34.42	0.455	15.651
	W 2	28.59	0.458	13.097
	W 3	29.98	0.461	13.834
	W 4	35.44	0.456	16.149
ανοίγματα	F 1	3.38	2.130	7.200
	F 2	8.16	0.900	7.344
	F 3	11.00	1.320	14.520
	F 4	1.40	0.900	1.260
		ΣF= 152.3		ΣKF= 89.055
K _m (W,F)=ΣKF/ΣF= 0.584 <= 1.6				

Ακολουθεί η κάτοψη της κατοικίας που μελετάται



5.5 Θερμικές Απώλειες

Οι θερμικές απώλειες ενός χώρου συνίστανται από:

- Απώλειες θερμοπερατότητας Q_o , που προέρχονται από τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία (τοίχοι, ανοίγματα, δάπεδα, οροφές κλπ)
- Απώλειες λόγω προσαυξήσεων.
- Απώλειες αερισμού χώρου Q_L .

Οι απώλειες θερμοπερατότητας υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_o = kx_f x (t_i - t_a) = \frac{F(t_i - t_a)}{1/k} \text{ σε w (ή Kcal/h)}$$

όπου:

Q_o : Απώλειες θερμότητας

F : Επιφάνεια του δομικού τμήματος m^2

k : Συντελεστής θερμοπερατότητας $W/m^2 K$ (ή $Kcal/m^2 K$)

$1/k$: Αντίσταση θερμοπερατότητας σε $m^2 K/W$

t_i : Θερμοκρασία χώρου σε $^{\circ}C$

t_a : Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα σε $^{\circ}C$

Όπως και στη θερμομόνωση πιο πάνω, για των υπολογισμό των θερμικών απωλειών θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του κτιρίου τα οποία αφορούν τους παρόντες υπολογισμούς.

Στοιχεία Κτιρίου

Πόλη	Πάτρα
Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)	-1
Επιθυμητή Εσωτερική Θερμοκρασία (°C)	20
Θερμοκρασία Μη Θερμαινόμενων Χώρων (°C)	10
Θερμοκρασία Εδάφους (°C)	10
Αριθμός Επιπέδων Κτιρίου (1-15)	1
Επίπεδο στη Στάθμη του Εδάφους	1
Μεθοδολογία Υπολογισμού	DIN77
Σύστημα Μονάδων	Kcal/h

5.6 Συγκριτικοί πίνακες Θερμικών Απωλειών

Επίπεδο : ισόγειο

Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 1

Άνοιγμα με μονό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφ. v.	Συνολ. Επιφ. v. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. v. (m ²)	Επιφ. v. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	B		3.60	3.00	10.80	1	10.80	1.08	9.72	0.6	21.00	122.5
T7	B	A	3.60	0.30	1.08	1	1.08		1.08	0.56	21.00	12.70
T2	Δ		2.85	3.00	8.55	1	8.55	2.56	5.99	0.6	21.00	75.47
A2	Δ	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	5.2	21.00	152.9
T7	Δ	A	2.85	0.30	0.86	1	0.86		0.86	0.56	21.00	10.11
T7	Δ	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.52	10.00	54.76
O1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.38	21.00	84.03

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 1
Ανοιγμα με διπλό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	B		3.60	3.00	10.80	1	10.80	1.08	9.72	0.6	21.00	122.5
T7	B	A	3.60	0.30	1.08	1	1.08		1.08	0.56	21.00	12.70
T2	Δ		2.85	3.00	8.55	1	8.55	2.56	5.99	0.6	21.00	75.47
A6	Δ	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	3.0	21.00	88.20
T7	Δ	A	2.85	0.30	0.86	1	0.86		0.86	0.56	21.00	10.11
T7	Δ	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.52	10.00	54.76
O1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.38	21.00	84.03

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 1
Ανοιγμα με θερμοχρωμικό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	B		3.60	3.00	10.80	1	10.80	1.08	9.72	0.6	21.00	122.5
T7	B	A	3.60	0.30	1.08	1	1.08		1.08	0.56	21.00	12.70
T2	Δ		2.85	3.00	8.55	1	8.55	2.56	5.99	0.6	21.00	75.47
A7	Δ	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	0.9	21.00	26.46
T7	Δ	A	2.85	0.30	0.86	1	0.86		0.86	0.56	21.00	10.11
T7	Δ	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.52	10.00	54.76
O1			1	10.53	10.53	1	10.53		10.53	0.38	21.00	84.03

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 2
Ανοιγμα με μονό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	A		3.20	3.00	9.60	1	9.60	2.36	7.24	0.6	21.00	91.22
A2	A	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	5.2	21.00	152.9
T7	A	A	3.20	0.30	0.96	1	0.96		0.96	0.56	21.00	11.29
T7	A	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	B		3.35	3.00	10.05	1	10.05	1.01	9.04	0.6	21.00	113.9
T7	B	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	B	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
Δ1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.52	10.00	57.15
O1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.38	21.00	87.70

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 2
Ανοιγμα με διπλό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	A		3.20	3.00	9.60	1	9.60	2.36	7.24	0.6	21.00	91.22
A6	A	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	3.0	21.00	88.20
T7	A	A	3.20	0.30	0.96	1	0.96		0.96	0.56	21.00	11.29
T7	A	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	B		3.35	3.00	10.05	1	10.05	1.01	9.04	0.6	21.00	113.9
T7	B	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	B	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
Δ1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.52	10.00	57.15
O1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.38	21.00	87.70

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου υπνοδωμάτιο 2
Ανοιγμα με θερμοχρωμικό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	A		3.20	3.00	9.60	1	9.60	2.36	7.24	0.6	21.00	91.22
A7	A	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	0.9	21.00	26.46
T7	A	A	3.20	0.30	0.96	1	0.96		0.96	0.56	21.00	11.29
T7	A	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	B		3.35	3.00	10.05	1	10.05	1.01	9.04	0.6	21.00	113.9
T7	B	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	B	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
Δ1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.52	10.00	57.15
O1			1	10.99	10.99	1	10.99		10.99	0.38	21.00	87.70

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου κουζίνα-καθιστικό
Άνοιγμα με μονό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν. v.	Συνολ. Επιφάν. v. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. v. (m ²)	Επιφάν. v. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.88	7.87	1.5	10.00	118.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
E1	E		1.20	3.00	3.60	1	3.60	0.96	2.64	1.5	10.00	39.60
E7	E	A	1.20	0.30	0.36	1	0.36		0.36		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
T2	B		4.10	3.00	12.30	1	12.30	4.73	7.57	0.6	21.00	95.38
A2	B	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	5.2	21.00	152.9
A8	B	A	0.90	2.20	1.98	1	1.98		1.98	3.0	21.00	124.7
T7	B	A	4.10	0.30	1.23	1	1.23		1.23	0.56	21.00	14.46
T7	B	A	0.04	3.00	0.12	1	0.12		0.12	0.56	21.00	1.41
T2	Δ		6.50	3.00	19.50	1	19.50	1.95	17.55	0.6	21.00	221.1
T7	Δ	A	6.50	0.30	1.95	1	1.95		1.95	0.56	21.00	22.93
T2	N		5.30	3.00	15.90	1	15.90	8.35	7.55	0.6	21.00	95.13
A2	N	A	1.80	2.20	3.96	1	3.96		3.96	5.2	21.00	432.4
A8	N	A	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20	3.0	21.00	138.6
T7	N	A	5.30	0.30	1.59	1	1.59		1.59	0.56	21.00	18.70
T7	N	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	Δ		2.30	3.00	6.90	1	6.90	1.29	5.61	0.6	21.00	70.69
T7	Δ	A	2.30	0.30	0.69	1	0.69		0.69	0.56	21.00	8.11
T7	Δ	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	N		4.50	3.00	13.50	1	13.50	6.19	7.31	0.6	21.00	92.11
A2	N	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	5.2	21.00	528.5
T7	N	A	4.50	0.30	1.35	1	1.35		1.35	0.56	21.00	15.88
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.35	3.00	10.05	1	10.05	6.15	3.90	0.6	21.00	49.14
A2	A	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	5.2	21.00	528.5
T7	A	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	A	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.52	10.00	325.3
O1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.38	21.00	499.1

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου κουζίνα-καθιστικό
Ανοιγμα με διπλό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.88	7.87	1.5	10.00	118.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
E1	E		1.20	3.00	3.60	1	3.60	0.96	2.64	1.5	10.00	39.60
E7	E	A	1.20	0.30	0.36	1	0.36		0.36		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
T2	B		4.10	3.00	12.30	1	12.30	4.73	7.57	0.6	21.00	95.38
A6	B	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	3.0	21.00	88.20
A8	B	A	0.90	2.20	1.98	1	1.98		1.98	3.0	21.00	124.7
T7	B	A	4.10	0.30	1.23	1	1.23		1.23	0.56	21.00	14.46
T7	B	A	0.04	3.00	0.12	1	0.12		0.12	0.56	21.00	1.41
T2	Δ		6.50	3.00	19.50	1	19.50	1.95	17.55	0.6	21.00	221.1
T7	Δ	A	6.50	0.30	1.95	1	1.95		1.95	0.56	21.00	22.93
T2	N		5.30	3.00	15.90	1	15.90	8.35	7.55	0.6	21.00	95.13
A6	N	A	1.80	2.20	3.96	1	3.96		3.96	3.0	21.00	249.5
A8	N	A	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20	3.0	21.00	138.6
T7	N	A	5.30	0.30	1.59	1	1.59		1.59	0.56	21.00	18.70
T7	N	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	Δ		2.30	3.00	6.90	1	6.90	1.29	5.61	0.6	21.00	70.69
T7	Δ	A	2.30	0.30	0.69	1	0.69		0.69	0.56	21.00	8.11
T7	Δ	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	N		4.50	3.00	13.50	1	13.50	6.19	7.31	0.6	21.00	92.11
A6	N	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	3.0	21.00	304.9
T7	N	A	4.50	0.30	1.35	1	1.35		1.35	0.56	21.00	15.88
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.35	3.00	10.05	1	10.05	6.15	3.90	0.6	21.00	49.14
A6	A	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	3.0	21.00	304.9
T7	A	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	A	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.52	10.00	325.3
O1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.38	21.00	499.1

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου κουζίνα-καθιστικό
Άνοιγμα με θερμοχρωμικό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν. v.	Συνολ. Επιφάν. v. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. v. (m ²)	Επιφάν. v. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.88	7.87	1.5	10.00	118.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
E1	E		1.20	3.00	3.60	1	3.60	0.96	2.64	1.5	10.00	39.60
E7	E	A	1.20	0.30	0.36	1	0.36		0.36		10.00	
E7	E	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60		10.00	
T2	B		4.10	3.00	12.30	1	12.30	4.73	7.57	0.6	21.00	95.38
A7	B	A	1.40	1.00	1.40	1	1.40		1.40	0.9	21.00	26.46
A8	B	A	0.90	2.20	1.98	1	1.98		1.98	3.0	21.00	124.7
T7	B	A	4.10	0.30	1.23	1	1.23		1.23	0.56	21.00	14.46
T7	B	A	0.04	3.00	0.12	1	0.12		0.12	0.56	21.00	1.41
T2	Δ		6.50	3.00	19.50	1	19.50	1.95	17.55	0.6	21.00	221.1
T7	Δ	A	6.50	0.30	1.95	1	1.95		1.95	0.56	21.00	22.93
T2	N		5.30	3.00	15.90	1	15.90	8.35	7.55	0.6	21.00	95.13
A7	N	A	1.80	2.20	3.96	1	3.96		3.96	0.9	21.00	74.84
A8	N	A	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20	3.0	21.00	138.6
T7	N	A	5.30	0.30	1.59	1	1.59		1.59	0.56	21.00	18.70
T7	N	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	Δ		2.30	3.00	6.90	1	6.90	1.29	5.61	0.6	21.00	70.69
T7	Δ	A	2.30	0.30	0.69	1	0.69		0.69	0.56	21.00	8.11
T7	Δ	A	0.20	3.00	0.60	1	0.60		0.60	0.56	21.00	7.06
T2	N		4.50	3.00	13.50	1	13.50	6.19	7.31	0.6	21.00	92.11
A7	N	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	0.9	21.00	91.48
T7	N	A	4.50	0.30	1.35	1	1.35		1.35	0.56	21.00	15.88
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.35	3.00	10.05	1	10.05	6.15	3.90	0.6	21.00	49.14
A7	A	A	2.20	2.20	4.84	1	4.84		4.84	0.9	21.00	91.48
T7	A	A	3.35	0.30	1.01	1	1.01		1.01	0.56	21.00	11.88
T7	A	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
Δ1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.52	10.00	325.3
O1			1	62.55	62.55	1	62.55		62.55	0.38	21.00	499.1

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου αποθήκη
Άνοιγμα με μονό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.00	3.00	9.00	1	9.00	1.20	7.80	1.5	10.00	117.0
E7	E	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
T2	N		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	0.6	21.00	106.7
T7	N	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98	0.56	21.00	11.52
T7	N	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.00	3.00	9.00	1	9.00	2.02	6.98	0.6	21.00	87.95
A2	A	A	1.40	0.80	1.12	1	1.12		1.12	5.2	21.00	122.3
T7	A	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90	0.56	21.00	10.58
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	1.5	10.00	127.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
Δ1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.52	10.00	50.54
O1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.38	21.00	77.57

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου αποθήκη
Άνοιγμα με διπλό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.00	3.00	9.00	1	9.00	1.20	7.80	1.5	10.00	117.0
E7	E	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
T2	N		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	0.6	21.00	106.7
T7	N	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98	0.56	21.00	11.52
T7	N	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.00	3.00	9.00	1	9.00	2.02	6.98	0.6	21.00	87.95
A6	A	A	1.40	0.80	1.12	1	1.12		1.12	3.0	21.00	70.56
T7	A	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90	0.56	21.00	10.58
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	1.5	10.00	127.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
Δ1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.52	10.00	50.54
O1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.38	21.00	77.57

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου αποθήκη
Άνοιγμα με θερμοχρωμικό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		3.00	3.00	9.00	1	9.00	1.20	7.80	1.5	10.00	117.0
E7	E	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
T2	N		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	0.6	21.00	106.7
T7	N	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98	0.56	21.00	11.52
T7	N	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30	0.56	21.00	3.53
T7	N	A	0.00	3.00		1				0.56	21.00	
T2	A		3.00	3.00	9.00	1	9.00	2.02	6.98	0.6	21.00	87.95
A7	A	A	1.40	0.80	1.12	1	1.12		1.12	0.9	21.00	21.17
T7	A	A	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90	0.56	21.00	10.58
E1	E		3.25	3.00	9.75	1	9.75	1.28	8.47	1.5	10.00	127.1
E7	E	A	3.25	0.30	0.98	1	0.98		0.98		10.00	
E7	E	A	0.10	3.00	0.30	1	0.30		0.30		10.00	
Δ1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.52	10.00	50.54
O1			1	9.72	9.72	1	9.72		9.72	0.38	21.00	77.57

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου WC
Άνοιγμα με μονό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρ. Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		2.35	3.00	7.05	1	7.05	0.70	6.35	1.5	10.00	95.25
E7	E	A	2.35	0.30	0.70	1	0.70		0.70		10.00	
T2	A		1.80	3.00	5.40	1	5.40	1.34	4.06	0.6	21.00	51.16
A2	A	A	1.00	0.80	0.80	1	0.80		0.80	5.2	21.00	87.36
T7	A	A	1.80	0.30	0.54	1	0.54		0.54	0.56	21.00	6.35
Δ1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.52	10.00	22.00
O1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.38	21.00	33.76

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου WC
Ανοιγμα με διπλό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		2.35	3.00	7.05	1	7.05	0.70	6.35	1.5	10.00	95.25
E7	E	A	2.35	0.30	0.70	1	0.70		0.70		10.00	
T2	A		1.80	3.00	5.40	1	5.40	1.34	4.06	0.6	21.00	51.16
A6	A	A	1.00	0.80	0.80	1	0.80		0.80	3.0	21.00	50.40
T7	A	A	1.80	0.30	0.54	1	0.54		0.54	0.56	21.00	6.35
Δ1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.52	10.00	22.00
O1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.38	21.00	33.76

Επίπεδο : ισόγειο
 Ονομασία Χώρου WC
Ανοιγμα με θερμοχρωμικό τζάμι

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Αφαιρούμενη	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Αριθ. Επιφάν.	Συνολ. Επιφάν. (m ²)	Αφαιρούμενη Επιφάν. (m ²)	Επιφάν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E		2.35	3.00	7.05	1	7.05	0.70	6.35	1.5	10.00	95.25
E7	E	A	2.35	0.30	0.70	1	0.70		0.70		10.00	
T2	A		1.80	3.00	5.40	1	5.40	1.34	4.06	0.6	21.00	51.16
A7	A	A	1.00	0.80	0.80	1	0.80		0.80	0.9	21.00	15.12
T7	A	A	1.80	0.30	0.54	1	0.54		0.54	0.56	21.00	6.35
Δ1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.52	10.00	22.00
O1			1	4.23	4.23	1	4.23		4.23	0.38	21.00	33.76

5.6 Συγκριτικοί πίνακες θερμικών απωλειών

Μονό Τζάμι

α/α	Ονομασία Χώρου	QΘ Kcal/h
1	υπνοδωμάτιο 1	778
2	υπνοδωμάτιο 2	792
3	μπάνιο	141
4	κουζίνα-καθιστικό	5440
5	αποθήκη	933
6	WC	431
Συνολικές Απώλειες με μονά τζάμια		8515

Διπλό Τζάμι

α/α	Ονομασία Χώρου	QΘ Kcal/h
1	υπνοδωμάτιο 1	691
2	υπνοδωμάτιο 2	704
3	μπάνιο	141
4	κουζίνα-καθιστικό	4683
5	αποθήκη	871
6	WC	385
Συνολικές Απώλειες με διπλά τζάμια		7475

Θερμοχρωμικό Τζάμι

α/α	Ονομασία Χώρου	QΘ Kcal/h
1	υπνοδωμάτιο 1	608
2	υπνοδωμάτιο 2	621
3	μπάνιο	141
4	κουζίνα-καθιστικό	3788
5	αποθήκη	811
6	WC	352
Συνολικές Απώλειες με θερμοχρωμικά τζάμια		6321

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

6.1 Φασματοφωτόμετρο

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δειγμάτων το φασματοφωτόμετρο UV – 3600 Shimadzu. Το συγκεκριμένο φασματοφωτόμετρο χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία, υψηλή ανάλυση, και μια εξαιρετικά χαμηλή διασπορά στο επίπεδο φωτισμού η οποία επιτυγχάνεται με χρήση τελευταίας τεχνολογίας. Η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του αναλύονται παρακάτω.

Είναι το πρώτο φασματοφωτόμετρο UV-VIS-NIR στον κόσμο με τρεις ανιχνευτές. Αυτοί αποτελούνται από:

- PMT (φωτοπολλαπλασιαστή) για την υπεριώδη και ορατή περιοχή
- έναν ανιχνευτή InGaAs και
- ένα ψυχωμένο ανιχνευτή PBS για την εγγύς υπέρυθη περιοχή.

Με τα συμβατικά μέσα, υπάρχει μια πτώση στην ευαισθησία στη διασταύρωση μεταξύ των περιοχών που καλύπτονται αντίστοιχα από το PMT και τον ανιχνευτή PBS. Χρησιμοποιώντας ένα ανιχνευτή InGaAs για να καλύψει την περιοχή αυτή, εξασφαλίζεται υψηλή ευαισθησία σε όλο το μετρούμενο φάσμα μήκους κύματος. Η στάθμη θορύβου 1.500 nm δεν ανεβαίνει πάνω από 0,00003 Abs, το οποίο είναι ιδιαίτερα χαμηλό επίπεδο.

6.1.1 Λειτουργία του φωτοπολλαπλασιαστή PMT

Το φως που εκπέμπεται από το επίπεδο εστίασης στο δείγμα περνά μέσα από την οπή του διαφράγματος του ανιχνευτή για να δημιουργήσει μία σημειακή εικόνα στον φωτοπολλαπλασιαστή (PMT, photon multiplier tube).

Ο φωτοπολλαπλασιαστής μετατρέπει τα φωτόνια σε ηλεκτρόνια. Στη συνέχεια το σήμα ψηφιοποιείται και αποστέλλεται στον ψηφιακό αναλυτή εικόνας. Είναι δυνατόν να ενισχυθεί το αδύναμο σήμα με ρύθμιση του δυναμικού (gain) στον σωλήνα. Είναι επίσης δυνατόν να κοπεί το μη ειδικό σήμα (background) ορίζοντας το κατώτατο επίπεδο ανίχνευσης σήματος (Offset).

Με το σύστημα αυτό υπάρχουν τρία συνεστιακά σημεία:

- μία οπή που αφήνει να περάσει η πηγή φωτισμού
- ένα επίπεδο εστίασης του φωτός πάνω στο δείγμα
- μία οπή στο επίπεδο ανίχνευσης της εικόνας.

Αυτά τα τρία σημεία πρέπει να είναι οπτικά συζευγμένα και ευθυγραμμισμένα με ακρίβεια το ένα προς το άλλο στο φωτεινό μονοπάτι του σχηματισμού της εικόνας. Αυτή είναι και η έννοια του συνεστιακού. Σαν συνέπεια, ο εκτός εστίασης φωτισμός δεν περνά στον ανιχνευτή και δεν συμβάλει στην τελική εικόνα. Η συνεστιακή μικροσκοπία παράγει εικόνες μεγάλης ευκρίνειας (sharp). Η συνολική εικόνα του δείγματος παράγεται από οπτικές τομές. Αυτό επιτρέπει την παρατήρηση δειγμάτων με μεγάλο πάχος και επιτρέπει μεγαλύτερη ευκρίνεια χωρίς παρεμβολή του εκτός εστίασης φθορισμού.

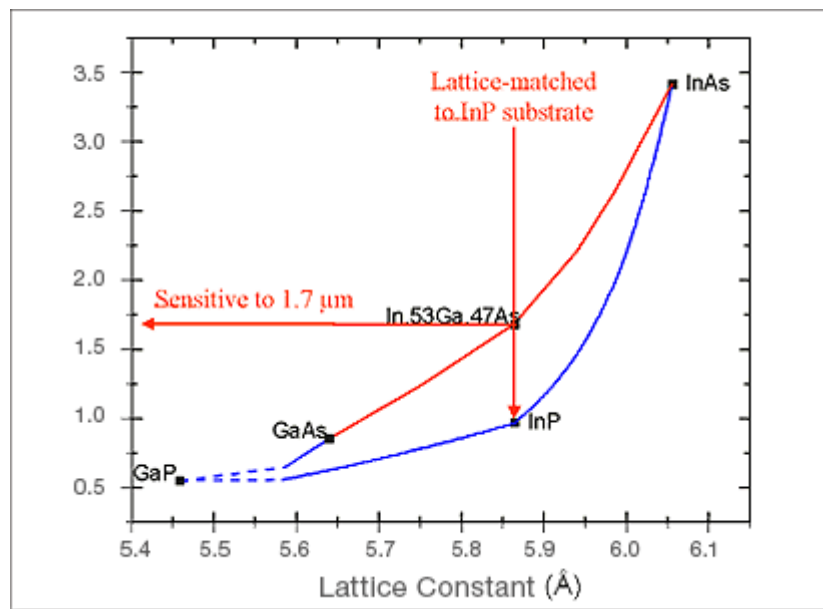
6.1.2 Λειτουργία του ανιχνευτή InGaAs

InGaAs, ή ινδίου αρσενίδιο του γαλλίου, είναι ένα κράμα του αρσενικούχου γαλλίου και του ινδίου αρσενικούχου. Ανήκει στην τεταρτοταγούς σύστημα InGaAsP που αποτελείται από κράματα του ινδίου αρσενικούχου (InAs), αρσενίδιο του γαλλίου (GaAs), φωσφορούχο ινδίο (InP), και φωσφίδιο γαλλίου (διάκενο). Όπως γάλλιο και το ινδίο ανήκουν στην ομάδα III του Περιοδικού Πίνακα, και το αρσενικό και φωσφόρου ανήκουν στην ομάδα V, αυτά τα δυαδικά υλικά και τα κράματά τους, είναι όλα ένωση ημιαγωγών III-V [36].

Σε μεγάλο βαθμό, οι ηλεκτρικές και οπτικές ιδιότητες ενός ημιαγωγού εξαρτώνται από την ενέργεια του διάκενου ζώνης και αν το διάκενο ζώνης χαρακτηρίζεται ως «άμεσο» ή «έμμεσο». Οι ενεργειακές στάθμες των 4 δυαδικών μελών του τεταρτοταγούς συστήματος InGaAsP από 0,33 eV (InAs) έως 2.25 eV (GAP), με InP (1,29 eV) και GaAs (1,43 eV) που υπάγονται στο μεταξύ. Οι φωτοανιχνευτές τονίζονται έτσι ώστε να νοιάζονται περισσότερο για τις οπτικές ιδιότητες των ημιαγωγών. Ένας ημιαγωγός θα ανιχνεύσει μόνο το φως με την ενέργεια των φωτονίων το οποίο είναι μεγαλύτερο από το διάκενο ζώνης, δηλαδή με μήκος κύματος μικρότερο από το μήκος κύματος αποκοπής που σχετίζεται με το διάκενο

ζώνης. Αυτό το «μεγάλο μήκος κύματος αποκοπής» λειτουργεί σε 3,75 μm για InAs και 0,55 μm για χάσμα με InP σε 0,96 μm και GaAs σε 0,87 μm .

Με την ανάμιξη δύο ή περισσότερων από τις δυαδικές ενώσεις, οι ιδιότητες των προκύπτων τριμερών και τεταρτοταγούς ημιαγωγών μπορούν να συντονίζονται με ενδιάμεσες τιμές. Η ενέργεια στο διάκενο ζώνης εξαρτάται από τη σύνθεση του κράματος, έτσι και με τη συνεπαγόμενη σταθερά πλέγματος. Οι σταθερές πλέγματος κυμαίνονται από 5,4505 Å (GAP) για να 6,0585 Å (InAs) με GaAs σε 5,6534 Å και InP σε 5,8688 Å. Η σχέση μεταξύ της σταθεράς πλέγματος και του μεγάλου μήκους κύματος αποκοπής των 4 τριμερών κραμάτων στην οικογένεια InGaAsP εμφανίζονται στο σχήμα παρακάτω

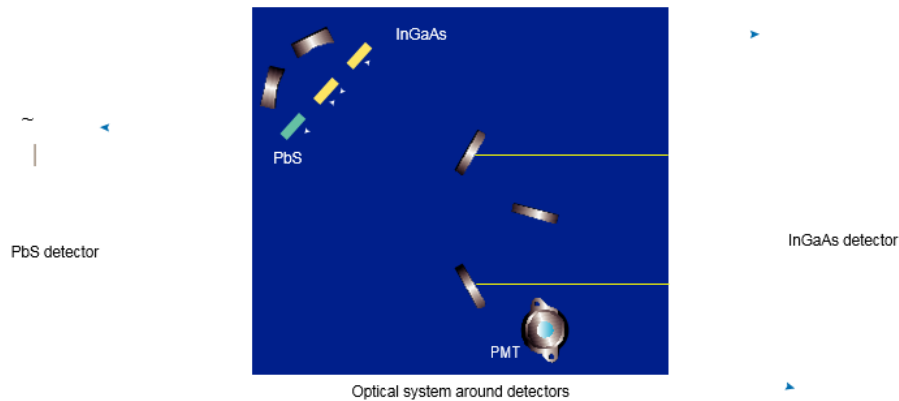


Σχήμα 28: Απεικόνιση της συμπεριφοράς των κραμάτων του InGaAsP

6.1.3 Ψυχωμένος ανιχνευτής PBS

Ο φωτοανιχνευτής δείχνει ότι το υλικό ακτινοβολείται από την ακτινοβολία που προκαλείται από την αλλαγή της αγωγιμότητας ένα φυσικό φαινόμενο. Στην ορατή ή υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται κυρίως για τη μέτρηση και την ανίχνευση, βιομηχανικού αυτοματισμού, φωτομετρικά. Στην ουσία, ο φωτοανιχνευτής μεταφέρει το οπτικό σήμα σε ένα ηλεκτρικό σήμα κυτίου. Σύμφωνα με το μηχανισμό της απόκρισης ακτινοβολίας της συσκευής ή συσκευών εργασίας με διαφορετικούς τρόπους διαφορετικοί φωτοανιχνευτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: η μία είναι ο ανιχνευτής φωτονίων ενώ η δεύτερη είναι ο θερμικός ανιχνευτής [37].

Η κύρια εφαρμογή του φωτοανιχνευτή αφορά ανίχνευση φωτοαγώγιμων στοιχείων χρησιμοποιώντας από υλικά ημιαγωγών μια φωτοαγώγιμη επίδραση του ανιχνευτή φωτός. Το λεγόμενο φωτοαγώγιμο αποτέλεσμα, ορίζεται από την ακτινοβολία που προκαλείται από αλλαγές στην αγωγιμότητα του ακτινοβλημένου υλικού ως ένα φυσικό φαινόμενο. Οι φωτοαγώγιμοι ανιχνευτές έχουν ευρύ φάσμα χρήσεων.

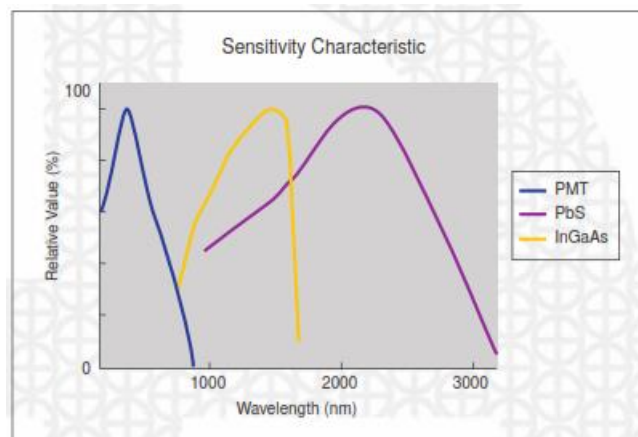


Σχήμα 29: Απεικονίζεται η λειτουργία των ανιχνευτών

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των ανιχνευτών που αναλύθηκαν παραπάνω σε σχέση με το μήκος κύματος

	165nm	380nm	780nm	3300nm
	UV	Visible	NIR	
PMT	165~1000nm			
InGaAs			00~1800nm	
PbS			1600~3300nm	

Σχήμα 30: Απεικονίζεται η σχέση μεταξύ ανιχνευτών και μήκους κύματος

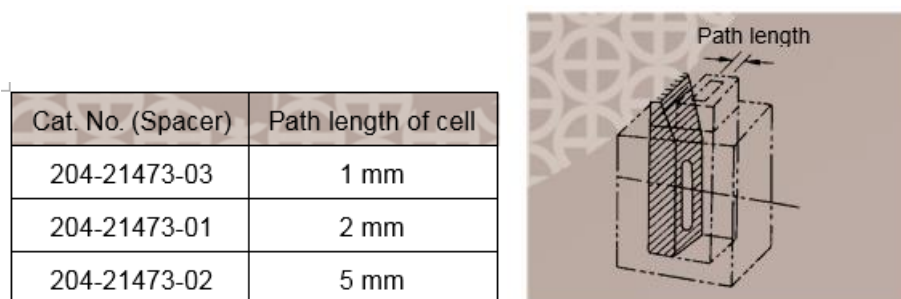


Σχήμα 31: Απεικονίζεται η χαρακτηριστική για κάθε ανιχνευτή σε κάθε μήκος κύματος

Το φασματοφωτόμετρο UV – 3600 Shimadzu είναι υψηλής ανάλυσης. Με χαμηλού επιπέδου διασπορά, και ευρύ φάσμα μήκους κύματος. Χρησιμοποιεί έναν υψηλής απόδοσης διπλό μονοχρωμάτορα, ο οποίος καθιστά δυνατή την επίτευξη μιας εξαιρετικά χαμηλής διασποράς στο επίπεδο φωτισμού με υψηλή ανάλυση (μέγιστη ανάλυση: 0,1 nm) (0,00005% max σε 340 nm.). Το ευρύ φάσμα μήκους κύματος από 185 έως 3.300 nm επιτρέπει τη μέτρηση πάνω από τις υπεριώδεις, το ορατό αλλά και τις εγγύς υπέρυθρες περιοχές. Το μέσο αυτό μπορεί να εκτελέσει φασματοφωτομετρία για πολλούς αλλά και διαφορετικούς τομείς [38].

Η φασματοφωτομετρική συσκευή UV-3.600 μπορεί να χειριστεί με μέτρηση υψηλής ακρίβειας μετάδοσης και ανάκλασης με υψηλό επίπεδο ευαισθησίας και ακρίβειας.

Ένα δείγμα πάρα πολύ πυκνό σε διαδρομή 10 χιλιοστών μπορεί να μετρηθεί αξιόπιστα χωρίς αραιώση μέσω μιας κυτταρικής βραχείας διαδρομής. Οι αποστάτες είναι διαθέσιμοι για τρεις τύπους κυττάρων που αντιστοιχούν σε μήκος διαδρομής 1, 2 ή 5 χιλιοστών. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο αποστάτης στριμώχνεται μεταξύ του κυττάρου και του εσωτερικού τοιχώματος του κυττάρου.



Σχήμα 32: Απεικονίζεται η θέση του δείγματος για μέτρηση

Αυτή η θήκη κρατά τα δείγματα και αναφοράς κύτταρα σε μία επιθυμητή, ομοιόμορφη θερμοκρασία με κυκλοφορία νερού σταθερής θερμοκρασίας. Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: 5 - 90 ° C , όπου το εύρος αυτό περιορίζεται από τον ελεγκτή θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται. Τα κύτταρα που δέχεται ο υποδοχέας ανέρχονται σε 10 χιλιοστά τα οποία είναι ορθογώνια.

Συνοπτικά η συσκευή αυτή μπορεί να εκτελέσει την επεξεργασία δεδομένων φάσματος ενώ εκτελείται κάποια μέτρηση ήδη.

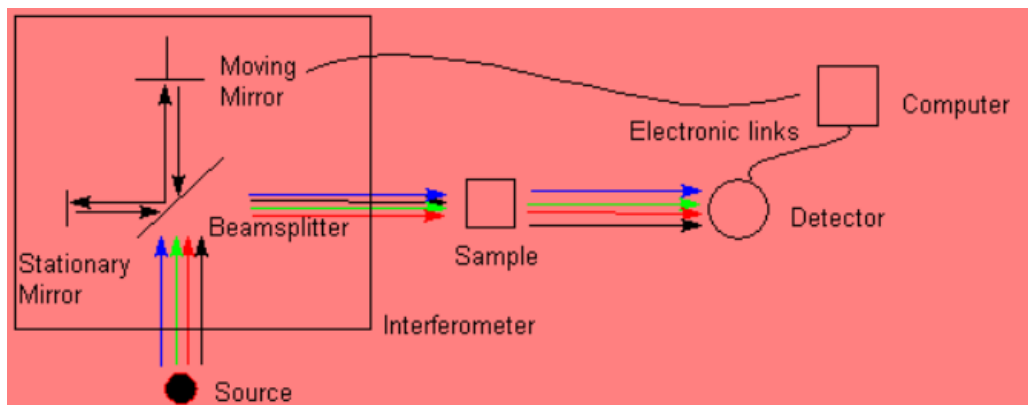
Η προσαρμοσμένη διάταξη της μέτρησης στην οθόνη συγκεντρώνει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η σύγκριση των πολλαπλών φασμάτων είναι εφικτή, με σχετική επεξεργασία. Επίσης αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα που υποβάλλονται σε επεξεργασία με το αρχικό σύνολο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων όλων των χειρισμών. Επιτρέπεται τη διερεύνηση του φάσματος, συρρίκνωση όπου επιλέγεται, αναίρεση ή επανάληψη των διενεργειών που έχουν αρχικά επιλεγεί. Υπάρχει η δυνατότητα σχολιασμού στην οθόνη του φάσματος. Μπορεί να γίνει σύγκριση ή σχετική επεξεργασία πολλαπλών δεδομένων κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

6.2 Φασματοφωτόμετρο υπερέθρων (FTIR)

Το φασματοφωτόμετρο υπερέθρου φωτός είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ταυτοποίηση και τον ποιοτικό έλεγχο των διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν πάνω σε γυαλιά μικροσκοπίου, που παρασκευάστηκαν και επιστρώθηκαν με χημικές μεθόδους. Ο τύπος του φασματοφωτόμετρου υπερέθρου που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των φασμάτων βασίζεται στην αρχή λειτουργίας των οργάνων απλής δέσμης. Το οπτικό σύστημα, από το οποίο διέρχεται η δέσμη υπερέθρου, είναι απαλλαγμένο από την υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ώστε να μην ανιχνεύονται οι συγκεκριμένες ζώνες απορρόφησης παρά μόνο εάν οφείλονται στην παρουσία τους

στο δείγμα. Επίσης το όργανο έχει τη δυνατότητα σάρωσης σε εύρος από 370 cm^{-1} έως 7800 cm^{-1} με αυτόματη καταγραφή και επεξεργασία των φασμάτων μέσω υπολογιστή.

Λόγω της παρασκευής των διαλυμάτων με διάφορες χημικές μεθόδους, πολλά από τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της παρασκευής είναι οργανικά μόρια τα οποία πριν το τελικό στάδιο παρασκευής της επίστρωσης του φιλμ πάνω στο δείγμα πρέπει να απομακρυνθούν. Η απομάκρυνση τους, λοιπόν, ελέγχεται μέσω φασμάτων FTIR [39].

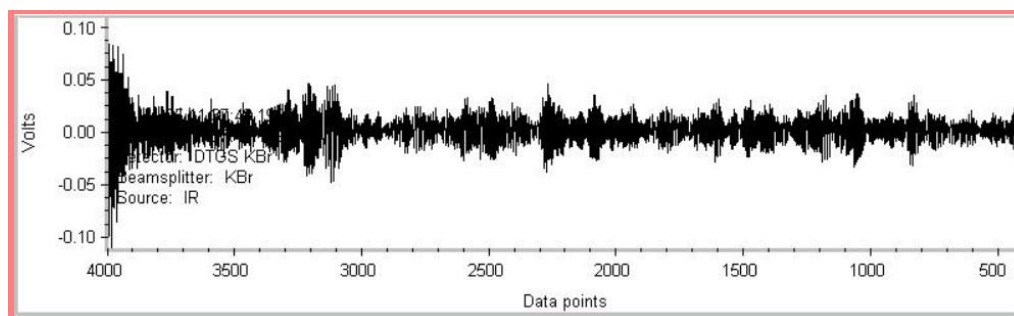


Σχήμα 33: Λειτουργία υπέρυθρου φασματοφωτόμετρου FTIR

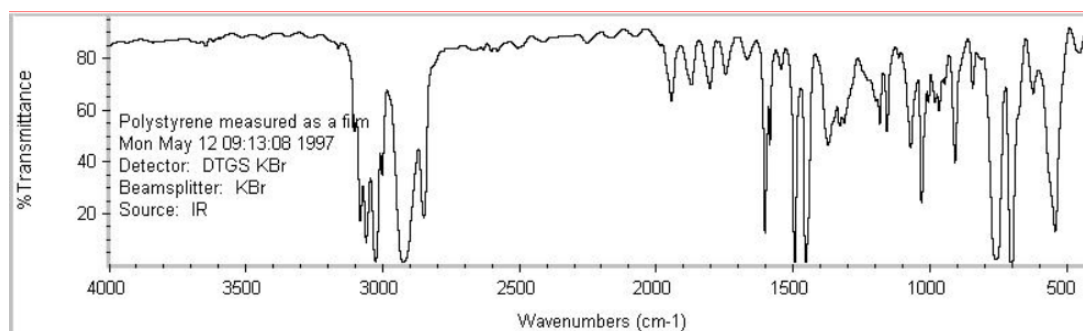
Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής: Όλη η πηγή ενέργειας μέσω ενός συμβολόμετρου πηγαίνει πάνω στο δείγμα, σε κάθε σάρωση. Το συμβολόμετρο είναι ένα θεμελιωδώς διαφορετικό κομμάτι του εξοπλισμού από ένα μονοχρωμάτορα. Το φως περνά μέσα από ένα διαχωριστή δέσμης, ο οποίος στέλνει το φως σε δύο κατευθύνσεις υπό ορθές γωνίες. Μία δοκός πηγαίνει σε ένα σταθερό κάτοπτρο και στη συνέχεια πίσω στο διαχωριστή δέσμης. Το άλλο πηγαίνει σε ένα κινούμενο καθρέφτη. Η κίνηση του καθρέφτη κάνει το συνολικό μεταβλητό μήκος της διαδρομής σε σχέση με εκείνη της δέσμης με στάσιμο καθρέφτη. Όταν οι δύο συναντηθούν στο διαχωριστή δέσμης, ανασυνδυάζονται, αλλά η διαφορά στο μήκος διαδρομής δημιουργεί εποικοδομητική και καταστρεπτική παρέμβαση: το συμβολογράφημα.

Η δέσμη η οποία έχει ανασυνδυαστεί περνά μέσα από το δείγμα. Το δείγμα απορροφά όλο το χαρακτηριστικό μήκος κύματος το οποίο είναι διαφορετικό από το φάσμα της, και αυτό αφαιρεί συγκεκριμένα μήκη κύματος από το συμβολογράφημα. Ο ανιχνευτής αναφέρει διακύμανση της ενέργειας συναρτήσει του χρόνου για όλα τα μήκη κύματος ταυτόχρονα. Μια ακτίνα λέιζερ επάνω αποτελεί σημείο αναφοράς για τη λειτουργία του οργάνου.

Με τον όρο συμβολογράφημα εννοείται ένα είδος γραφικής παράστασης όπως ενδεικτικά φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Τα δεδομένα παραπάνω δεδομένα που συλλέχθηκαν χρειάζονται το μετασχηματισμό Fourier προκειμένου να γίνουν κατανοητά σε μορφή που να είναι ευανάγνωστη. Έτσι λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα από το φασματοφωτόμετρο υπεράυθρων FTIR ψηφιοποιούνται από την έξοδο του ανιχνευτή και ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος κάνει το μετασχηματισμό σε δευτερόλεπτα προκειμένου να ληφθεί το παρακάτω σχήμα.



Στο παραπάνω σχήμα υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- Όλη η πηγή ενέργειας φθάνει στο δείγμα βελτιώνοντας το λόγο σήματος προς το θόρυβο.
- Η ανάλυση περιορίζεται από το σχεδιασμό του συμβολόμετρου⁹. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή του κινούμενου καθρέφτη, τόσο υψηλότερη είναι η ανάλυση.
- Η διασύνδεση και η ψηφιοποίηση του υπολογιστή επιτρέπει πολλαπλές σαρώσεις που πρέπει να συλλέγονται, βελτιώνοντας επίσης δραστικά την αναλογία σήματος προς θόρυβο.
- Τα περισσότερα από τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών επιτρέπουν την περαιτέρω μαθηματική βελτίωση των δεδομένων. Προσφέρουν τη δυνατότητα αφαίρεσης κάποιου φάσματος αναφοράς, διόρθωση του σημείου

⁹ Χρησιμοποιείται για την καταγραφή των κρουστικών κυμάτων και προτύπων ρευστών ροής.

αναφοράς, επεξεργασία πλαστών κορυφών αλλά και διόρθωση των ορίων του δείγματος.

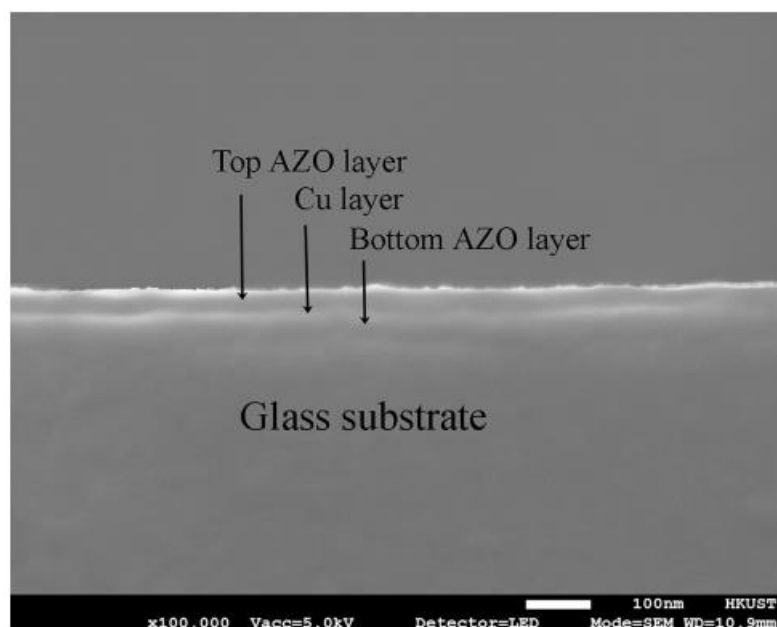
Κεφάλαιο 7

7.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια, έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα ανακλαστικά φιλμ επίστρωσης μεγάλης διαπερατότητας στο ορατό φάσμα αλλά και στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα από τα πιο σημαντικά διαφανή αγώγιμα οξειδία είναι το Al-doped ZnO (AZO), οξείδιο του ψευδαργύρου με νόθευση αλουμινίου, το οποίο συναντάται σε αρκετές εφαρμογές όπως ηλιακά κύτταρα αλλά και επιστρώσεις υαλοπινάκων. Αναφέρεται επίσης ότι λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για επιστρώσεις θωράκισης θερμότητας. Για να επιτευχθεί καλύτερα ποσοστά ανάκλασης του AZO φιλμ χρειάζεται ανόπτηση κατά τη διάρκεια είτε μετά τη διαδικασία εναπόθεσης, γεγονός που αυξάνει το συνολικό κόστος κατασκευής του φιλμ.

Ο χαλκός Cu έχει μελετηθεί ότι ως μεταλλικό φιλμ μπορεί να επιφέρει μεγάλη απόδοση στα διαφανή ηλεκτρόδια. Ακολούθησαν μελέτες οι οποίες εστίασαν το ενδιαφέρον τους στις οπτοηλεκτρονικές ιδιότητες και στις μικροδομές του εν λόγω υλικού. Ανακαλύφθηκαν δηλαδή ιδιότητες ανάκλασης του εγγύς υπέρυθρου οι οποίες επηρεάζονται σημαντικά από το πάχος της δομής του χαλκού πάνω στην επίστρωση AZO και μόνο λίγη προσοχή έχει δοθεί στις ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού σε μεγαλύτερα μήκη κύματος της υπέρυθρης πάνω από 20μm όπου είναι η κύρια περιοχή της ηλιακής ενέργειας και θερμικής ακτινοβολίας [40].

Η τεχνολογία RF magnetron sputtering, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω, χρησιμοποιείται για την παραγωγή σταθερής ποιότητας λεπτών φιλμ σε υψηλό ρυθμό εναπόθεσης χρησιμοποιώντας τόσο αγώγιμους όσο και μη αγώγιμους στόχους. Σκοπός αυτής της τεχνολογίας είναι το χαμηλό κόστος και η υψηλή υπέρυθρη αντανάκλαση, πολλαπλών στρώσεων του εν λόγω υλικού σε υποστρώματα μη θερμαινόμενου υαλοπίνακα.



Σχήμα 34: Απεικόνιση της κατάταξης των στρώσεων

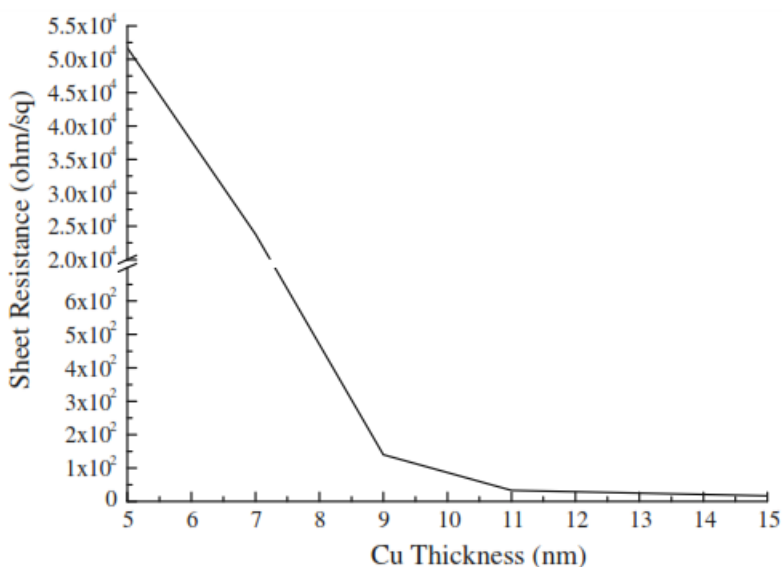
Η μελέτη αυτή λαμβάνει χώρα για επτά διαφορετικά δείγματα AZO/Cu/AZO τα οποία παρασκευάστηκαν στην ουσία σε τρία επίπεδα. Οι εξωτερικές στρώσεις είναι AZO με πάχος 30nm και εσωτερικά αυτών υπάρχει υπόστρωμα χαλκού Cu σε διαφορετικά πάχη των 5, 7, 9, 11, 13, 15 nm. Το πάχος της μεμβράνης ελέγχεται από ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης το οποίο μετρά τη διατομή της μεμβράνης με σάρωση. Η ακρίβεια του πάχους της μεμβράνης ήταν καλύτερη από $\pm 5\%$. Η αντίσταση των παρασκευασμένων μεμβρανών ανιχνεύεται με το σύστημα ανίχνευσης τεσσάρων σημείων. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε σε φασματοφωτόμετρο με εύρος από 300nm έως 900nm. Οι κρυσταλλικές δομές των ταινιών χαρακτηρίστηκαν με περιθλασίμετρο ακτίνων X χρησιμοποιώντας Cu K α ακτινοβολία ($k = 0,154$ nm) (45 kV σε 200 mA) σε κανονική λειτουργία. Η επιφανειακή μορφολογία των AZO μεμβρανών εξετάστηκε με μικροσκόπια ατομικής δύναμης. Οι παράμετροι εναπόθεσης των στοιχείων όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν απεικονίζονται παρακάτω.

	AZO layers	Cu layer
Target	AZO (ZnO: Al ₂ O ₃ = 98 wt%: 2 wt%) 99.99 %; Φ 9 cm	Cu 99.99 %; Φ 9 cm
Base pressure	5×10^{-4} Pa	5×10^{-4} Pa
RF power	150 W	50 W
Air flow rate	40 sccm	30 sccm
Working pressure	0.5 Pa	0.3 Pa
Target-substrate distance	10 cm	10 cm

Σχήμα 35: Απεικόνιση των παραμέτρων εναπόθεσης

7.1.1 Ανάλυση ηλεκτρικών ιδιοτήτων

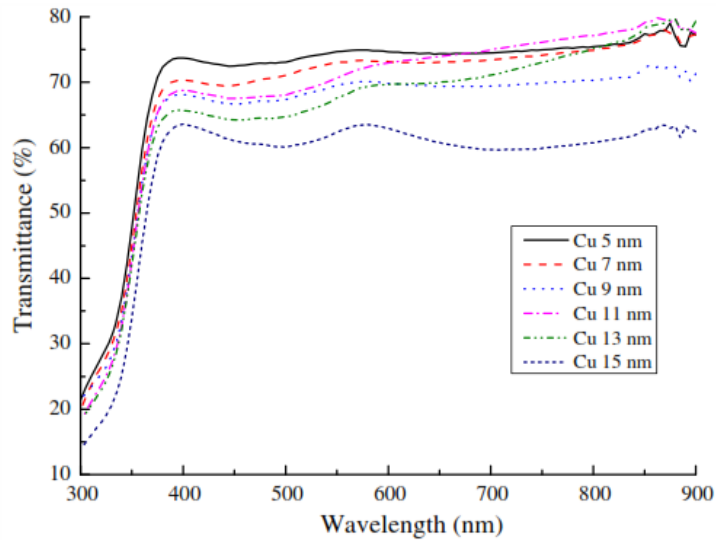
Η αντίσταση των επικαλυμμένων μεμβρανών σε συνάρτηση του πάχους του στρώματος Cu φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η αντίσταση της μεμβράνης μειώθηκε με το αυξανόμενο πάχος του εσωτερικού στρώματος Cu όπως αναμένεται και η χαμηλότερη αντίσταση μεμβράνης 16.6 X / sq μπορεί να ληφθεί όταν το πάχος του Cu είναι 15 nm. Θα μπορούσε επίσης να σημειωθεί ότι η αντίσταση της μεμβράνης έδειξε μια απότομη μείωση όταν το πάχος του στρώματος του Cu ήταν μικρότερο από 11 nm. Με την περαιτέρω αύξηση του πάχους του Cu η αντίσταση του εναποτιθέμενου φιλμ μειώθηκε ελαφρά. Αυτό δείχνει ότι όταν τα δείγματα έχουν πάχος μεγαλύτερο από 11 nm οδηγούν σε βελτίωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επίσης είναι δύσκολο τα σωματίδια Cu να σχηματίσουν ένα εντελώς αγώγιμο δίκτυο πριν το σχηματισμό του συνεχόμενου φιλμ με αποτέλεσμα η αντίσταση να είναι υψηλή.



Σχήμα 36: Απεικονίζεται η αντίσταση των μεμβρανών σε σχέση με το πάχος

7.1.2 Ανάλυση διαπερατότητας σε UV – VIS

Στο σχήμα που ακολουθεί τα δείγματα AZO/Cu/AZO παρουσιάζουν το φάσμα διαπερατότητάς τους σε σχέση με το μήκος κύματος της μελέτης που διεξήχθη.

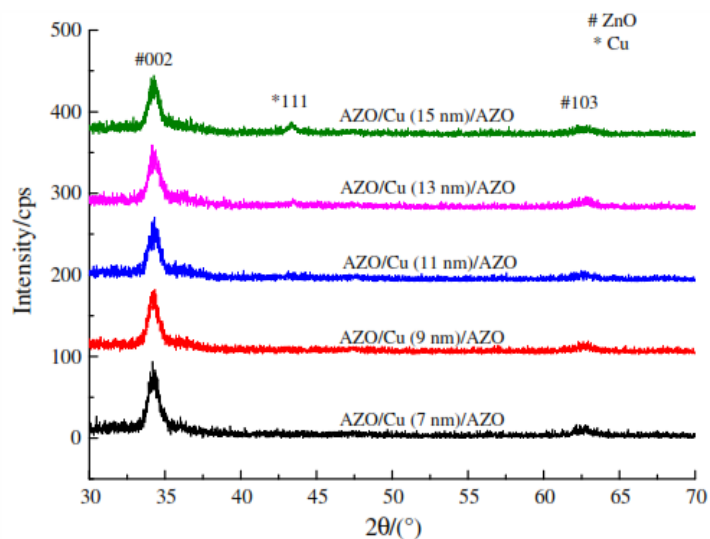


Σχήμα 37: Διαπερατότητα των AZO / Cu / AZO σε μήκος κύματος από 300nm έως 900nm

Εξετάζοντας το παραπάνω σχήμα φαίνεται μεγάλη αύξηση της διαπερατότητας από την περιοχή του υπεριώδους προς το ορατό φάσμα, το οποίο στη συνέχεια δείχνουν να διατηρούν τη διαπερατότητά τους στο 60% - 80% στην ορατή περιοχή. Η μέση ορατή διαπερατότητα των δειγμάτων μειώθηκε με την αύξηση του πάχους του Cu, παρά μόνο το δείγμα Cu με πάχος 11nm έδειξε απότομη αύξηση, γεγονός που το καθιστά κρίσιμο πάχος.

7.1.3 Ανάλυση κρυσταλλικής δομής

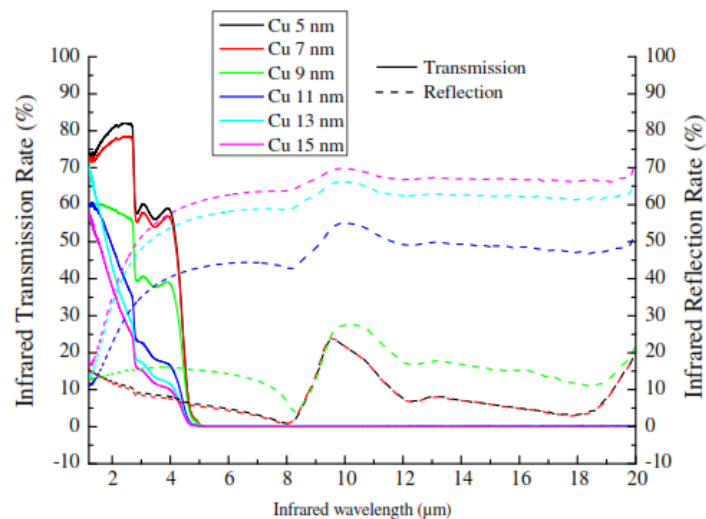
Ακολουθεί ένα σχήμα απεικόνισης της μορφολογίας των δειγμάτων με περίθλαση ακτίνων Χ.



Σχήμα 38: Περίθλαση ακτίνων Χ επί των δειγμάτων

Από το παραπάνω σχήμα αυτό που αναγνωρίζεται μέσω των κορυφών είναι η κρυσταλλική δομή των στρωμάτων AZO. Ωστόσο, η ένταση της κορυφής Cu δεν ήταν προφανής σε μερικά από τα φάσματα. Η κορυφή στο σημείο *111 μπορεί να παρατηρηθεί σε δείγματα πάχους άνω των 11nm. Αυτό το φαινόμενο υποστηρίζει το γεγονός ότι όταν το εσωτερικό στρώμα του χαλκού Cu είναι συνεχόμενο και παχύτερο από 11nm παρουσιάζει καλύτερη κρυστάλλωση.

7.1.4 Ανάλυση ιδιοτήτων στο υπέρυθρο φάσμα



Σχήμα 39: Απεικονίζει την ανακλαστικότητα και τη διαπερατότητα στο υπέρυθρο φάσμα

Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνουμε ότι η ανάκλαση σε δείγματα με μικρότερο πάχος είναι αισθητά μεγαλύτερη από το απλό γυαλί ενώ σε δείγματα με πάχος μεγαλύτερο των 11nm δείχνει ότι η ανακλαστικότητα αυξάνεται αρκετά στο βαθύ υπέρυθρο φάσμα. Η αντανάκλαση στο υπέρυθρο φάσμα προκαλείται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του υπέρυθρου ηλεκτρομαγνητικού κύματος και των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε πολυστρωματικές μεμβράνες όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να αντανakλούν τα υπέρυθρα φωτόνια και ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων καθορίζεται απευθείας από την αντίσταση της μεμβράνης.

Για το λόγο ότι στην παρούσα μελέτη οι μεμβράνες AZO παρασκευάστηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και έχουν υψηλή αντίσταση της μεμβράνης, η τελική αντίσταση της μεμβράνης επηρεάζεται κυρίως από το εσωτερικό στρώμα που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο χαλκός. Με πάχος μικρότερο των 11nm, σχηματίζεται ένα ατελές δίκτυο ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μικρότερο αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων πάνω στη μεμβράνη. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση μεταξύ των ελεύθερων ηλεκτρονίων και της μεμβράνης ειδικής αντίστασης, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ο ρυθμός υπέρυθρης αντανάκλασης είναι αντιστρόφως ανάλογη με την αντίσταση της μεμβράνης του φύλλου και ανάλογη προς το πάχος της στρώσης Cu.

Στο υπέρυθρο φάσμα η διαπερατότητα επικαλυμμένων δειγμάτων ήταν μικρότερη από εκείνη του γυμνού γυαλιού και η οποία μειώθηκε στο μηδέν όταν το μήκος κύματος ήταν μεγαλύτερο από 5 μm. Το φαινόμενο αυτό συνέβη από την υψηλή

απορρόφηση του γυμνού γυαλιού σε αυτήν την περιοχή μήκους κύματος. Τα δείγματα με μεγαλύτερο πάχος έδειξαν χαμηλότερη διαπερατότητα στο υπέρυθρο φάσμα αντίθετα με το αποτέλεσμα της αντανάκλασης. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν από το νόμο διατήρησης της ενέργειας, όπου όσο πιο πολύ ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαπερνά το υπόστρωμα, τόσο λιγότερο ανακλάται.

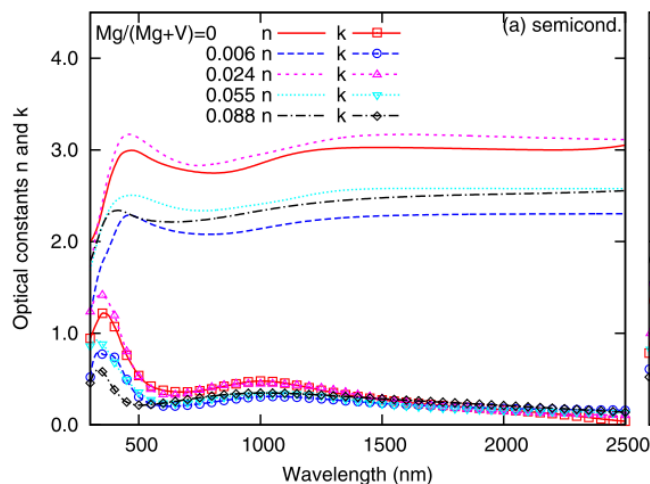
Με τη σύγκριση του ρυθμού αντανάκλασης του χαλκού στο υπέρυθρο μήκος κύματος, μπορεί να συγκριθεί ως αποτέλεσμα με δείγμα AZO / Ag / AZO πολυστρωματικές μεμβράνες όπως παρουσιάζεται σε άλλη μελέτη, όπου ο ρυθμός αντανάκλασης στο υπέρυθρο φάσμα ήταν περίπου 97% με το ίδιο πάχος μετάλλου στο εσωτερικό στρώμα. Ωστόσο, η διαπερατότητα της πολυστρωματικής μεμβράνης στο ορατό φάσμα θα μειωθεί με την αύξηση του του πάχους της μεμβράνης.

Με βάση την ανάλυση αυτής της μελέτης, ο χαλκός είναι ένα πολλά υποσχόμενο υλικό για την θωράκιση της θερμότητας αυτών των μεμβρανών.

7.2 Γενικά

7.2.1 Ιδιότητες οπτικών χαρακτηριστικών

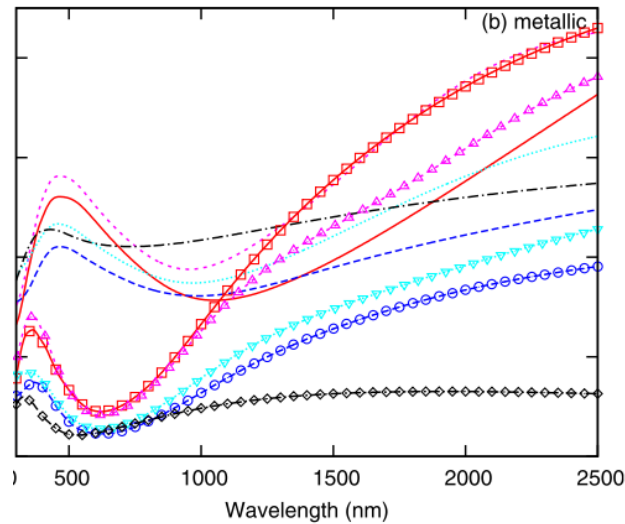
Διάφορες μελέτες έχουν γίνει σε πολλά υλικά με όπως το βανάδιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων. Ένα από αυτά που έχουν μελετηθεί εκτενώς είναι το Μαγνήσιο Mg. Σε καθαρή μορφή αλλά και σε πρόσμιξη με θερμοχρωμικές μεμβράνες οξειδίου του βαναδίου εναποτίθενται πάνω σε θερμαινόμενο γυαλί και υποστρώματα άνθρακα με τη μέθοδο DC magnetron sputtering. Στην παρούσα μελέτη προσδιορίζονται, μέσω της διαπερατότητας και της ανάκλασης, οι οπτικές ιδιότητες των λεπτών υμενίων αλλά και των σύνθετων στρωμάτων αραιωμένων νανοσωματιδίων στην κρίσιμη θερμοκρασία, δηλαδή μεταξύ χαμηλής θερμοκρασίας διαπερατότητας στο υπέρυθρο και υψηλής θερμοκρασίας ανάκλασης ή απορροφητικότητας στο υπέρυθρο [41].



Σχήμα 40: Οπτικές σταθερές n και k για ημιαγωγούς όπου ($\tau < \tau_c$)

Από το παραπάνω σχήμα για την κατάσταση του ημιαγωγού οι καμπύλες των σταθερών n και k δείχνουν παρόμοιες τάσεις σε όλες τις εκδοχές Mg. Τα δεδομένα δείχνουν να είναι ανεξάρτητα από το μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο εκτός από την περίπτωση του k γύρω στα 1000nm. Η κορυφή αυτή υποδηλώνει την ισχυρή οπτική απορρόφηση λόγω μεταβάσεων μεταξύ ζώνης στο ενεργειακό φάσμα. Η τιμή

του k στο φωτεινό φως δείχνει μια τάση να μειώνεται για μεμβράνες Mg με προσμίξεις VO₂, αλλά είναι δύσκολο να εξακριβωθεί μια συστηματική σχέση.



Σχήμα 41: Οπτικές σταθερές n και k για την μεταλλική κατάσταση όπου ($\tau > \tau_c$)

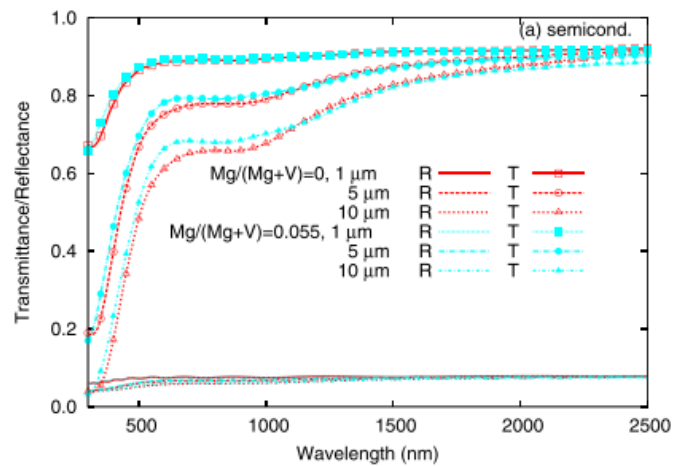
Από το παραπάνω σχήμα για τη μεταλλική κατάσταση, φαίνεται ότι η σταθερά k αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος στο εγγύς υπέρυθρο και το ίδιο ισχύει και για τη σταθερά n όταν το $k > 1000\text{nm}$. Στην περίπτωση του καθαρού Μαγνησίου, χωρίς προσμίξεις οξειδίου του βαναδίου, η σταθερά k επιδεικνύει αξιοσημείωτη μεταλλική συμπεριφορά και ξεπερνά την τιμή του n για $k > 1.100\text{ nm}$. Το μεταλλικό χαρακτηριστικό είναι ασθενέστερο σε Mg με προσμίξεις VO₂ το οποίο μπορεί να ισοσταθμιστεί με τα δεδομένα ανάκλασης στην μεταλλική κατάσταση.

Οι σχέσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τις σταθερές n και k περιγράφονται ως εξής:

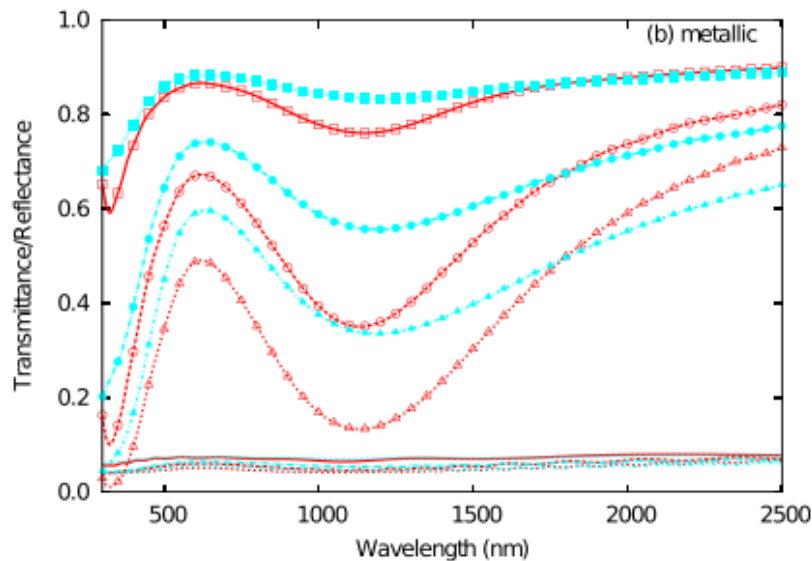
$$n = \left[\frac{1}{2} \left((\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{\frac{1}{2}} + \varepsilon_1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$k = \left[\frac{1}{2} \left((\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{\frac{1}{2}} - \varepsilon_1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

7.2.2 Ανάλυση Διαπερατότητας – Ανακλαστικότητα



Σχήμα 42: Φάσμα διαπερατότητας και ανακλαστικότητας για ημιαγωγούς



Σχήμα 43: Φάσμα διαπερατότητας και ανακλαστικότητας σε μεταλλική κατάσταση.

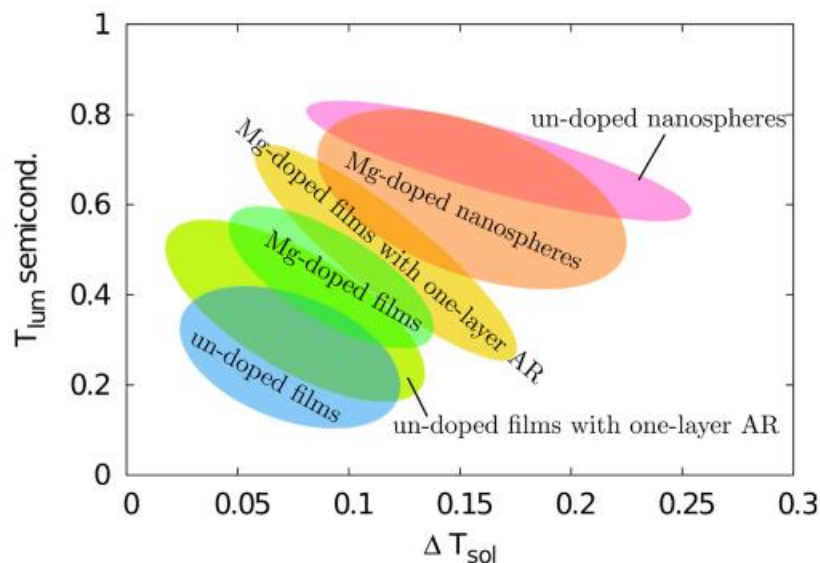
Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα διαπιστώνεται ότι η ποιοτική διαφορά μεταξύ των νανοσωματιδίων σύνθετων στρωμάτων και λεπτών μεμβρανών αποδυναμώνονται όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς διαπερατότητας και ανακλαστικότητας. Συγκεκριμένα αυτό συμβαίνει για τα στρώματα νανοσωματιδίων χωρίς προσμίξεις αλλά και με προσμίξεις με $z=0,055$ και πάχη 1,5 και 10 μm . Καταλήγοντας λοιπόν, αξίζει να δοθεί προσοχή σε τρία πράγματα που αφορούν την καλύτερη απόδοση των νανοσωματιδίων χωρίς προσμίξεις VO_2 .

- i. Οι οπτικές ιδιότητες του φωτεινού φως είναι παρόμοια και για τους δύο τύπους υλικών, με αποτέλεσμα οι προσμίξεις στο Mg να μην αποτελούν σημαντικό πλεονέκτημα,
- ii. Η θετική επίδραση των οπτικών παρεμβολών με τις μεμβράνες είναι απύσχα στα σύνθετα στρώματα νανοσωματιδίων,

- iii. Ο πλασματικός συντονισμός στο εγγύς υπέρυθρο ηλιακό φάσμα είναι μεγαλύτερο σε καθαρό VO_2 , γεγονός που προκύπτει από την ισχυρή μεταλλική συμπεριφορά του έτσι ώστε η διαμόρφωση της απορρόφησης να είναι ισχυρότερη στην κρίσιμη θερμοκρασία T_c .

Το πλασμόνιο σχετίζεται με μια τοπική συλλογική ταλάντωση της πυκνότητας φορτίου και διεγείρεται από το φως σε λεπτές μεταλλικές μεμβράνες, μέσω των κυματοδηγών σε ένα διηλεκτρικό στρώμα επικάλυψης

Συνοψίζοντας, η παρούσα μελέτη παρέχει μια διαφορετική άποψη για τα θερμοχρωμικά υλικά που βασίζονται στο οξειδίο του βαναδίου για εφαρμογές σε σχέση με τα ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα. Διαπιστώθηκε βάσει πειραματικών αποτελεσμάτων ότι το Mg-doped VO_2 με $\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{V}) < 0,06$ σε σωστά επιλεγμένα πάχη μπορεί να έχει πολύ βελτιωμένη οπτική διαπερατότητα T_{lum} και διαφοροποίηση της ηλιακής ενέργειας ΔT_{sol} σε σχέση με τις μεμβράνες καθαρού VO_2 . Η προσθήκη μεμονωμένων αντανάκλαστικών επιστρώσεων στην επάνω πλευρά των μεμβρανών που βασίζονται σε οξειδίο του βαναδίου, έδειξαν περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης των μεμβρανών Mg-doped.



Σχήμα 44: Απεικονίζει τη φωτεινή διαπερατότητα T_{lum} και τη διαπερατότητα διαμόρφωσης ηλιακής ενέργειας ΔT_{sol} για λεπτές μεμβράνες - συμπεριλαμβανομένων αντανάκλαστικών επιστρώσεων και αραιωμένων σύνθετων νανοσωματιδίων

Το παραπάνω σχήμα δίνει μια εικονογραφική περιγραφή των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας που μπορούν να επιτευχθούν με διάφορα υλικά βασισμένα σε VO_2 . Το τελικό συμπέρασμα της όλης έρευνας υποδεικνύει ότι τα σύνθετα νανοσωματίδια υπερτερούν των μεμβρανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1 Οξειδίο του Βαναδίου ($VxOx$)

Κατά τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν μετρήσεις με διαλύματα από τέσσερα διαφορετικά υλικά όπως θα περιγραφούν παρακάτω αναλυτικά. Η παρασκευή του πρώτου διαλύματος ήταν οξειδίου του βαναδίου ($VxOx$) και περιείχε ως βασικό συστατικό:

Vanadium (III) 2,4 – pentanedionate → Vanadium (III) acetylacetonate

όπου ο μοριακός του τύπος είναι: → MF: $C_{15}H_{21}O_6V$ και

το μοριακό του βάρος είναι: → MW: 348.26

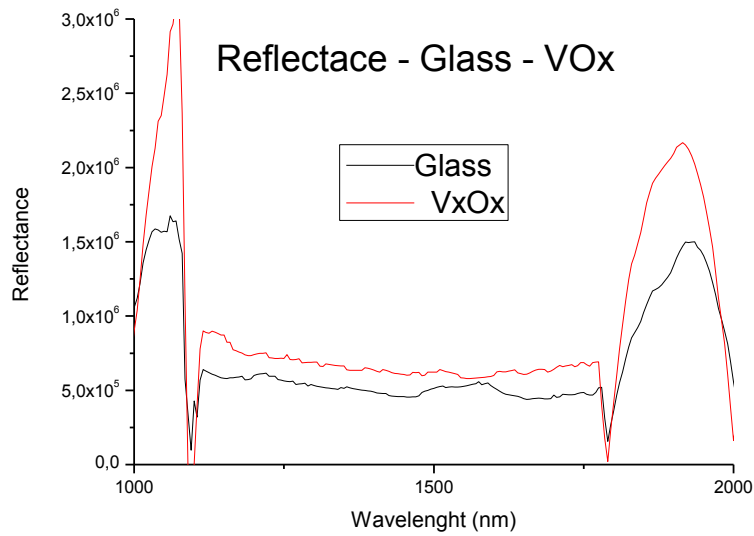
Για την παρασκευή του διαλύματος χρησιμοποιήθηκε ισοπροπανόλη. Η ακριβής αναλογία ήταν:

Σε 4ml ισοπροπανόλης προστίθενται 10mg (0.01gr) από το βανάδιο που εξηγήθηκε παραπάνω ως βασικό συστατικό. Το διάλυμα στη συνέχεια αναδεύεται για περίπου 15 λεπτά. Κατά τη διαδικασία αυτή το διάλυμα θα πρέπει να είναι αεροστεγώς κλεισμένο προκειμένου να μην εξατμιστεί ο διαλύτης. Η διαδικασία ανάδευσης γίνεται με μαγνήτες προκειμένου να αποφευχθούν υπολείμματα διαλύματος κατά της εξαγωγή τους. Όταν το διάλυμα διαλυθεί πλήρως και ομογενοποιηθεί είναι έτοιμο για χρήση.

Σε γυαλιά μικροσκοπίου μπορούμε να επιστρώσουμε το διάλυμα με περιστροφική διαδικασία επικάλυψης (spin coating) και η πρώτη στρώση film είναι έτοιμη. Στη συνέχεια αφήνουμε σε φούρνο το δείγμα στους 500 °C για 10 λεπτά περίπου έως ότου απομακρυνθούν τα οργανικά στοιχεία και να παραμείνει $VxOx$. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται άλλες τέσσερις (4) φορές προκειμένου να λάβουμε πειραματικά αποτελέσματα των πέντε (5) στρώσεων (layers), για τη μελέτη των οπτικών του ιδιοτήτων σε εύρος φάσματος από 260nm έως 2600nm.

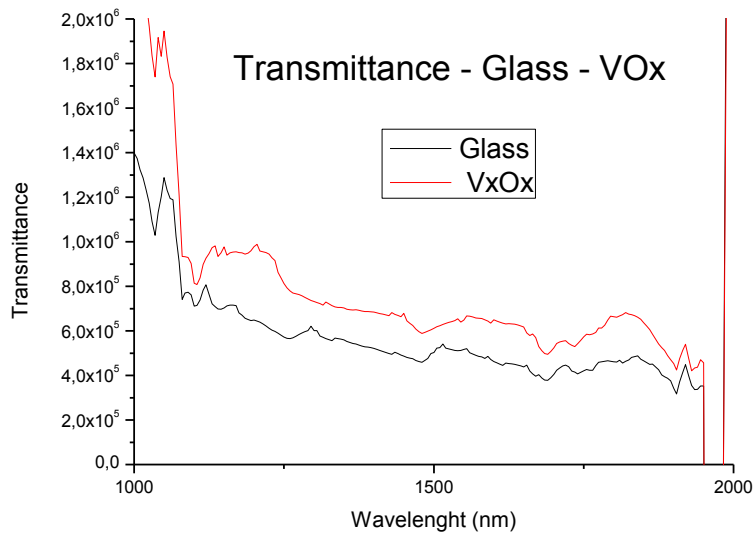
Οφείλει να αναφερθεί πως το διάλυμα την αρχή είχε πράσινο χρώμα. Όταν ήρθε όμως σε επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία, το διάλυμα ανάγεται. Η διαδικασία αυτή αλλάζει το χρώμα του διαλύματος σε κίτρινο και οριστικά σε φως δωματίου παρέμεινε πορτοκαλί.

Μελετώντας διαγραμματικά τη συμπεριφορά του γυαλιού που επιστρώθηκε όπως περιγράφηκε παραπάνω με ένα απλό γυαλί μικροσκοπίου παρατηρούνται εμφανείς διαφορές στην ανακλαστικότητα αλλά και τη διαπερατότητα όπως δείχνουν τα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 45: Σχηματική απεικόνιση της ανακλαστικότητας

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι από τα 1000nm - 1100nm η ανακλαστικότητα του οξειδίου του βαναδίου γίνεται περίπου διπλάσια της τάξεως του $1,5 \cdot 10^6$ έναντι του απλού γυαλιού μικροσκοπίου. Από τα 1100nm – 1800nm μειώνεται αισθητά η ανακλαστικότητα και των δύο δειγμάτων με σταθερή αύξηση της τάξεως του $2,5 \cdot 10^5$ έναντι του απλού γυαλιού, ενώ από τα 1800nm – 2000nm η διαφορά αυτή αυξάνεται στο $0,7 \cdot 10^6$.



Σχήμα 46: Σχηματική απεικόνιση της διαπερατότητας

Από το διάγραμμα παραπάνω προκύπτει ότι από >1000nm – 1100nm το οξείδιο του βαναδίου δείχνει να έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από το απλό γυαλί μικροσκοπίου ενώ από τα 1100nm και για όσο διήρκεσε η μέτρηση υπάρχει μείωση

της διαπερατότητας και παρατηρείται μια σταθερή διαφορά στο $1,3 \cdot 10^5$ αυξημένης διαπερατότητας του οξειδίου του βαναδίου (VxOx).

8.2 Οξειδίο του ψευδαργύρου με προσμίξεις Αλουμινίου (Zinc doped Al)

Η παρασκευή του δεύτερου διαλύματος ήταν ψευδάργυρος (Zinc) με αλουμίνιο (Al) και συγκεκριμένα για τον ψευδάργυρο [42]:

Zn acetate - 2 - hydrate (Zn (acet)2 . 2 H2O)

όπου ο μοριακός του τύπος είναι: \rightarrow MF: $C_4H_{10}O_6Zn$ και

το μοριακό του βάρος είναι: \rightarrow MW: 219.51

Φυσική μορφή : λεπτούς λευκούς κρυστάλλους

και συγκεκριμένα για το αλουμίνιο:

Al isopropoxide (Al – (O Pri) 3

όπου ο μοριακός του τύπος είναι: \rightarrow MF: $C_9H_{21}AlO_3$ και

το μοριακό του βάρος είναι: \rightarrow MW: 204.24

Σημείο τήξεως 129 – 136 °C

Σημείο βρασμού 125 – 130 °C (38mm Hg)

Διαλυτότητα στο νερό: Αντιδρά

Το διάλυμα ψευδαργύρου παρασκευάζεται ως εξής:

Σε 1ml ισοπροπανόλης προστίθενται 0.03gr ψευδαργύρου, το οποίο περιγράφηκε παραπάνω. Αφού αναδευτεί για λίγο με τη χρήση μαγνητών και κλεισμένο αεροστεγώς ώστε να μην εξατμιστεί ο διαλύτης, προστίθεται μια σταγόνα υδροχλωρίου (HCL) και συνεχίζεται η ανάδευση για περίπου 40 λεπτά έως ότου διαλυθεί και ομογενοποιηθεί πλήρως.

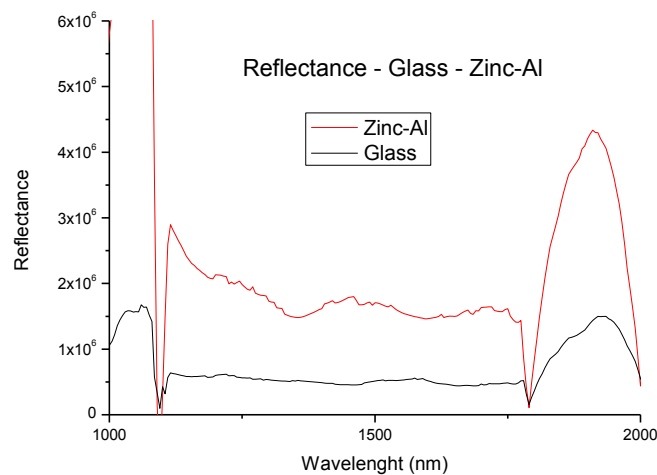
Το διάλυμα αλουμινίου παρασκευάζεται ως εξής:

Σε 1ml ισοπροπανόλης προστίθενται 0.006gr αλουμινίου, το οποίο περιγράφηκε παραπάνω. Αφού αναδευτεί για λίγο με τη χρήση μαγνητών και κλεισμένο αεροστεγώς ώστε να μην εξατμιστεί ο διαλύτης, προστίθεται μια σταγόνα υδροχλωρίου (HCL) και συνεχίζεται η ανάδευση για περίπου 30 λεπτά έως ότου διαλυθεί και ομογενοποιηθεί πλήρως.

Τοποθετούνται τα διαλύματα μαζί και αναδεύονται για πέντε (5) λεπτά ακόμη ώστε να ομογενοποιηθούν και να είναι έτοιμα προς χρήση ως ένα διάλυμα.

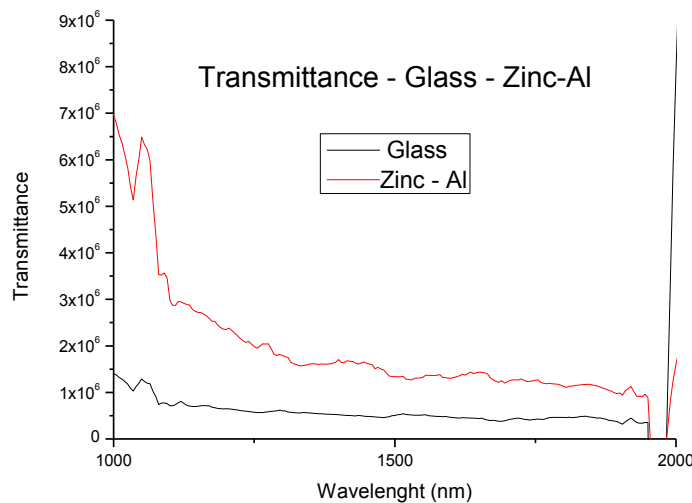
Στη συνέχεια το υλικό μπορεί να επιστρωθεί πάνω στο γυαλί μικροσκοπίου με την περιστροφική διαδικασία επικάλυψης και να μπει σε φούρνο στους 500 °C για 10 λεπτά ώστε να απομακρυνθούν τα οργανικά στοιχεία και να παραμείνει Zinc-Al. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για πέντε (5) στρώσεις συνολικά ώστε να μελετηθεί από το φασματοφωτόμετρο δυνατότητας από 260nm έως 2600nm για τις οπτικές του ιδιότητες.

Μελετώντας διαγραμματικά τη συμπεριφορά του γυαλιού που επιστρώθηκε όπως περιγράφηκε παραπάνω με ένα απλό γυαλί μικροσκοπίου παρατηρούνται εμφανείς διαφορές στην ανακλαστικότητα αλλά και τη διαπερατότητα όπως δείχνουν τα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 47: Σχηματική απεικόνιση της ανακλαστικότητας

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι από τα 1000nm - 1100nm η ανακλαστικότητα του ψευδαργύρου με αλουμίνιο είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του απλού γυαλιού μικροσκοπίου. Από τα 1100nm – 1800nm μειώνεται η ανακλαστικότητα με σταθερή αύξηση της τάξεως του $1,5 \cdot 10^6$ του Zinc – Al έναντι του απλού γυαλιού με μεγαλύτερη τιμή τα $2,2 \cdot 10^6$ και μικρότερη το $1 \cdot 10^6$, ενώ από τα 1800nm – 2000nm αυξάνεται η τιμή της ανακλαστικότητας για το επικαλυμμένο δείγμα Zinc - Al στα $4,4 \cdot 10^6$ περίπου όπου η διαφορά με το δείγμα του απλού γυαλιού είναι μεγαλύτερη του $2,5 \cdot 10^6$.



Σχήμα 48: Σχηματική απεικόνιση της διαπερατότητας

Από το διάγραμμα παραπάνω προκύπτει ότι από $>1000\text{nm} - 1100\text{nm}$ το οξείδιο του βαναδίου δείχνει να έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από το απλό γυαλί μικροσκοπίου ενώ από τα 1100nm και για όσο διήρκεσε η μέτρηση παρατηρούμε μια σταθερή μείωση της διαπερατότητας με διαφορά των δύο δειγμάτων στο $1 \cdot 10^6$ αυξημένης διαπερατότητας του ψευδαργύρου με αλουμίνιου (Zinc – Al).

8.3 Οξείδιο του Βαναδίου με προσμίξεις βολφραμικού οξέος (VxOx doped W)

Για την παρασκευή του τρίτου διαλύματος στο ήδη υπάρχον διάλυμα του βαναδίου (VxOx) που αναλύσαμε παραπάνω θα προσθέσουμε βολφραμικό οξύ (W), αυτή η προσθήκη ονομάζεται νόθευση (doping) και συγκεκριμένα:

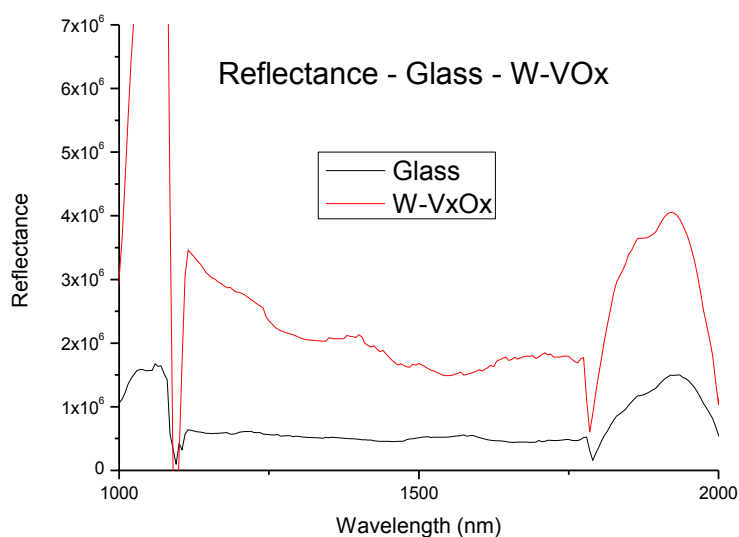
W → βολφραμικό οξύ (tungstic acid)

το μοριακό του βάρος είναι: → MW: 183.84

Σε 4ml H_2O_2 και 4 ml αιθανόλης προστίθενται 0.5 gr W. Το διάλυμα στη συνέχεια αναδεύεται για περίπου 15 λεπτά. Κατά τη διαδικασία αυτή το διάλυμα θα πρέπει να είναι αεροστεγώς κλεισμένου προκειμένου να μην εξατμιστεί ο διαλύτης. Η διαδικασία ανάδευσης γίνεται με μαγνήτες προκειμένου να αποφευχθούν υπολείμματα διαλύματος κατά της εξαγωγή τους. Όταν το διάλυμα διαλυθεί πλήρως και ομογενοποιηθεί είναι έτοιμο για χρήση.

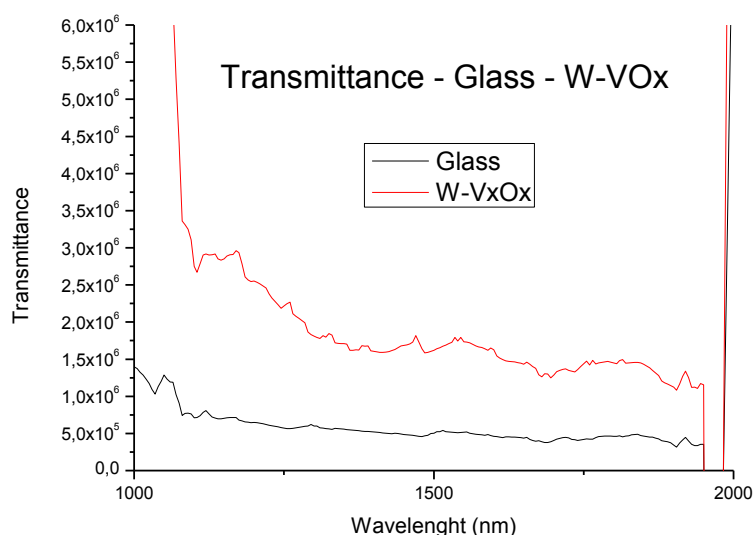
Η παρασκευή του οξειδίου του βαναδίου ($VxOx$) περιγράφηκε παραπάνω. Έτσι αναμιγνύουμε αυτά τα δύο υλικά σε αναλογία:

Σε 0.0025 gr W προστίθενται 2ml $VxOx$. Ύστερα το νέο διάλυμα αναδεύεται με μαγνήτες για περίπου 15 λεπτά κλεισμένο αεροστεγώς και με τη διαδικασία της περιστροφικής επικάλυψης “στρώνεται” πάνω στο γυαλί μικροσκοπίου. Κατόπιν μπαίνει σε φούρνο στους 500 °C για 10 λεπτά ώστε να απομακρυνθούν τα οργανικά στοιχεία και τελικά παίρνουμε επίστρωση (Film) W νοθευμένο με $VxOx$. Ύστερα από συνολικά πέντε (5) επικαλύψεις τοποθετείται στο φασματοφωτόμετρο ώστε να μελετηθούν οι οπτικές του ιδιότητες συγκρινόμενες με το απλό γυαλί σε εύρος φάσματος από 260nm έως 2600nm.



Σχήμα 49: Σχηματική απεικόνιση της ανακλαστικότητας

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι από τα 1000nm - 1100nm η ανακλαστικότητα του βολφραμίου με οξείδιο του βαναδίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του απλού γυαλιού μικροσκοπίου. Από τα 1100nm – 1800nm μειώνεται η ανακλαστικότητα με σταθερά αυξημένη διαφορά της τάξεως του $1,7 * 10^6$ έναντι του απλού γυαλιού με μεγαλύτερη τιμή τα $3,5 * 10^6$ και μικρότερη το $1,8 * 10^6$, ενώ από τα 1800nm – 2000nm αυξάνεται η τιμή της ανακλαστικότητας για το επικαλυμμένο δείγμα στα $4 * 10^6$ περίπου όπου η διαφορά με το δείγμα του απλού γυαλιού είναι μεγαλύτερη του $2,5 * 10^6$.



Σχήμα 50: Σχηματική απεικόνιση της διαπερατότητας

Από το διάγραμμα παραπάνω προκύπτει ότι από >1000nm – 1100nm το οξειδίο του βαναδίου με βολφράμιο δείχνει να έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από το απλό γυαλί μικροσκοπίου ενώ από τα 1100nm και για όσο διήρκεσε η μέτρηση παρατηρούμε μια σταθερή μείωση της διαπερατότητας με διαφορά των δύο δειγμάτων στο $1,2 \cdot 10^6$ αυξημένης διαπερατότητας του οξειδίου του βαναδίου με νόθευση βολφραμίου (W – VxOx).

8.4 Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO₂)

Για την παρασκευή του διαλύματος του διοξειδίου του τιτανίου (TiO₂) ακολουθήθηκε η παρακάτω συνταγή.

4ml ETOH

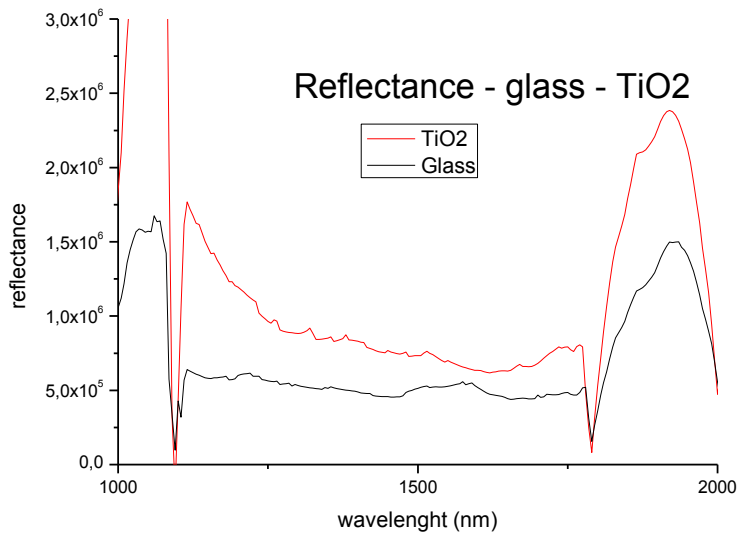
0.72 gr Triton X-100

0.4ml acetic acid (ACOH)

0.37 ml or 0.37gr Titanium (IV) butoxide

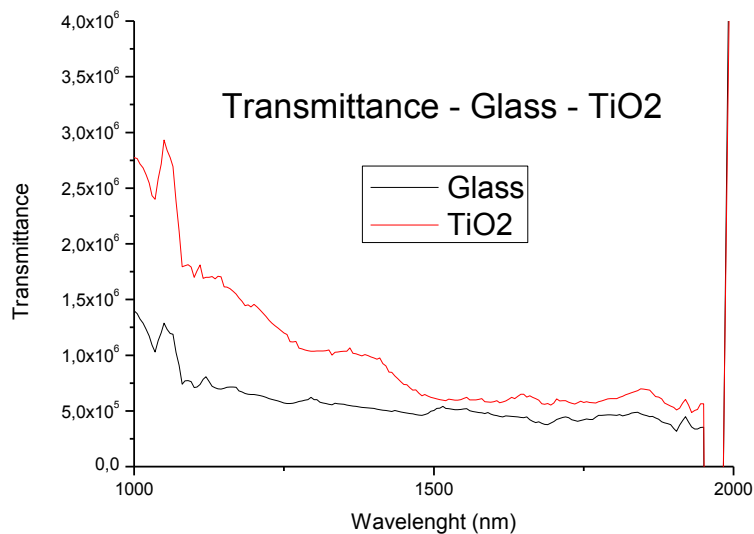
$$\text{Density } \rho = 1 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} \quad (\rho = \frac{m}{V})$$

Το διάλυμα αυτό λοιπόν επιστρώνεται σε γυαλί μικροσκοπίου με τη διαδικασία της περιστροφικής επικάλυψης και εισέρχεται σε φούρνο στους 500 °C για 10 λεπτά για την απομάκρυνση των οργανικών στοιχείων. Ύστερα από πέντε (5) επικαλύψεις τοποθετείται στο φασματοφωτόμετρο για να εξεταστούν οι οπτικές του ιδιότητες σε εύρος φάσματος από 260nm έως 2600 nm.



Σχήμα 51: Σχηματική απεικόνιση της ανακλαστικότητας

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι από τα 1000nm - 1100nm η ανακλαστικότητα του διοξειδίου του τιτανίου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του απλού γυαλιού μικροσκοπίου. Από τα 1100nm – 1800nm μειώνεται η ανακλαστικότητα με σταθερά αυξημένη διαφορά της τάξεως του $1,1 \cdot 10^6$ έναντι του απλού γυαλιού με μεγαλύτερη τιμή τα $1,7 \cdot 10^6$ και μικρότερη το $0,7 \cdot 10^6$, ενώ από τα 1800nm – 2000nm αυξάνεται η τιμή της ανακλαστικότητας για το επικαλυμμένο δείγμα στα $2,5 \cdot 10^6$ περίπου όπου η διαφορά με το δείγμα του απλού γυαλιού είναι μεγαλύτερη του $1 \cdot 10^6$.



Σχήμα 52: Σχηματική απεικόνιση της διαπερατότητας

Από το διάγραμμα παραπάνω προκύπτει ότι από >1000nm – 1100nm το διοξείδιο του τιτανίου δείχνει να έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα από το απλό γυαλί μικροσκοπίου της τάξεως του $1,5 * 10^6$ ενώ από τα 1100nm και για όσο διήρκεσε η μέτρηση παρατηρούμε μια σταθερή μείωση της διαπερατότητας με διαφορά $0,75 * 10^6$ έως $0,1 * 10^5$ των δύο δειγμάτων και αυξημένης της διαπερατότητας του διοξειδίου του τιτανίου (TiO₂).

8.5 Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων

	1000nm-1100nm	1100nm-1800nm	1800nm-2000nm
VxOx	$\approx 3 * 10^6$	$\approx 0.75 * 10^6$	$\approx 2.2 * 10^6$
Zinc – Al	$\approx 6 * 10^6$	$\approx 2 * 10^6$	$\approx 4.5 * 10^6$
W – VxOx	$\approx 7 * 10^6$	$\approx 2.6 * 10^6$	$\approx 4 * 10^6$
TiO ₂	$\approx 3 * 10^6$	$\approx 0.8 * 10^6$	$\approx 2.5 * 10^6$

Πίνακας 8: Συνοπτικός πίνακας μηκών κύματος ανακλαστικότητας

Από τον παραπάνω συνοπτικό πίνακα με συγκεντρωμένες τις τιμές σε σχέση με τα μήκη κύματος εύκολα πια μπορούμε να συγκρίνουμε τις αποδόσεις των διαλυμάτων για επίστρωση που επιλέχθηκαν. Παρατηρείται λοιπόν, ότι το οξειδίο του βαναδίου με νόθευση βολφραμίου έχει μεγαλύτερες ανακλαστικές ιδιότητες στο μεγαλύτερο ηλιακό φάσμα. Πολύ καλές ενδείξεις όμως στην ανακλαστικότητα παρουσίαζε και το διάλυμα του ψευδαργύρου με το αλουμίνιο και μάλιστα λίγο καλύτερες στο βαθύ υπέρυθρο φάσμα. Παρακάτω θα αναλυθεί και ο συνοπτικός πίνακας των ίδιων διαλυμάτων επίστρωσης για τις ιδιότητές τους στη διαπερατότητα του ηλιακού φωτός ανάλογα με το μήκος κύματος.

	1000nm-1100nm	1100nm-2000nm
VxOx	$\approx 1,9 * 10^6$	$\approx 0.7 * 10^6$
Zinc – Al	$\approx 6,5 * 10^6$	$\approx 2 * 10^6$
W – VxOx	$> 6 * 10^6$	$\approx 2 * 10^6$
TiO ₂	$\approx 2,8 * 10^6$	$\approx 1,3 * 10^6$

Πίνακας 9: Συνοπτικός πίνακας μηκών κύματος διαπερατότητας

Από τον παραπάνω συνοπτικό πίνακα με συγκεντρωμένες τις τιμές σε σχέση με τα μήκη κύματος εύκολα πια μπορούμε να συγκρίνουμε τις αποδόσεις των διαλυμάτων για επίστρωση που επιλέχθηκαν. Παρατηρείται λοιπόν, ότι το διάλυμα ψευδαργύρου με αλουμίνιο έχει μεγαλύτερες ιδιότητες διαπερατότητας από 1000nm – 1100nm του ηλιακού φάσματος, όχι όμως ιδιαίτερα μεγάλες από το οξειδίο του βαναδίου με νόθευση βολφραμίου. Ίδιες όμως περίπου ενδείξεις στη διαπερατότητα παρουσίασαν και τα δύο προαναφερθέντα διαλύματα επίστρωσης στο υπόλοιπο υπέρυθρο φάσμα, όπου έλαβε χώρα η μέτρηση.

Οι παραπάνω μετρήσεις είναι πειραματικές και διεξήχθησαν στο εργαστήριο σε συνεργασία με το εργαστήριο εδαφολογίας στην Αμαλιάδα. Δεν υπήρχε η δυνατότητα θέρμανσης των επικαλυμμένων δειγμάτων ώστε να εξεταστούν και αναλυθούν οι ιδιότητες και οι διαφορές λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Έτσι, τα παραπάνω αποτελέσματα αναφέρονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Επίσης, στο φασματοφωτόμετρο όπου διεξήχθησαν οι μετρήσεις, ως βάση (baseline) τέθηκε το κενό. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ο περιβάλλοντας χώρος καλυπτόταν από μαύρο χρώμα και για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα της απορρόφησης είναι μηδενικά επειδή προφανώς δε μπορούν να συγκριθούν με το μέλαν σώμα.

Βιβλιογραφία

- [1] Δ.Α. Ασημακόπουλος, Μ. Σ. (Ιούλιος 2011). *Κίνδυνοι και επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον*. ΑΘΗΝΑ: ΚΑΠΕ.
- [2] (EDS), Α. Η. (2013). Sustainability in Energy and Buildings. *Springer*, pp. 813-826.
- [3] Luis Perez - Lombard, J. O. (2007, March 12). A review on building energy consumption information.
- [4] *Η ηλιακή ακτινοβολία*. (n.d.). Retrieved from meteo.geo.auth.gr/askiseis/Math_Chapter_2: meteo.geo.auth.gr/askiseis/Math_Chapter_2
- [5] (n.d.). Retrieved from www.physics.uoi.gr/seci/clim2.pdf: www.physics.uoi.gr/seci/clim2.pdf
- [6] Μπάης, Α. (n.d.). Η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία και οι επιδράσεις της στον άνθρωπο.
- [7] Οικονόμου Ανδρέας, Β. Λ. (n.d.). *245_Project.4*. Retrieved from 3lyk-patras.ach.sch.gr/website/attachments/245_PROJECT%204.doc
- [8] *Υπέριθρη ακτινοβολία*. (n.d.). Retrieved from https://el.wikipedia.org/wiki/Υπέριθρη_ακτινοβολία
- [9] C.H. Huang, G. Z. (2001, November 20). Calculation of the absorption coefficients of optical materials by measuring the transmissivities and refractive indices.
- [10] Chris Long, N. S. (2009). *Heat transfer*.
- [11] Department, F. a. (n.d.). Thermal insulation materials, technical characteristics and selection criteria. Retrieved from www.fao.org/documents/en/detail/138/22/
- [12] M.Saeli, C. M. (n.d.). Thermo-chromic Thin Films: Synthesis, Properties and Energy Consumption Modelling. pp. 736-746.
- [13] Masoud Kamalisarvestani, S. M. (n.d.). *Analyzing the optical performance of intelligent thin films applied to architectural glazing and solar collectors*.
- [14] M. Kamalisarvestani, R. S. (2013, June 25). Performance, material and coating technologies of thermo-chromic thin films on smart windows. pp. 353-364.
- [15] Ivan P. Parkin, T. D. (2006, March 3). Intelligent Thermo-chromic Windows.
- [16] Ivan P. Parkin, R. B. (2008, January 20). Thermo-chromic Coatings for intelligent Architectural Glazing.
- [17] Jr, J. N. (2008, June 9). Synthesis of vanadium dioxide thin films and nanoparticles. *Journal of physics*.
- [18] A.Paone, M. J.-L. (n.d.). Thermo-chromic Films of VO₂:W For "Smart" Solar Energy Applications. pp. 29-34.
- [19] Junwei Ye, L. Z. (2010, June 11). Preparation, characterization and properties of thermo-chromic tungsten-doped vanadium dioxide by thermal reduction and annealing.
- [20] Li Gong, Z. Y. (2010, January 5). Highly transparent conductive and near-infrared reflective ZnO:Al thin films. pp. 947-952.

- [21] Didier Tichit, O. L. (2005, January 22). Synthesis and characterization of Zn/Al and Pt/Zn/Al layered double hydroxides obtained by the sol-gel method.
- [22] Jin-Hong Lee, K.-H. K.-O. (2002, September 6). Electrical and optical properties of ZnO transparent conducting films by the sol-gel method
- [23] Τιφλίδου, Χ. (2013). *Ακινητοποίηση πρωτεϊνών σε υμένια TiO₂ για την κατασκευή ηλεκτροχημικών βιοαισθητήρων*. Πάτρα.
- [24] N. Wang, S. M. (2013, January 31). Simple sol-gel process and one-step annealing of vanadium dioxide thin films: Synthesis and thermochromic properties.
- [25] J. Livage, F. B. (1998). Sol-Gel Synthesis of oxide materials. pp. 743-750.
- [26] Ikuya Takahashi, M. H. (n.d.). Thermochromic Properties of Double-Doped VO₂ Thin Films Prepared by a Wet Coating Method Using Polyvanadate-Based Sols Containing W and Mo or W and Ti.
- [27] Παλούρα, Ε. (n.d.). Retrieved from Μέθοδος φυσικής εναπόθεσης ατμού - PVD Method: users.auth.gr/paloura/1sputtering_tr_1_2010.pdf
- [28] Εμμανουέλα, Μ. (2010, Οκτώβριος 15). Retrieved from Σύνοψη νανοδομημένων υλικών: <http://www.emmanouela.yolasite.com/resources/.pdf>
- [29] Παπαδόπουλος, Α. Κ. (2006). *Θερμική Άνεση στα κτίρια. Νέα πρότυπα και Βελτίωση Θερμικής Άνεσης στα Κτίρια*. Ιωάννινα.
- [30] Christian Prager, M. K. (2005, February 12). The influence of the IR reflection of painted facades on the energy balance of a building. pp. 1369-1379.
- [31] (n.d.). Retrieved from Θερμική ακτινοβολία Κεφάλαιο 1: www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Κεφάλαιο1-Θερμικήακτινοβολία.pdf
- [32] <http://vinterglass.gr/>. Γυαλί και θερμομόνωση
- [33] <http://www.pilkington.com>
- [34] <http://www.yourglass.com>
- [35] <http://www.metalcoglazing.com>
- [36] <http://www.sensorsinc.com>
- [37] <http://www.el.swewe.net>
- [38] <http://www.shimadzu.com>. (n.d.). Retrieved from <http://www.shimadzu.com>: <http://www.shimadzu.com>
- [39] <http://chemistry.oregonstate.edu>.
- [40] Dagang Miao, S. J. (2014, September 5). Transparent conductive and infrared reflective AZO/Cu/AZO multilayer film prepared by RF magnetron sputtering. pp. 5248-5254.
- [41] Shu-Yi Li, G. A. (2014, February 4). Thermochromic undoped and Mg-doped VO₂ thin films and nanoparticles: Optical properties and performance limits for energy efficient windows. *Journal of Applied Physics*.

- [42] A. Alkahlout, N. A. (2014, March 25). Synthesis and Characterization of Aluminum Doped Zinc Oxide Nanostructures via Hydrothermal Route.