



Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Φυσικής
Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης

Ηλεκτρική αντίσταση και οπτική διαπερατότητα λεπτών υμενίων VO_2 στην περιοχή μετάλλου-μονωτή (MIT)

Δήμητρα Μανούσου

Κύριος επιβλέπων: Συσκάκης Εμμανουήλ, Επ. Καθηγητής Τμ.Φυσικής, ΕΚΠΑ

Ημερίδα Υποψήφιων Διδασκτόρων, Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης Αθήνα, 2019

- ❖ **Εισαγωγή - Στοιχεία θεωρίας - Σκοπός**
- ❖ **Πειραματική διαδικασία - Τεχνικές**
- ❖ **Πειραματικά αποτελέσματα**
Μετρήσεις Ηλεκτρικής αντίστασης & Οπτικής διαπερατότητας λεπτών υμενίων VO_2
- ❖ **Σύνοψη, Επόμενα βήματα**

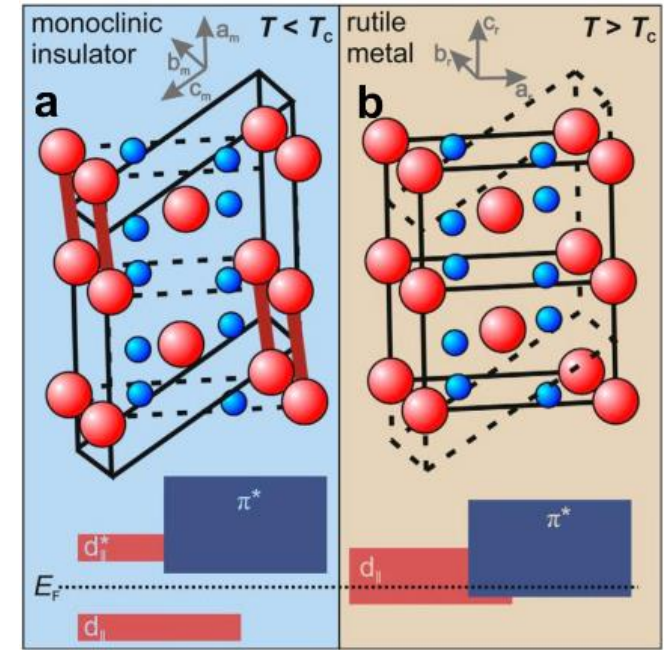
Στοιχεία θεωρίας

VO_2 : Μετάβαση μετάλλου-μονωτή (MIT) & Δομική μετάβαση (SPT)
(μονοκλινής \leftrightarrow φάση ρουτιλίου) σε $T_c \sim 340 \text{ K}$

Αδιευκρίνιστος μηχανισμός (Peierls ή Mott)!

Δομική αλλαγή \Leftrightarrow MIT ? & $T_{\text{SPT}} = T_{\text{MIT}}$ ή $T_{\text{SPT}} \neq T_{\text{MIT}}$

- ❖ Μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης (R) $> (10^2 - 10^4)$ και της οπτικής διαπερατότητας (Transmittance) στο IR ($\sim 50\%$)
- ❖ MIT ($t \sim \text{ps}$), SPT ($t \sim \mu\text{s}$)



Εφαρμογές: Ηλεκτρονική (π.χ. Mott transistor), Τεχνολογία των αισθητήρων, Ενεργειακά παράθυρα

Στόχος εργασίας: Η κατανόηση των χαρακτηριστικών της MIT με ηλεκτρική και οπτική διέγερση και η διαμόρφωση τους για εφαρμογές

Πειραματική διαδικασία Παρασκευή λεπτών υμενίων VO_2

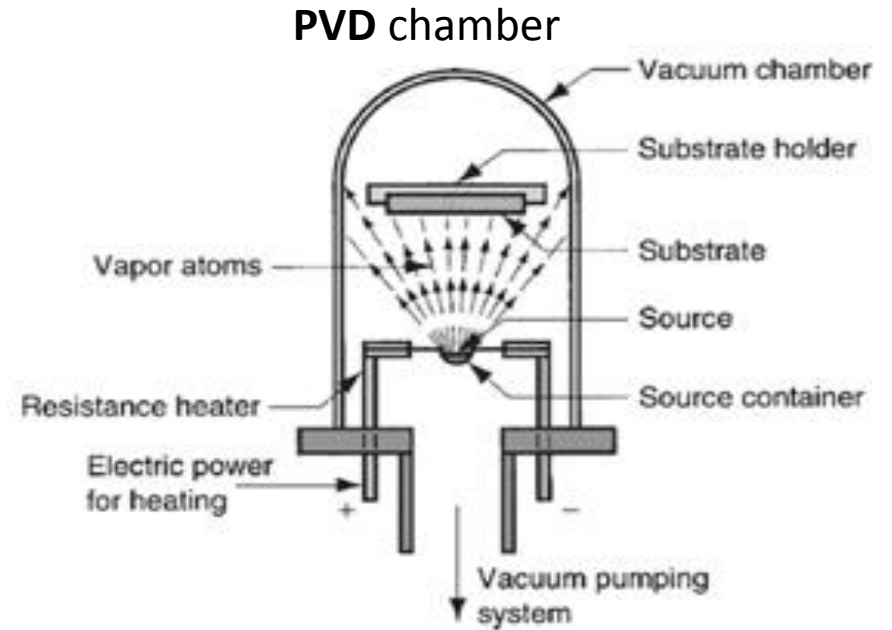
Physical Vapor Deposited V_2O_5 films \Rightarrow VO_2 films

1^ο βήμα: Τήξη συμπιεσμένης σκόνης V_2O_5 σε έλασμα τιτανίου

2^ο βήμα: Θερμική εξάχνωση/εξάτμιση σε $T \approx 1100\text{K}$,
 $P \approx 10^{-5}$ mbar

Ενάποθεση υμενίων V_2O_5 σε υποστρώματα quartz, sc- Al_2O_3 και γυαλιά (πάχους $\leq 0.5\text{mm}$)

3^ο βήμα: Αναγωγή υμενίων V_2O_5 films σε υμένια VO_2
(πάχους \leq μερικές εκατοντάδες nm) υπό σταθερή ροή N_2
 $2\text{V}_2\text{O}_5 \longrightarrow 4\text{VO}_2 + \text{O}_2$



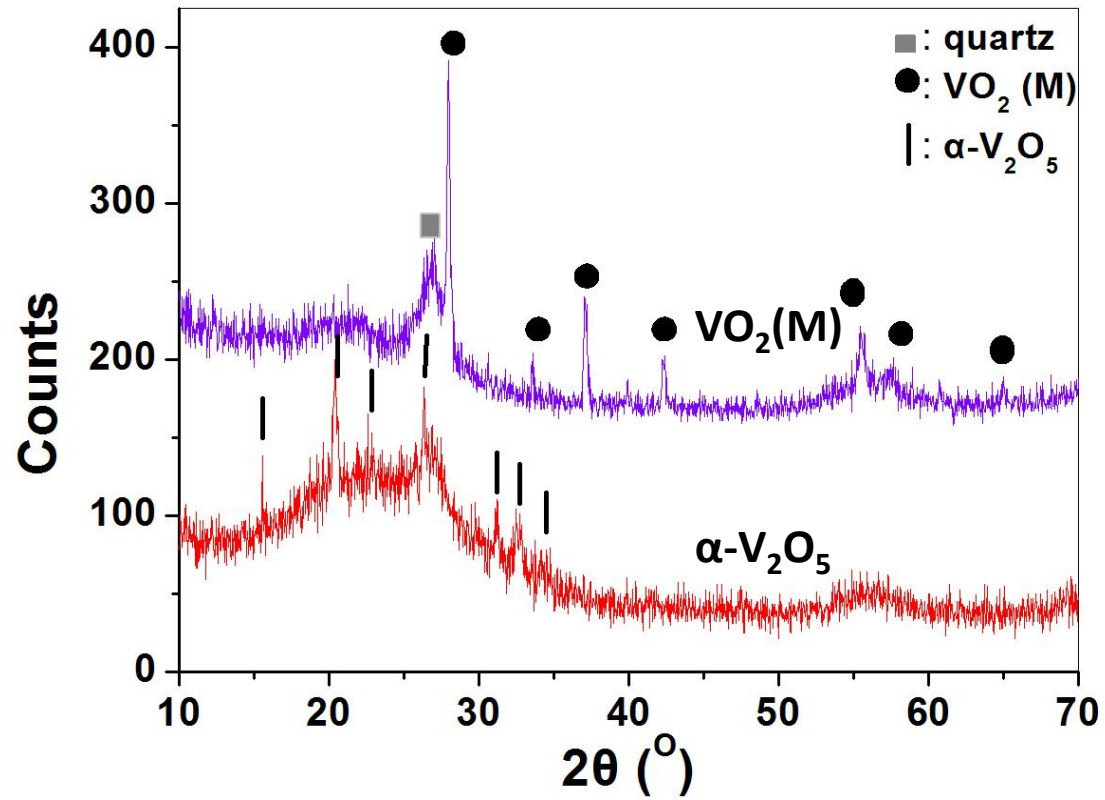
2^ο βήμα \longrightarrow 3^ο βήμα



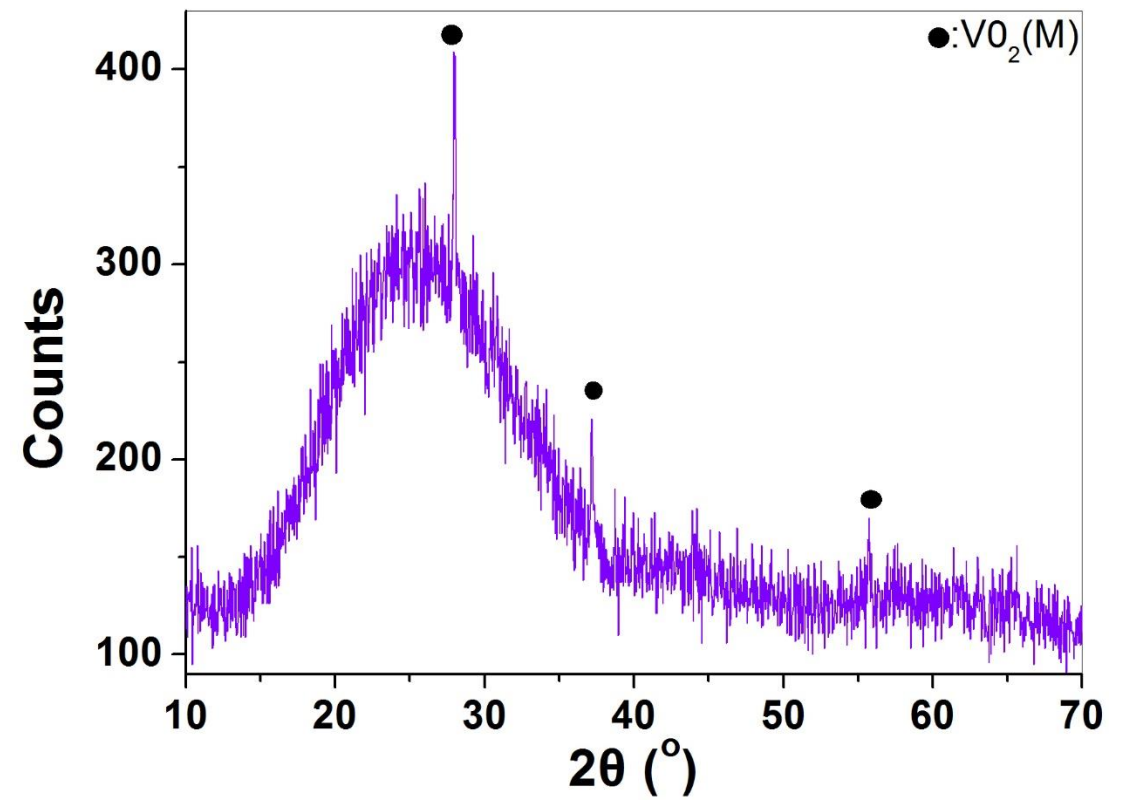
$P \approx 4 \cdot 10^{-1}$ mbar, $T \approx 500^\circ\text{C}$, $t=3$ h

Περιθλασιμετρία ακτίνων X – XRD

V_2O_5 / VO_2 σε quartz



VO_2 σε γυαλί



Μετρήσεις Ηλεκτρικής αντίστασης & Οπτικής διαπερατότητας

Μέτρησεις ηλεκτρικής αντίστασης (T: 300-380 K):

- Μία πηγή ρεύματος (225 current source, Keithley), βολτόμετρο (2000 DMM, Keithley)
- Μέθοδος δύο επαφών, $R=V/I$

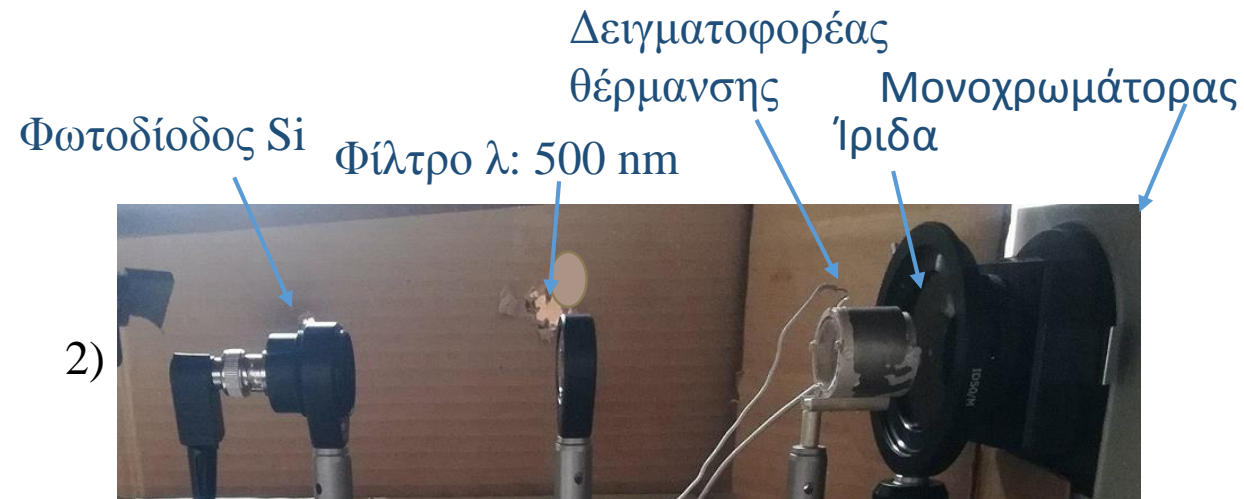


Μετρήσεις οπτικής διαπερατότητας:

A) Σε $\lambda=1550\text{nm}$ (T: 300 - 380K)

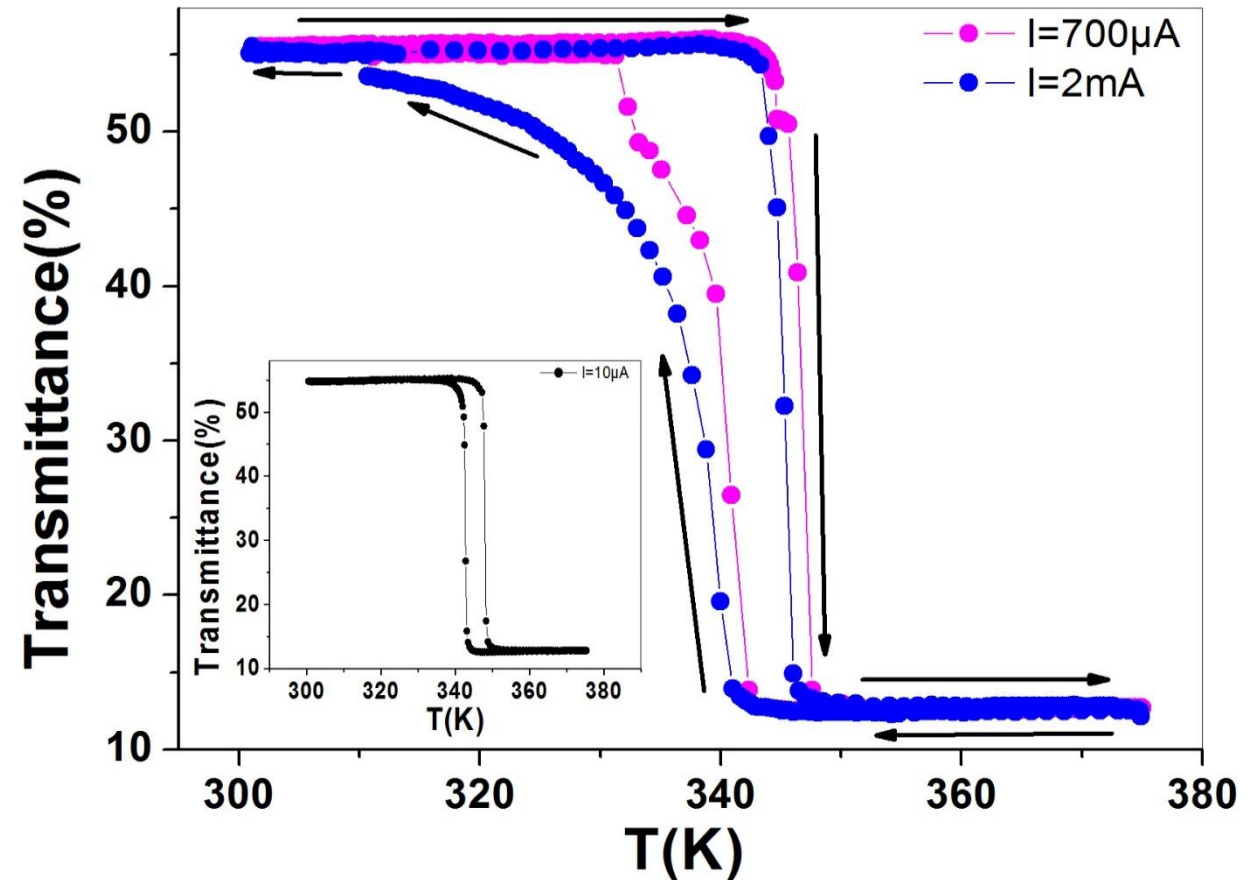
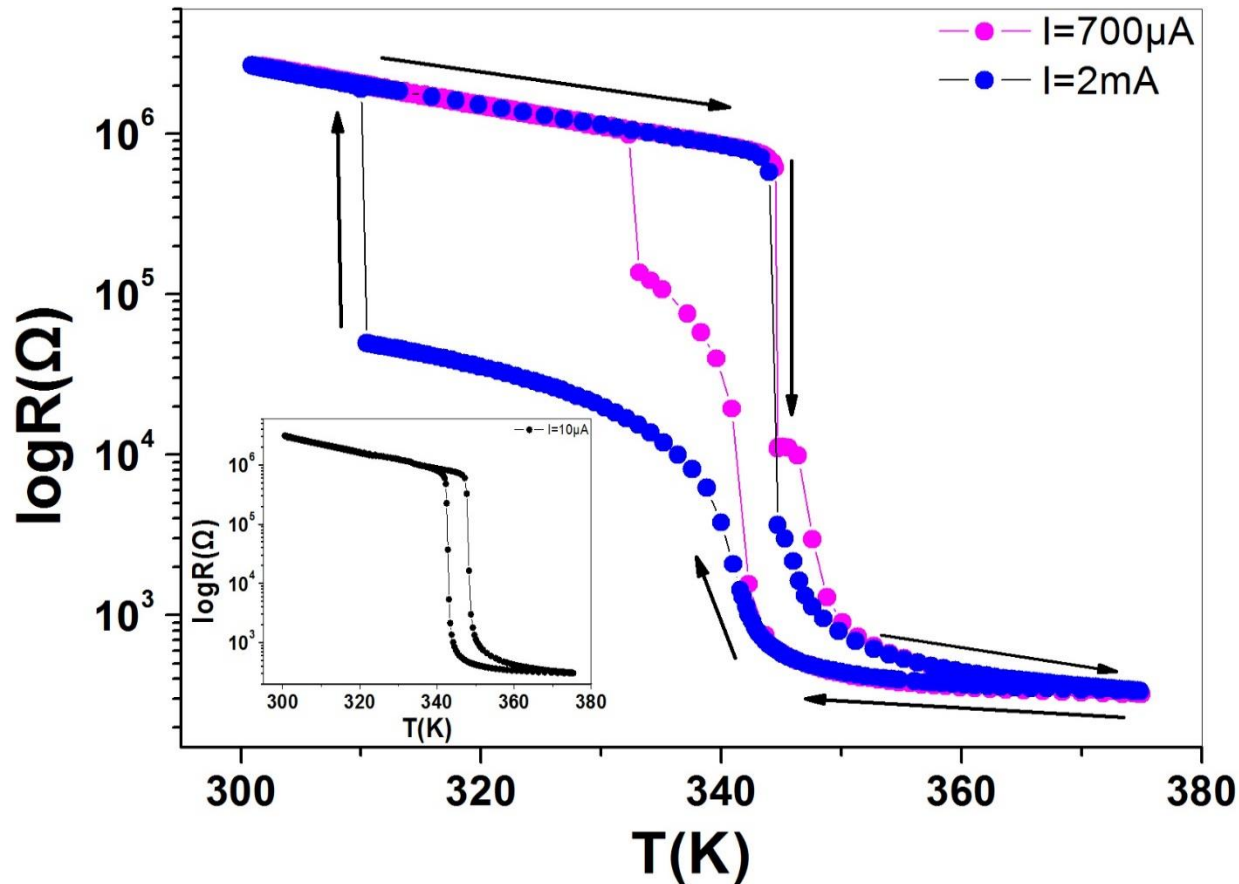
B) Σε ($\lambda: 400 - 1000 \text{ nm}$) T=300 K, T=380 K

- Transmittance = $\frac{I}{I_0} \times 100\% = \frac{I_{film+sub}}{I_{sub}} \times 100\%$



Ταυτόχρονη μέτρηση Ηλεκτρικής αντίστασης & Οπτικής διαπερατότητας σε $300\text{ K} < T < 380\text{ K}$

VO₂ σε quartz: Επίδραση ρεύματος στην MIT

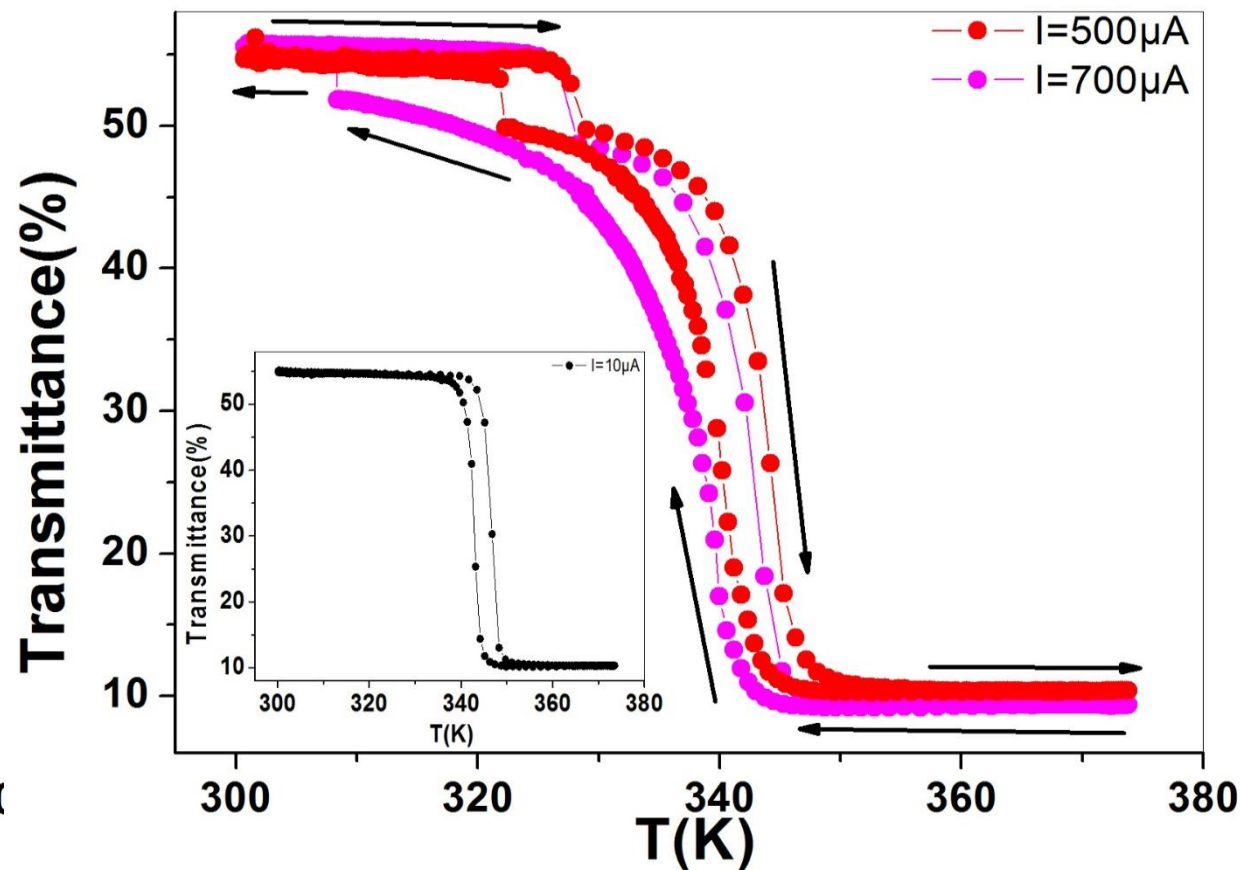
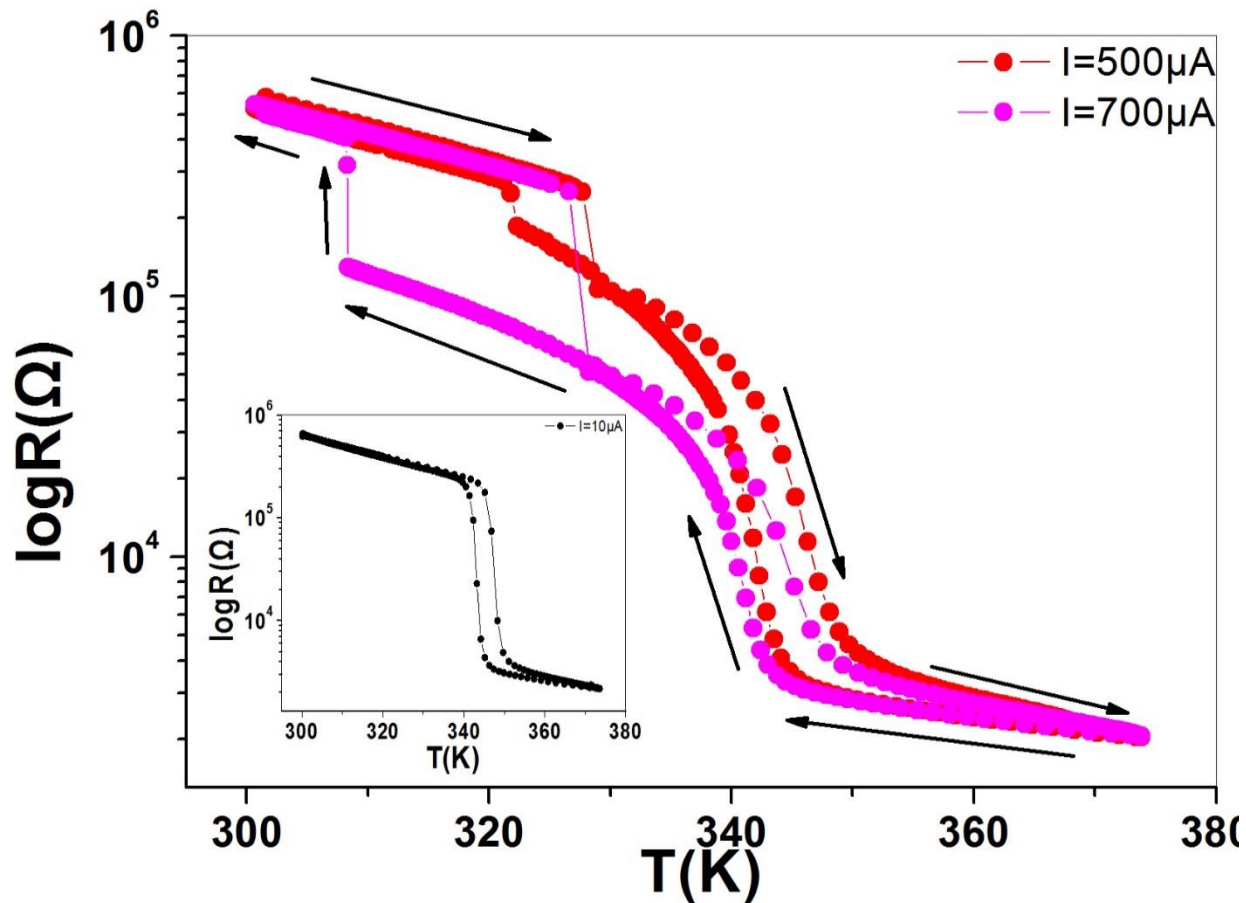


- ❖ $\Delta R/R_0 \approx 3.5$ τάξεις μεγέθους
- ❖ $\Delta \text{Transmittance} (\lambda=1550\text{ nm}) \approx 45\%$
- ❖ $T_{\text{MIT}} = 348\text{ K}$, Πλάτος βρόγχου $\approx 5\text{ K}$ ($I < 500\mu\text{A}$)

- ❖ $I \geq 500\ \mu\text{A}$:
 - Μικρή μείωση της $T_{\text{MIT}} \approx 344\text{ K}$
 - Διαπλάτυνση βρόγχου

Ταυτόχρονη μέτρηση Ηλεκτρικής αντίστασης & Οπτικής διαπερατότητας σε $300 \text{ K} < T < 380 \text{ K}$

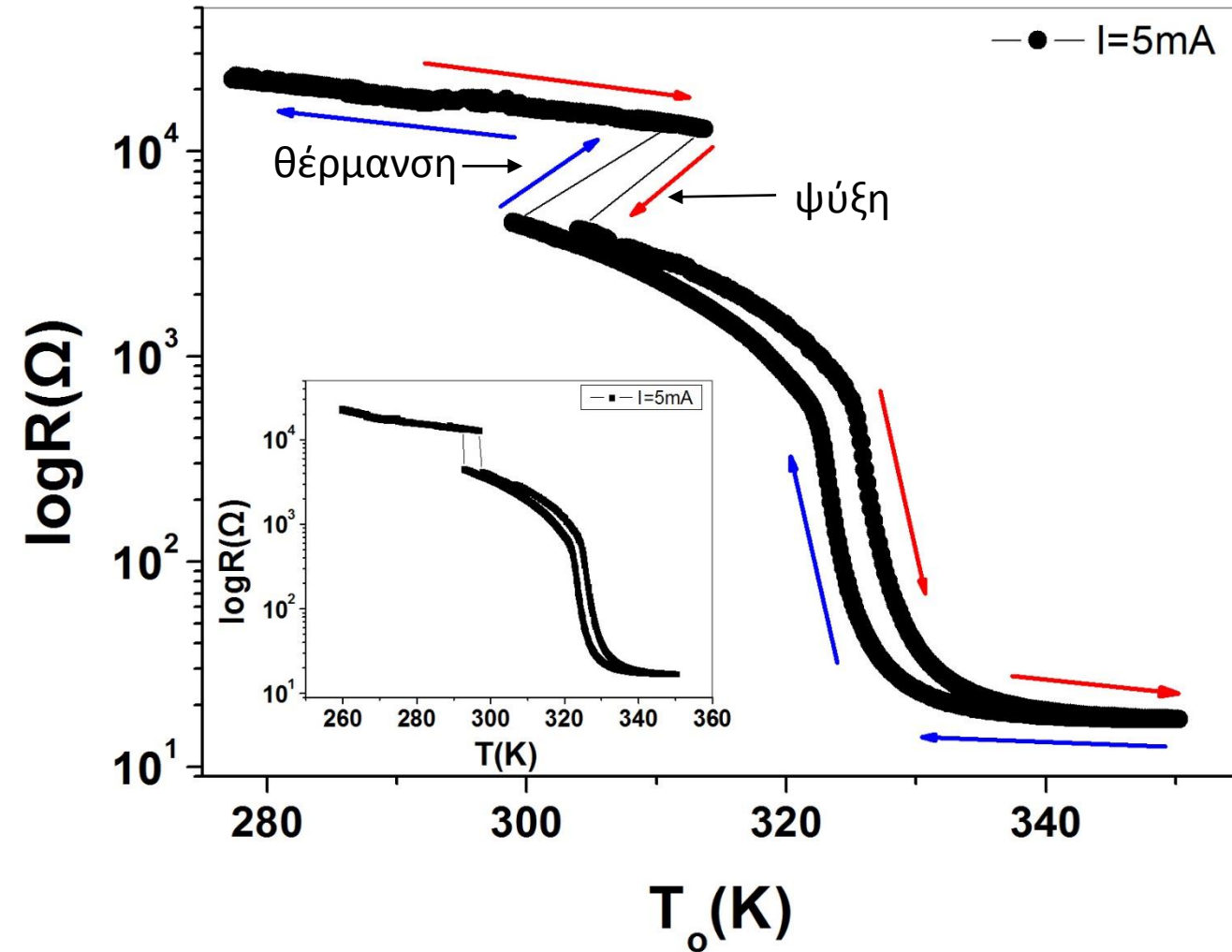
VO₂ σε γυαλί: Επίδραση ρεύματος στην MIT



- ❖ $\Delta R/R_0 \approx 2.5$ τάξεις μεγέθους
- ❖ $\Delta \text{Transmittance} (\lambda=1550 \text{ nm}) \approx 45\%$
- ❖ $T_{\text{MIT}} = 347 \text{ K}$, Πλάτος βρόγχου $\approx 5 \text{ K}$ ($I < 500 \mu\text{A}$)

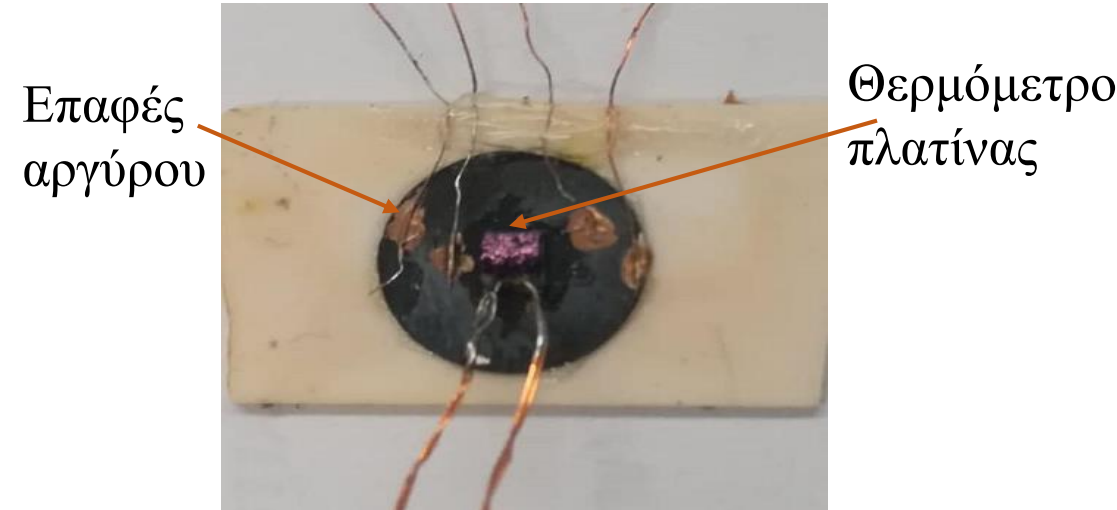
- ❖ $I \geq 500 \mu\text{A}$:
 - Μικρή μείωση της $T_{\text{MIT}} \approx 327 \text{ K}$
 - Διαπλάτυνση βρόγχου

Αποτελέσματα ηλεκτρικής αντίστασης σε $275 \text{ K} < T < 350 \text{ K}$ με μέτρηση της θερμοκρασίας (στο κέντρο) του δείγματος



T_0 : Θερμοκρασία δείγματος
 T : Θερμοκρασία διάταξης

Layer VO_2 πάχους $\approx 10\mu\text{m}$ σε Y-ZrO_2



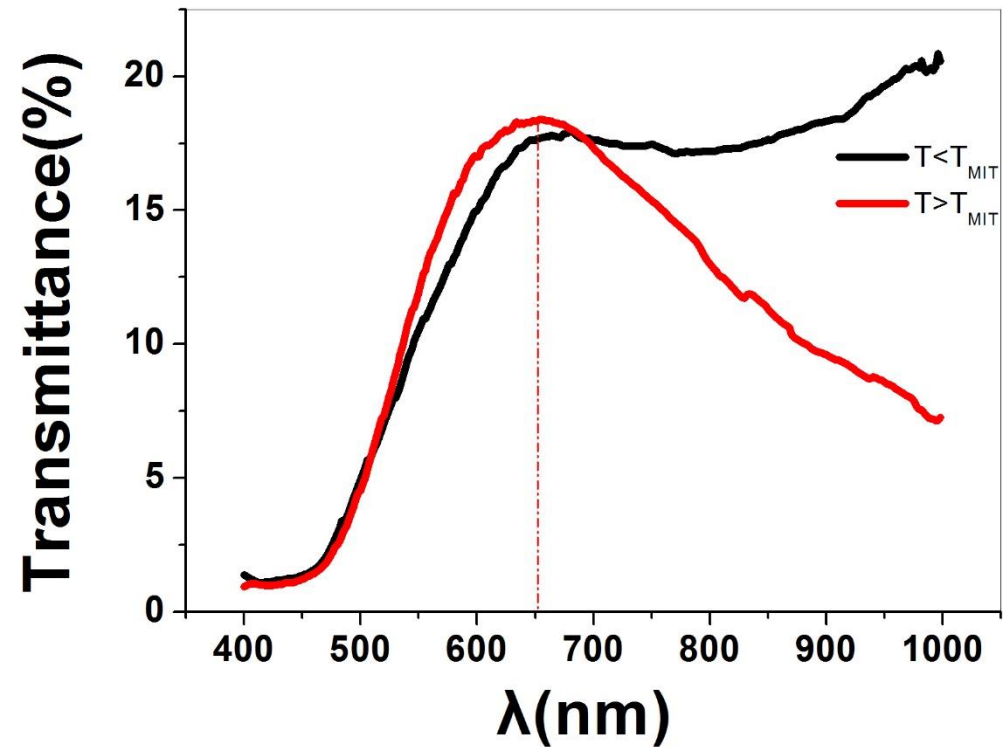
Πρόσληψη λανθάνουσας θερμότητας \Leftrightarrow Ψύξη δείγματος

Έκλυση λανθάνουσας θερμότητας \Leftrightarrow Θέρμανση δείγματος

MIT και SPT πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σε μέρος του δείγματος

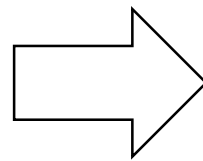
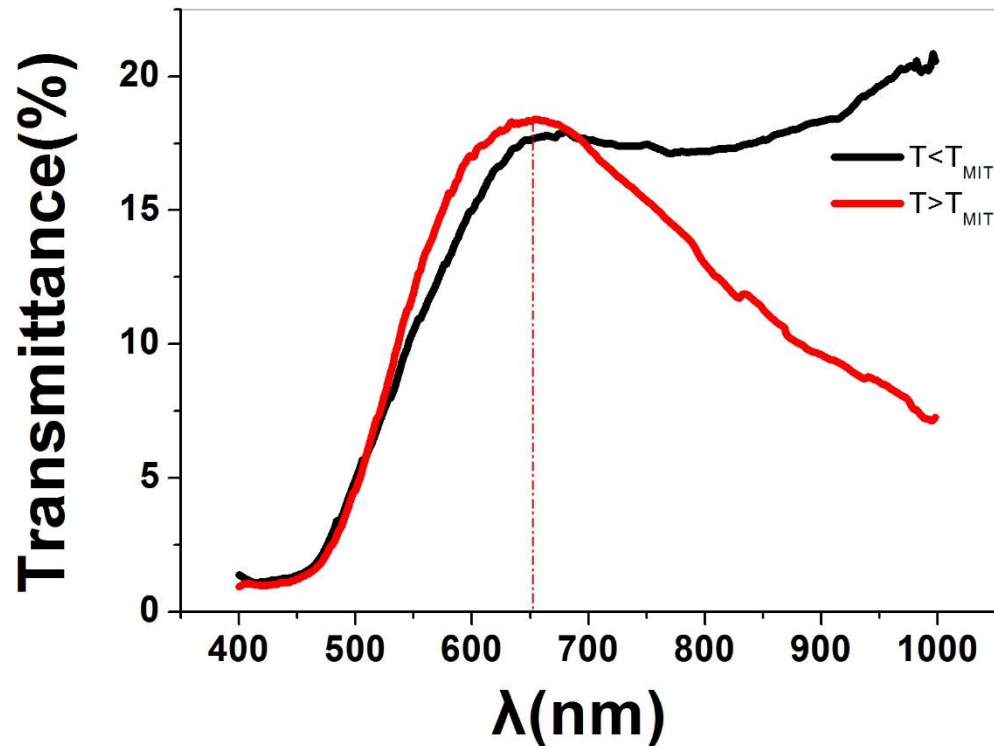
Μέτρηση Οπτικής διαπερατότητας στην περιοχή 400-1000nm σε $T=300\text{K}$ και $T=370\text{K}$

VO_2 σε γυαλί

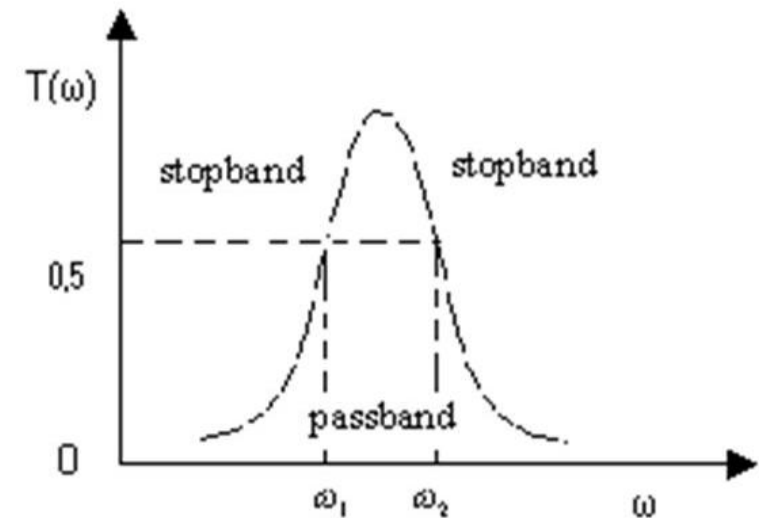


Μέτρηση Οπτικής διαπερατότητας στην περιοχή 400-1000nm σε $T=300\text{K}$ και $T=370\text{K}$

VO_2 σε γυαλί



Ζωνοπερατό
φίλτρο



VO_2 (οπτικό ζωνοπερατό φίλτρο) \Rightarrow Αύξηση Signal-to-Noise Ratio

Βελτίωση χρήσης λεπτών υμενίων VO_2 ως οπτικά φίλτρα:
Τροποποίηση της γεωμετρίας ή/και της χημικής τους σύστασης

Σύνοψη

- Εναποτέθηκαν λεπτά υμένια V_2O_5 με την μέθοδο PVD και ανάχθηκαν σε υμένια $VO_2(M)$ υπό συνθήκες ροής N_2 . Τα υμένια αυτά χαρακτηρίστηκαν υψηλής πύοτητας με βάση τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών και οπτικών μετρήσεων.
- Η ροή του ρεύματος I τροποποιεί την MIT: Η διαπλάτυνση του βρόγχου υστέρησης αποτυπώνεται τόσο στην ηλεκτρική όσο και στην οπτική απόκριση. Θεωρείται πιθανό η τροποποίηση αυτή να οφείλεται, εν μέρει, στην επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου.
- Η εξάρτηση της οπτικής διαπερατότητας των υμενίων VO_2 από το μήκος κύματος, φαίνεται να ευνοεί την χρήση τους ως ζωνοπερατά φίλτρα στην περιοχή των οπτικών επικοινωνιών.

Επόμενα βήματα:

α) Διερεύνηση της επίδρασης του ηλεκτρικού πεδίου στην MIT

β) Μελέτη της επίδρασης προσμίξεων στις ηλεκτρικές και οπτικές ιδιότητες λεπτών υμενίων $(V,M)O_2$ ($M=Fe\dots$) στην περιοχή της MIT

Ερευνητική δραστηριότητα

Διεθνή συνέδρια

- ❖ D.K. Manousou, A.N. Stassinakis, E. Syskakis, H.E. Nistazakis*, G.S. Tombras, Ch.K. Volos, A.D. Tsigopoulos, Hector E. Nistazakis, 7th International Conference, IEEE - MOCAS 2018, “*Estimation of the influence of Vanadium Dioxide Optical Filters for the Performance of Visible Light Communication Systems*”, 7-9 Μαΐου 2018, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
- ❖ D. K. Manousou, S. Gardelis, E. Syskakis, A.N. Stassinakis, H.E. Nistazakis, 7th International Conference Micro & Nano 2018, “*VO₂ thin films prepared by reduction of PVD - deposited V₂O₅ on transparent substrates: Electrical, optical properties around SMT and relevant applications*” 5-7 Νοεμβρίου 2018, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

Πανελλήνια συνέδρια

- ❖ D. K. Manousou, A. Theodorou, S. Gardelis, and E. Syskakis, XXXIII Panhellenic Conference on Solid State Physics and Materials Science, “*Electrical and optical properties of VO₂ thin films prepared by reduction of PVD-deposited V₂O₅ on transparent substrates*”, 17 - 19 Σεπτεμβρίου 2018, Λευκωσία, Κύπρος

Δημοσίευση

- ❖ D. K. Manousou, A.N. Stassinakis, E. Syskakis, H.E. Nistazakis, G.S. Tombras, “*Estimation of the influence of Vanadium Dioxide Optical Filters for the Performance of Visible Light Communication Systems*”, International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies - IEEE MOCAS 2018, DOI:10.1109/MOCAS.2018.8376653

Ευχαριστίες

Τριμελής Επιτροπή:

Συσκάκης Εμμανουήλ, Επ. Καθηγητής Τμ. Φυσικής, ΕΚΠΑ

Γαρδέλης Σπυρίδων, Αν. Καθηγητής Τμ. Φυσικής, ΕΚΠΑ

Λυκοδήμος Βλάσσης, Επ. Καθηγητής Τμ. Φυσικής, ΕΚΠΑ

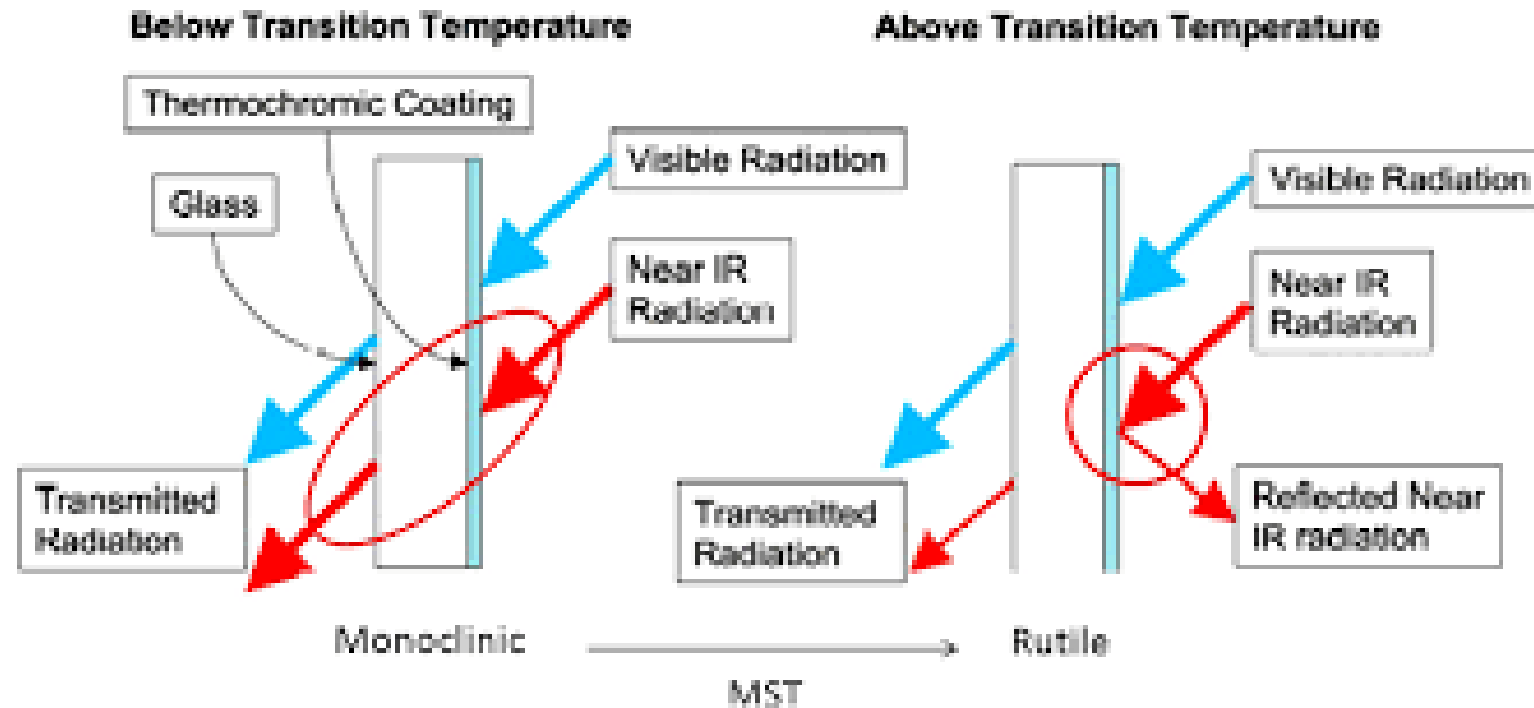
Συνεργάτες:

Νισταζάκης Έκτορας, Αν. Καθηγητής Τμ. Φυσικής, ΕΚΠΑ

Στασινάκης Αργύρης, PHD

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Smart windows



- Μείωση T_{MIT}
- Αύξηση οπτικής διαπερατότητας στο ορατό
- Μείωση διαπερατότητας στο υπέρυθρο