

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διεύθυνση: Τ.Θ.141, 57400 Θεσσαλονίκη

Τηλ: 2310-791635, Fax: 2310-791622, E-mail: drapakos@el.teithe.gr

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

“Σχεδιασμός και μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τρανζίστορ λεπτών υμενίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (TFTs)”

Δημήτριος Παπακώστας

Νικόλαος Παπαδόπουλος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2007

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΘΗΚΕ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ**

Τίτλος Ερευνητικού προγράμματος: Σχεδιασμός και μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τρανζίστορ λεπτών υμενίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (TFTs).

Συνεργαζόμενα Τμήματα: Ηλεκτρονικής

Επιστημονικά Υπεύθυνος: Δημήτριος Παπακώστας

Επιστημονικοί συνεργάτες: -

Εξωτερικοί επιστημονικοί συνεργάτες:

Όνομα: Νικόλαος Παπαδόπουλος, Θέση: Υποψ. Διδάκτορας ΑΠΘ,

Ειδικότητα: Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών

Απασχοληθέντες φοιτητές: -

Διάρκεια Ερευνητικού Προγράμματος: Δώδεκα (12) μήνες – από 1/4/2006 ως 31/3/2007.

Ποσό χρηματοδότησης Επιτροπής Ερευνών: 6.500€.

Δημοσιεύσεις/παρουσιάσεις εργασιών:

N. P.Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis, S. Siskos, “*Estimating the influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region*”, Proc. 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conf., MELECON 06, pp. 161-164, Benalmadena (Malaga), Spain, 16-19 May 2006.

N. P.Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis, S. Siskos, “*Modeling the impact of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region*”, Proc. IEEE Int. Symp. on Circuits & Systems, ISCAS2006, pp. 429-432, Island of Kos, Greece, 21-24 May 2006.

N. P.Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis, S. Siskos, “*Spice Model for the simulation of the Light impact on the performance of polycrystalline Thin-Film Transistors*”, Proc. XXI Conf. on Design of Circuits and Integrated Systems, DCIS 06, Barcelona, Spain, November 22-24, 2006.

N. P.Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis, S. Siskos, “*Modeling the impact of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region*”, Microelectronics Journal, Vol. 37, No. 11, pp. 1313-1320, November 2006.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΔΟΥ	12
3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ	15
4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	19
5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	22
6. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	23
7. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	24
8. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	28
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	31
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	32
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Δημοσιευμένες εργασίες	34

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Σχεδιασμός και μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τρανζίστορ λεπτών υμενίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (TFTs)

(Δημήτριος Παπακώστας, Νικόλαος Παπαδόπουλος)

Το αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος ήταν η μελέτη του επηρεασμού του φωτός στο ρεύμα των πολυκρυσταλλικών τρανζίστορ λεπτού υμενίου. Η μοντελοποίηση της αύξησης του παραγόμενου ρεύματος, που είναι αποτέλεσμα της αυξημένης ευαισθησίας του στο φως, βασιζόμενο σε επανειλημμένες μετρήσεις για διαφορετικές τιμές των τάσεων Πύλης (V_g) και Εκροής (V_d) ως προς την γείωση (V_{ss}) και διαφόρων μεγεθών (W/L) είναι το περιεχόμενο της ερευνητικής προσπάθειάς μας. Το μοντέλο που προέκυψε έχει επαληθευτεί και έρχεται σε συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα με μεγάλη επιτυχία ώστε να περιγράφει ικανοποιητικά την συμπεριφορά του τρανζίστορ στην περιοχή κάτω από το κατώφλι για αυξανόμενη ένταση φωτός.

Το αποτέλεσμα της μεταβολής αυτής αντικατοπτρίζεται στο ρεύμα της υποδοχής (I_d), αυξάνοντάς το. Η απόδοση των τρανζίστορ λεπτού υμενίου, στις προαναφερθείσες συνθήκες και η επίδραση των συνθηκών αυτών στο ρεύμα μελετήθηκαν και διασταυρώθηκαν και πειραματικά. Η προκύπτουσα εξίσωση δίνει το λόγο του ρεύματος για τον επιθυμητό φωτισμό προς το ρεύμα σε πλήρες σκοτάδι, μια έκφραση που μπορεί εύκολα να φανεί χρήσιμη.

Παρουσιάζονται αναλυτικά μετρήσεις χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου για διάφορα μεγέθη τρανζίστορ και υπό διαφορετικές πολώσεις. Στην συνέχεια δίνεται ο επηρεασμός της κινητικότητας των φορέων του φράγματος δυναμικού του ορίου των κόκκων από

τον φωτισμό και άλλων βασικών παραμέτρων, και στο τέλος δίνεται και η προκύπτουσα έκφραση του μοντέλου.

Αφού παρουσιάστηκε ένα μαθηματικό-ημιεμπειρικό μοντέλο για την επίδραση του φωτός στα τρανζίστορ λεπτού υμενίου, έπειτα παρουσιάζεται η χρήση του μοντέλου αυτού στον προσομοιωτή κυκλωμάτων SPICE, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν απλό χρήστη για την μελέτη πολύπλοκων κυκλωμάτων υπό την επίδραση φωτός. Η σωστή λειτουργία του διασταυρώνεται και με πειραματικά αποτελέσματα.

Ακολουθεί η παρουσίαση του προτεινόμενου κυκλωματικού μοντέλου για χρήση με το SPICE μαζί με κάποια συγκριτικά πειραματικά αποτελέσματα αλλά και αποτελέσματα που λαμβάνονται με τη χρήση του μοντέλου σε SPICE και MATLAB. Τέλος, ένα παράδειγμα χρήσης του κυκλωματικού μοντέλου σε ένα τυπικό κύκλωμα παρουσιάζεται για την περαιτέρω κατανόηση του από τον χρήστη.

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Σχεδιασμός και μελέτη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με τρανζίστορ λεπτών υμενίων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (TFTs)

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Δημήτριος Παπακώστας, Νικόλαος Παπαδόπουλος

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος που μας απασχόλησε ήταν η μελέτη του επηρεασμού του φωτός στο ρεύμα των πολυκρυσταλλικών τρανζίστορ λεπτού υμενίου (TFT). Η μοντελοποίηση της αύξησης του παραγόμενου ρεύματος, που είναι αποτέλεσμα της αυξημένης ευαισθησίας του στο φως, βασιζόμενο σε επανειλημμένες μετρήσεις για διαφορετικές τιμές των τάσεων Πύλης (V_g) και Εκροής (V_d) ως προς την γείωση (V_{ss}) και διαφόρων μεγεθών (W/L) είναι το περιεχόμενο της ερευνητικής προσπάθειάς μας. Το μοντέλο που προέκυψε έχει επαληθευτεί και έρχεται σε συμφωνία με τα πειραματικά δεδομένα με μεγάλη επιτυχία ώστε να περιγράφει ικανοποιητικά την συμπεριφορά του τρανζίστορ στην περιοχή κάτω από το κατώφλι για αυξανόμενη ένταση φωτός.

Ο επηρεασμός των πολυκρυσταλλικών τρανζίστορ λεπτού υμενίου από την ακτινοβολία φωτός είχε μελετηθεί από διάφορους μελετητές αρκετά χρόνια πριν [1,2]. Έχει αποδειχθεί ότι, υπό την παρουσία φωτός, βασικοί παράμετροι όπως το φράγμα δυναμικού στα όρια των κόκκων (grain boundaries GB), η κινητικότητα, η ταχύτητα ανασύνδεσης στα όρια κόκκων, ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας και το μήκος της διάχυσης μεταβάλλονται. Το αποτέλεσμα της μεταβολής αυτής αντικατοπτρίζεται στο ρεύμα της υποδοχής (I_d), αυξάνοντάς το. Η απόδοση τους, στις προαναφερθείσες συνθήκες, και η επίδραση των συνθηκών αυτών στο ρεύμα μελετήθηκαν και διασταυρώθηκαν και πειραματικά. Η προκύπτουσα εξίσωση δίνει το λόγο του ρεύματος για τον επιθυμητό φωτισμό προς το ρεύμα σε πλήρες σκοτάδι, μια έκφραση που μας βολεύει πολύ στην παρούσα φάση.

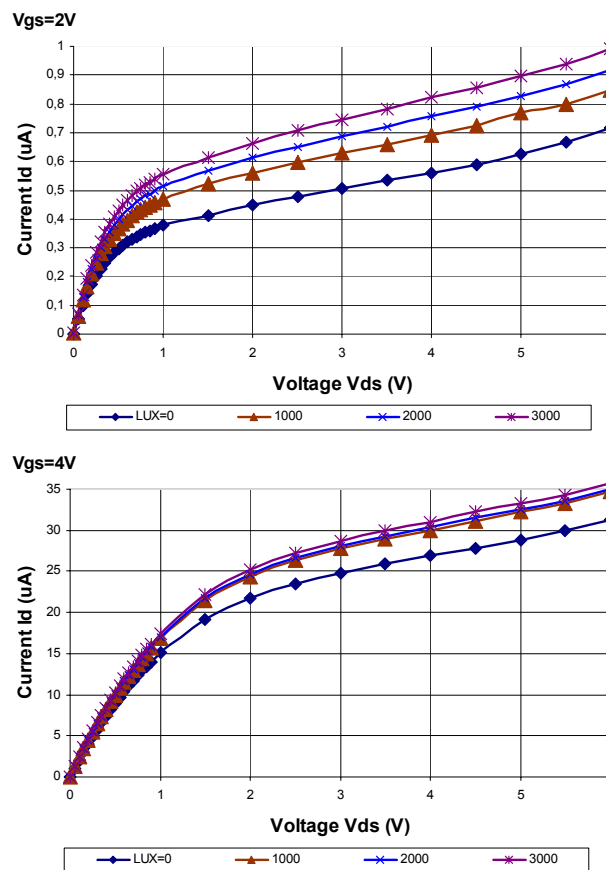
Παρακάτω, αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά μετρήσεις χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου για διάφορα μεγέθη τρανζίστορ και υπό διαφορετικές πολώσεις. Στην συνέχεια δίνεται ο επηρεασμός της κινητικότητας των φορέων του φράγματος δυναμικού του ορίου των κόκκων από τον φωτισμό και άλλων βασικών παραμέτρων, και στο τέλος δίνεται και η προκύπτουσα έκφραση του μοντέλου.

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΔΟΥ

Τα πολυκρυσταλλικά τρανζίστορ λεπτού υμενίου κατασκευάστηκαν πάνω σε στερεής φάσης (solid-phase) πολυκρυσταλλικό υπόστρωμα (πάχους 48nm) , ακτινοβολημένο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από KrF λέιζερ (laser) ενέργειας 260mJ/cm². Στην συνέχεια μια συγκεκριμένη διαδικασία κατασκευής αυτορυθμιζόμενων ημιαγωγών για την παραγωγή συσκευών πλάτους πύλης $W= 100$, 50 και 10 μm και μήκους $L=10$, 20 και 50 μm σε διάφορους συνδυασμούς χρησιμοποιήθηκε. Σαν μονωτικό πύλης χρησιμοποιήθηκε Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO₂) πάχους 120nm που αποτέθηκε με ECR-PECVD στους 100 βαθμούς Κελσίου. Περισσότερες λεπτομέρειες για την κατασκευή μπορούν να βρεθούν σε άλλες εργασίες [4, 5].

Τις χαρακτηριστικές εξόδου (ρεύμα εκροής I_d προς διαφορά τάσης εκροής πηγής V_{ds} για διάφορες τιμές της διαφοράς τάσης Πύλης Πηγής V_{gs}) τις βλέπετε στο σχήμα 1α για $V_{gs}=2$ και 4V και διαφορετικούς φωτισμούς που κυμαίνονται από 0 σε 3000LUX (συγκεκριμένα : 0 , 1000 , 2000 και 3000 LUX). Είναι, αμέσως, διακριτός ο επηρεασμός του ρεύματος από την αλλαγή του φωτισμού και συγκεκριμένα με την αύξηση του V_{gs} έχουμε μείωση της επιρροής. Για $V_{gs}<3V$ η προσαύξηση του ρεύματος (από το πλήρες σκοτάδι στα

5000LUX) μπορεί να φτάσει το 50%. Για $V_{gs}=4V$, η προσαύξηση του ρεύματος αγγίζει μόλις το 9%.

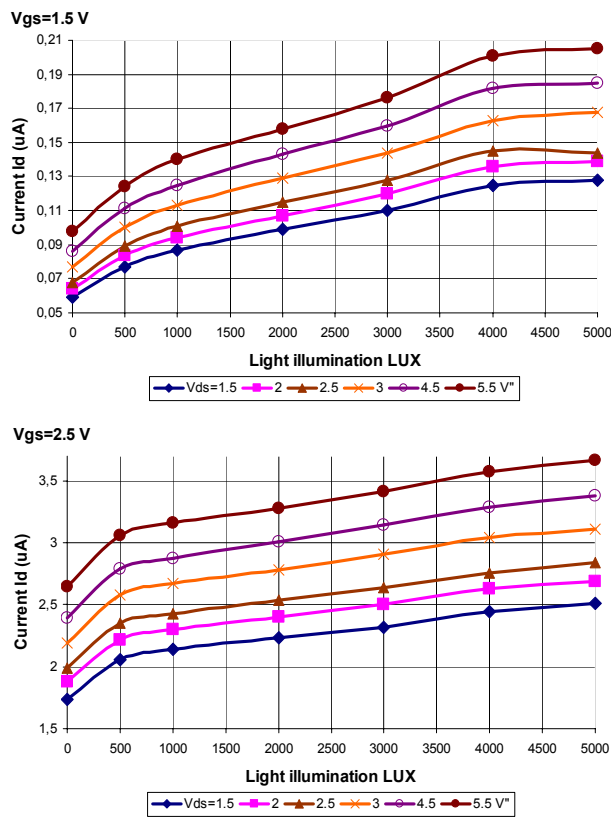


Σχήμα 1. Χαρακτηριστικές Εξόδου για τρανζίστορ $W/L=100/10\mu m$

Μετρήσεις που έγιναν για μεγαλύτερες τιμές V_{gs} ($=5, 6, 7V$) δείχνουν ότι η επιρροή του φωτός καταλήγει να είναι μηδαμινή. Για αυτό η μελέτη μας επικεντρώθηκε στην περιοχή κάτω από το κατώφλι, για χαμηλές δηλαδή τιμές της τάσης V_{gs} ($<4V$).

Η μεταβολή του ρεύματος εκροής I_d με την αλλαγή της έντασης φωτισμού (σε LUX) φαίνεται στα σχήματα 2 για τιμές $V_{gs} = 1.5V$ και $V_{gs} = 2.5V$ και για διάφορες τιμές της V_{ds} (1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5 V) και για τρανζίστορ μεγέθους $W/L=100/10\mu m$. Είναι φανερό ότι η μεταβολή του ρεύματος είναι διαφορετικής μορφής για τα δυο V_{gs} ,

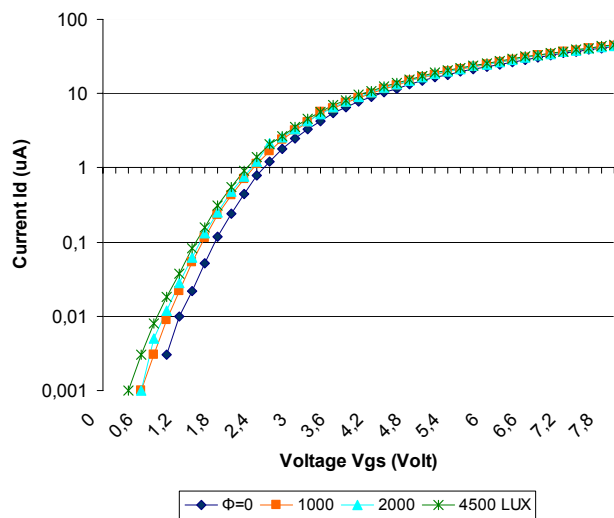
όχι γραμμικής που κάποιος θα μπορούσε αρχικά να υποθέσει έχοντας μόνο μέρος των μετρήσεων. Επιπλέον, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, ήταν αδύνατη η ακριβής προσομοίωση του ρεύματος στο πλήρες σκοτάδι (I_{dark}) με τα γνωστά μοντέλα για TFT. Για να ξεπεραστεί η δυσκολία, που πρακτικά δεν μειώνει την γενικότητα και δεν επηρεάζει την ανάπτυξη του μοντέλου μας αφού ουσιαστικά μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε μοντέλο λόγω της πολλαπλασιαστικής σχέσης που τελικά θα καταλήξουμε, θα μοντελοποιηθεί ο λόγος I_d/I_{dark} συναρτήσει της έντασης φωτισμού Φ , των πολώσεων V_{gs} , V_{ds} και της επιφάνειας του τρανζίστορ $W \times L$.



Σχήμα 2: Ρεύμα εκροής ως προς φωτισμό για διάφορα V_{ds} για TFT $W/L=100/10\mu\text{m}$

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

Στο σχήμα 3 φαίνονται οι χαρακτηριστικές μεταφοράς (ρεύμα εκροής ως προς διαφορά τάσης Πύλης πηγής για διαφορά τάσης εκροής πηγής $V_{ds}=0.5V$) για ένα τυπικό τρανζίστορ λεπτού Υμενίου ($W/L=100/10\mu m$) για διάφορες εντάσεις φωτισμού ($\Phi=0, 1000, 2000, 5000$ LUX). Με την ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών, που όπως είπαμε προκύπτουν από πειραματικές μετρήσεις, μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση της επιρροής του φωτός στην κινητικότητα φορέων μ_{eff} των TFT.



Σχήμα 3:Χαρακτηριστική Μεταφοράς για TFT $W/L=100/10\mu m$

Το ρεύμα εκροής ενός τρανζίστορ λεπτού Υμενίου στην γραμμική περιοχή μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση [6] :

$$I_d = \frac{W}{L} \mu_{eff} C_{ox} (V_g - V_{inv}) V_d \quad (1)$$

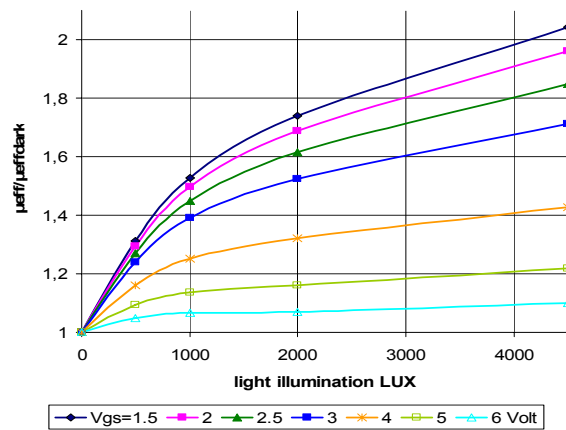
όπου το C_{ox} είναι η χωρητικότητα πύλης ανά μονάδα επιφάνειας και V_{inv} είναι η τάση αναστροφής φορτίου. Έχοντας κατά νου μια διάταξη από τετράγωνους κόκκους, όπου το ρεύμα μπορεί να περνάει είτε

διαμέσου των ορίων των κόκκων είτε διαμέσου των κόκκων και κάθετα στα όρια τους, η ενεργή κινητικότητα φορέων μ_{eff} , εξαρτώμενη από το φράγμα δυναμικού των ορίων των κόκκων, δίνεται από τις σχέσεις [6]:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_{gi}}{1 + \frac{w}{L_g} \frac{qV_b}{kT}} \frac{L_{gb}}{L_g} m_{gbII} \quad (2)$$

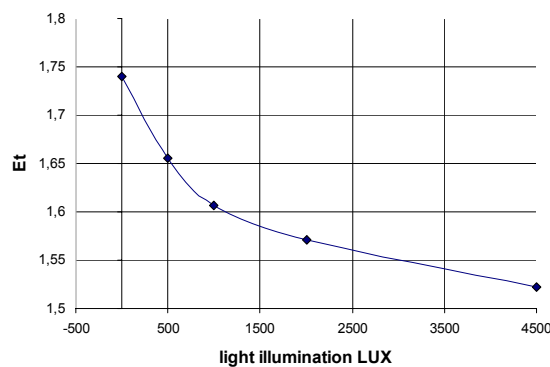
$$qV_b = \frac{0.56}{1 + \frac{q(V_g - V_{inv})}{Et}} \quad (3)$$

όπου τα μ_{gi} και μ_{gb} είναι οι κινητικότητες των φορέων στην εσωτερική περιοχή του κόκκου και κατά μήκος του ορίου του κόκκου, w είναι το πλάτος της περιοχής διάχυσης στα όρια των κόκκων, L_{gb} είναι ο μέσος όρος του πλάτους των ορίων των κόκκων και έχει συγκεκριμένη τιμή στα 2nm, L_g είναι το κατά μέσο όρο πλάτος των κόκκων του πολυκρυσταλλικού υποστρώματος και το Et είναι μια παράμετρος που μας δίνει ουσιαστικά την ποιότητα του πολυκρυσταλλικού υλικού.

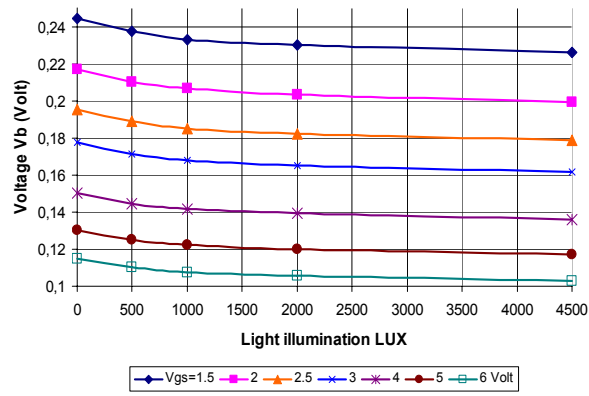


Σχήμα 4: ο λόγος κινητικότητας χωρίς φως και με Φως για TFT W/L=100/10μm και διάφορες τιμές Vgs.

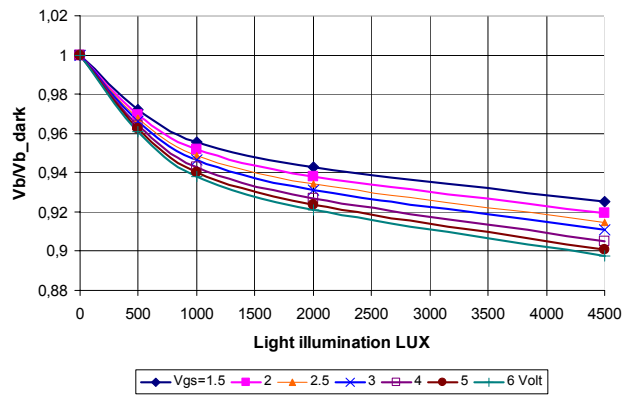
Με την χρήση των εξισώσεων (1) ως (3) για τα πειραματικά μας δεδομένα είμαστε σε θέση να πάρουμε εικόνα για τις παραμέτρους V_{in} , E_t , $\mu_{gb//}$, μ_{gi} και τις ενεργούς κινητικότητας μ_{eff} . Στην παραπάνω σχέση, κοιτάζοντάς την αναλυτικά, περιμένουμε να επηρεάζεται η ενεργή κινητικότητα από την ένταση του φωτός διαμέσου του φράγματος δυναμικού V_b . Βασιζόμενοι λοιπόν στις μετρήσεις μας και τις τεχνολογικές παραμέτρους των εν λόγω μελετούμενων TFT, υπολογίζουμε την μεταβλητή μ_{eff} για διάφορες τιμές της έντασης φωτός. Ο λόγος της ενεργούς κινητικότητας για συγκεκριμένη τιμή έντασης φωτός ως προς την ενεργό κινητικότητα στο πλήρες σκοτάδι ($\mu_{eff} / \mu_{eff_dark}$) συναρτήσει του φωτός φαίνεται στο σχήμα 6α. Εδώ φαίνεται λοιπόν ότι η επιρροή του φωτός στο TFT είναι μεγαλύτερη για μικρές πολώσεις V_{gs} και μικραίνει όσο μεγαλώνει η πόλωση. Για παράδειγμα, για $V_{gs}=1.5V$ μπορούμε να δούμε ότι η ενεργή κινητικότητα σχεδόν διπλασιάζεται για ένταση φωτισμού κοντά



Σχήμα 5: Η Ποιότητα του πολυκρυσταλλικού υλικού για ένα TFT 100/10 μm

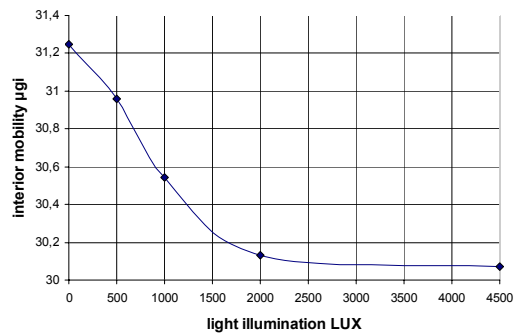


(α)



(β)

Σχήμα 6: (α) Η τάση V_b του TFT για $W/L=100/10\mu m$, (β) και ο λόγος του ως προς το V_b για πλήρες σκοτάδι, για διάφορες εντάσεις Φωτισμού.



Σχήμα 7: Η κινητικότητα στην εσωτερική περιοχή των κόκκων ενός TFT για $W/L=100/10\mu m$.

στα $\Phi=4000$ LUX, ενώ αυξάνεται μόνο κατά 40% για $V_{gs}=4V$. Επίσης μπορούμε να δούμε την επιρροή της έντασης του φωτός στις παραμέτρους E_t, V_b και μ_g στα σχήματα 5, 6α και 7.

4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στις μετρήσεις εξόδου που έγιναν, για V_{ds} μέχρι 6V, για V_{gs} μέχρι 4V και για ένταση φωτισμού που φτάνει μέχρι και 5000 LUX, βασίστηκε η δημιουργία του μοντέλου επηρεασμού του ρεύματος εκροής από την ένταση φωτισμού. Όπως αναφέραμε και αρχικά ο λόγος (I_d/I_{dark}) του ρεύματος για κάποια ένταση ως προς το ρεύμα σε πλήρες σκοτάδι είναι αυτό που μελετήθηκε διεξοδικά χρησιμοποιώντας το λογισμικό TableCurve 2D για την ανάλυση των προκύπτουσων πειραματικών καμπυλών. Μετά από κάποιες απλοποιήσεις προέκυψε η παρακάτω μορφή:

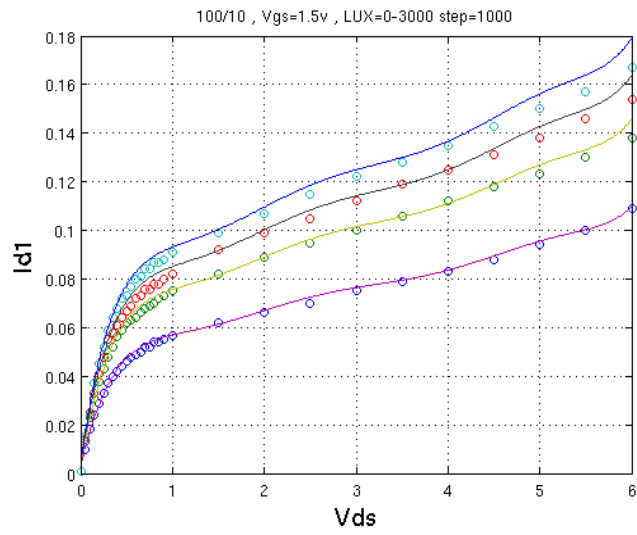
$$\frac{I_d}{I_{dark}} = 1.0175 \cdot e^{\left(-5.4 \cdot 10^{-5} \cdot V_{DS}^3 + A \cdot \sqrt{\Phi} \cdot V_{GS}^{-1.658}\right)} \quad (4)$$

όπου:

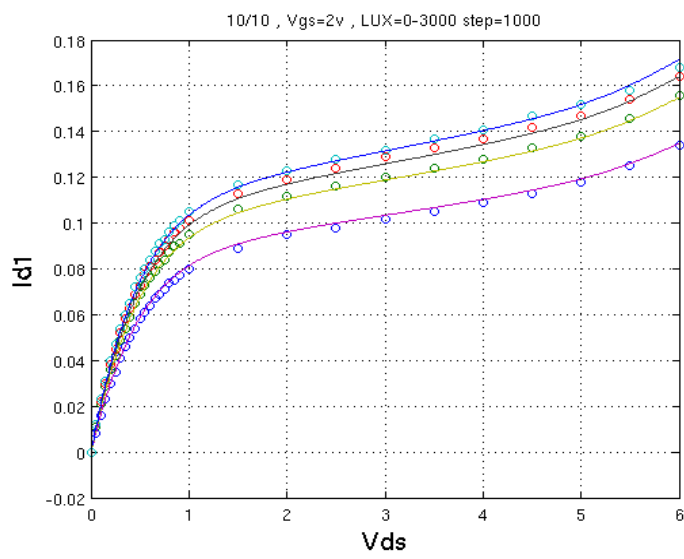
$$A = 0.0134 \square 4.12 \square 10^{-6} \square W \square L \quad (5)$$

και το Φ είναι εκφρασμένο σε LUX.

Η ευκόλως υπολογιζόμενη αναλογία $f = I_d / I_{dark}$ μπορεί να εφαρμοστεί εφόσον πληρεί όλες τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις λειτουργίας και εφόσον φυσικά είναι γνωστό, με κάποιο τρόπο, το ρεύμα (εκροής) σε πλήρες σκοτάδι για το μελετώμενο τρανζίστορ λεπτού Υμενίου (TFT) είναι πλέον θέμα απλών υπολογισμών, που μπορούν να γίνουν με οποιοδήποτε μαθηματικό εργαλείο (π.χ. Matlab), ο υπολογισμός του ρεύματος του εν λόγω τρανζίστορ για

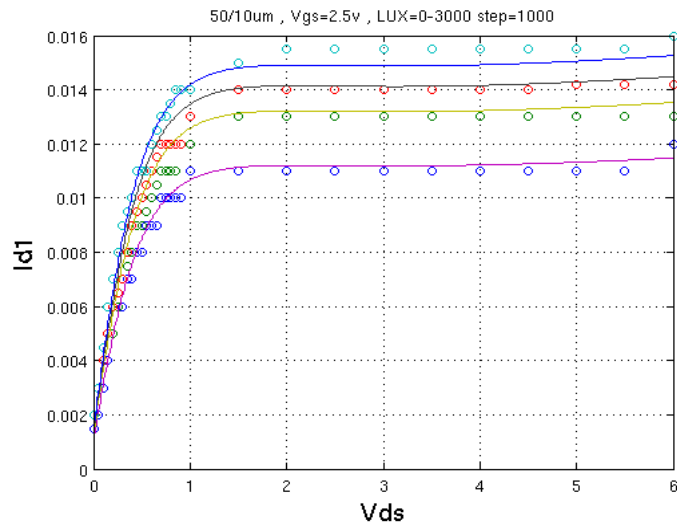


(α)

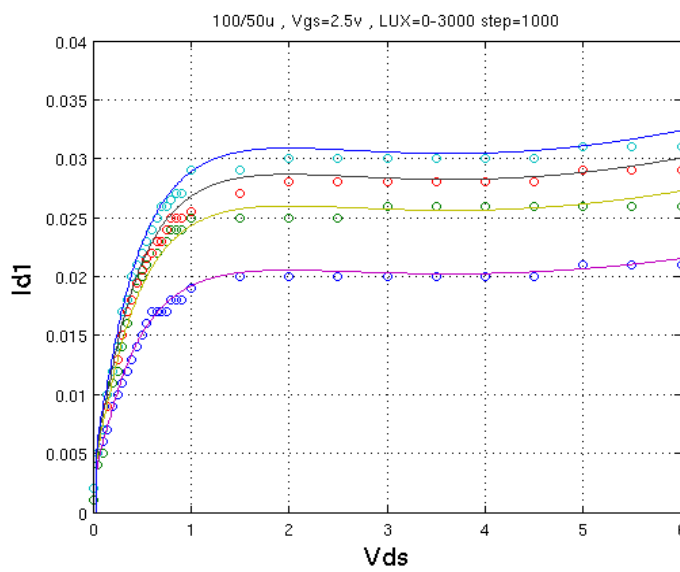


(β)

Σχήμα 8: Χαρακτηριστικές Εξόδου για (α) $V_{gs}=1.5V$ και $W/L=100/10\mu m$, (β) $V_{gs}=2V$ και $W/L=10/10\mu m$.



(α)



(β)

Σχήμα 9: Χαρακτηριστικές Εξόδου για (α) $V_{gs}=2.5V$ και $W/L=100/50\mu m$, (β) $V_{gs}=2.5V$ και $W/L=50/50\mu m$.

διάφορες εντάσεις φωτισμού. Επίσης αξίζει να επισημανθεί ότι η παράμετρος A (που είναι συντελεστής στην ένταση φωτισμού) είναι ανάλογο της περιοχής, του εμβαδού, του πυριτίου που καταλαμβάνεται από το τρανζίστορ.

Για την επαλήθευση του “μοντέλου Φωτισμού” για τα TFT χρησιμοποιήθηκε ένα μαθηματικό εργαλείο, συγκεκριμένα το Matlab. Το πρόβλημα έλλειψης μιας σχέσης που να επαληθεύει τα πειραματικά μας δεδομένα για το πλήρες σκοτάδι ξεπεράστηκε μαθηματικά με την χρήση ενός πολυωνύμου μεγάλου βαθμού, ώστε η ταύτιση να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη και να μην εισάγει αποκλίσεις, που προέκυψε χωριστά για κάθε κατάσταση με ταίριασμα στις πειραματικές μας τιμές. Αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγινε μαζί με τα πειραματικά μας δεδομένα μπορείτε να δείτε στα σχήματα 8 και 9 για διάφορα μεγέθη τρανζίστορ: 100/10 μm , 10/10 μm , 100/50 μm και 50/50 μm και για διάφορες πολώσεις.

5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάσαμε ένα μαθηματικό-ημιεμπειρικό μοντέλο για την επίδραση του φωτός στα Τρανζίστορ Λεπτού-Υμενίου. Τώρα θα παρουσιάσουμε την χρήση του μοντέλου αυτού στον προσομοιωτή κυκλωμάτων SPICE, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν απλό χρήστη του προγράμματος για την μελέτη Πολύπλοκων Κυκλωμάτων υπό την επίδραση φωτός. Η σωστή λειτουργία του διασταυρώνεται και με πειραματικά αποτελέσματα.

Όπως δείξαμε και παραπάνω ο επηρεασμός βασικών παραμέτρων, όπως το φράγμα δυναμικού στα όρια των κόκκων (grain boundaries GB), η κινητικότητα, η ταχύτητα ανασύνδεσης στα όρια κόκκων, ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας και το μήκος της διάχυσης [2,3,4], φαίνεται στην πράξη από την αύξηση του ρεύματος εκροής του Τρανζίστορ. Παρακάτω θα δείξουμε έναν απλό τρόπο για

τη χρήση του παραπάνω μοντέλου για τον προσδιορισμό της αύξησης αυτής με πολύ καλή ακρίβεια στον προσομοιωτή κυκλωμάτων SPICE. Και έτσι επεκτείνονται οι δυνατότητες μελέτης κυκλωμάτων με TFT.

Αμέσως μετά θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου, θα ακολουθήσει η παρουσίαση του προτεινόμενου κυκλωματικού μοντέλου για χρήση με το SPICE μαζί με κάποια συγκριτικά πειραματικά αποτελέσματα αλλά και αποτελέσματα που λαμβάνουμε με την χρήση του μοντέλου σε SPICE και MATLAB. Τέλος, ένα παράδειγμα χρήσης του κυκλωματικού μοντέλου σε ένα τυπικό κύκλωμα θα παρουσιαστεί για την περαιτέρω κατανόηση του από τον χρήστη.

6. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο, που προβλέπει την επίδραση του φωτός στα TFT, βασίστηκε σε μετρήσεις Χαρακτηριστικών Εξόδου που έγιναν και παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, και φαίνονται στα σχήματα 9. Όπως είπαμε και παραπάνω το μοντέλο καταλήγει σε μια αναλογία του ρεύματος με φως ως προς το ρεύμα στο σκοτάδι. Αυτή η ευκόλως υπολογιζόμενη αναλογία μπορεί να εφαρμοστεί εφόσον πληρεί όλες τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις λειτουργίας και εφόσον φυσικά είναι γνωστό, με κάποιο τρόπο, το ρεύμα εκροής σε πλήρες σκοτάδι για το μελετώμενο τρανζίστορ λεπτού Υμενίου (TFT) είναι πλέον θέμα απλών υπολογισμών, που μπορούν να γίνουν με οποιοδήποτε μαθηματικό Εργαλείο (π.χ. Matlab), ο υπολογισμός του ρεύματος του εν λόγω τρανζίστορ για διάφορες εντάσεις φωτισμού.

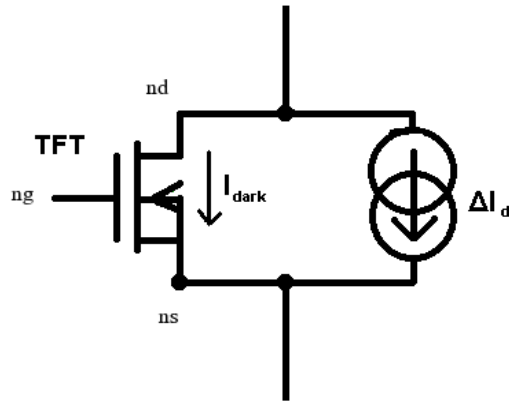
7. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η ακριβής και σωστή προσομοίωση είναι απαραίτητη για την σχεδίαση σύγχρονων και αποτελεσματικών κυκλωμάτων. Για να αναπτυχθούν νέα μοντέλα λοιπόν θα πρέπει κάθε χρήσιμο μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την συμπεριφορά ενός στοιχείου υπό διάφορες συνθήκες να γίνεται και “χειροπιαστό εργαλείο” στα χέρια ενός σχεδιαστή με εύκολο και γρήγορο τρόπο. Αυτό προσπαθήσαμε να κάνουμε και σε αυτήν εδώ την περίπτωση. Εν προκειμένω το πρόγραμμα που χρησιμοποιείτε παγκοσμίως, και θεωρείται και το πιο αξιόπιστο αυτή την στιγμή, για την προσομοίωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων είναι το H-SPICE. Επίδραση λοιπόν του φωτός στα τρανζίστορ Λεπτού-Υμενίου (TFT) προσομοιώνεται με μια εξαρτώμενη πηγή ρεύματος παράλληλα συνδεδεμένη προς την πηγή και εκροή του μελετώμενου τρανζίστορ. Ο προσομοιωτής του H-SPICE δίνει την δυνατότητα για χρήση πολύπλοκων αλγεβρικών εκφράσεων για την εξαρτημένη πηγή ρεύματος.

Με βάση την σχέση 1 το επιπρόσθετο ρεύμα που δημιουργείται από το φως δίνεται από την σχέση (6):

$$\Delta I_d = I_d - I_{dark} = I_{dark} \cdot (1.0175 \cdot \exp(-5.4 \cdot 10^{-5} V_{ds}^3 + A \frac{\sqrt{\Phi}}{(V_{gs})^{1.658}}) - 1) \quad (6)$$

Έτσι, στο προτεινόμενο μοντέλο, που φαίνεται στο σχήμα 10, το τρανζίστορ TFT παράγει το ρεύμα που θα είχε υπό την παρούσα πόλωση στο σκοτάδι. Το επιπρόσθετο ρεύμα ΔI_d λόγω της παρουσίας φωτισμού το παράγει η εξαρτημένη πηγή ρεύματος και εξαρτάται από την τιμή του ρεύματος στο σκοτάδι, και την πόλωση του τρανζίστορ V_{gs} και V_{ds} και φυσικά και από τις διαστάσεις του τρανζίστορ W και L , όπως άλλωστε κανείς διακρίνει και από την σχέση 6.



Σχήμα 10: Κυκλωματικό Μοντέλου Επίδραση Φωτός.

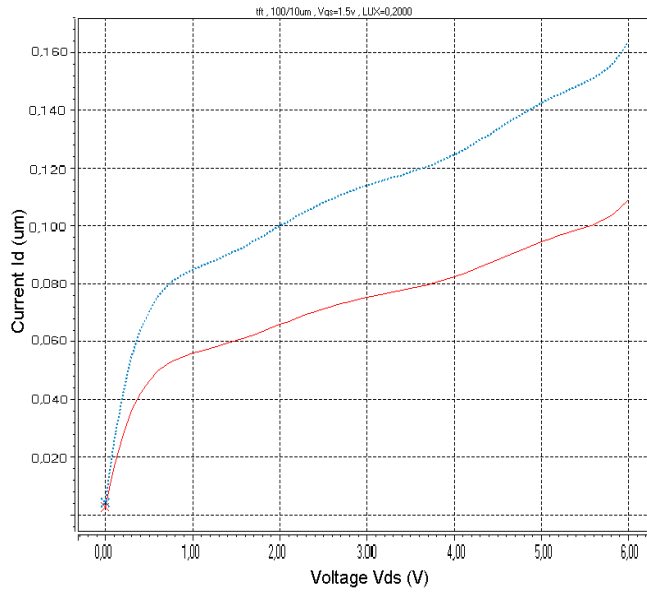
Στον προσομοιωτή του H-SPICE το προτεινόμενο μοντέλο που περιγράφει την συμπεριφορά ενός TFT με διαστάσεις $W=100\mu\text{m}$ και $L=10\mu\text{m}$ μπορεί να είναι:

```
m1 nd ng ns TFTn w = 100 u l = 10 u
```

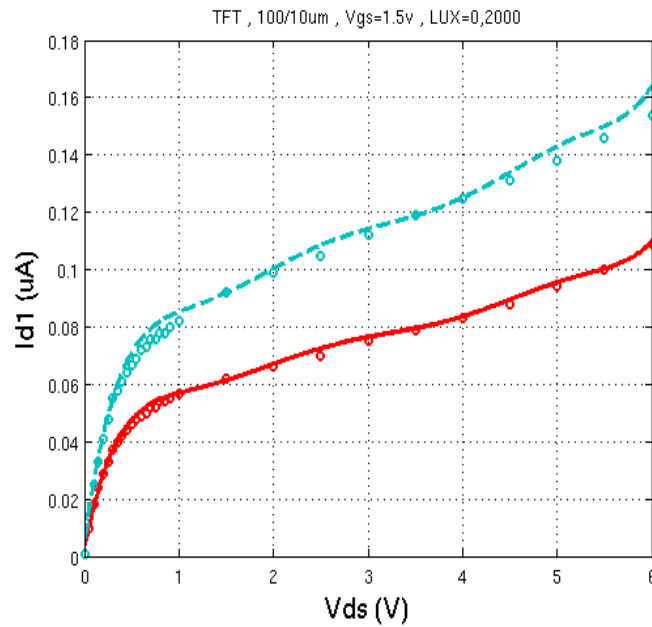
```
G1 nd ns CUR = ' i(vid) * (-1 + 1 .0175 * exp((-5 .4 e - 5) *  
(( V ( nd) - V(ns)) ** 3) + ((0 .0134 + w * l * 4 .12 e - 6) * (fws) ** (0  
.5)) / (( V ( ng) - V ( ns)) ** (1 .658))) '
```

Όπου τα ng, nd και ns είναι οι κόμβοι της πύλης, της εκροής και της πηγής του τρανζίστορ, το fws είναι το φως σε LUX και το i(vid) είναι το ρεύμα του τρανζίστορ για το σκοτάδι.

Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της εφαρμογής του εν λόγω προτεινόμενου μοντέλου για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών εξόδου μπορείτε να δείτε στα σχήματα 11 και 12. Συγκριτικά, δίνονται (στα σχήματα 11.β και 12.β) και τα αντίστοιχα που παίρνουμε από το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιώντας το MATLAB καθώς και τα πειραματικά από τις μετρήσεις. Τα TFT είναι $W/L=100/10\mu\text{m}$, και στα σχήματα είναι $V_{gs}=1.5\text{V}$ και $V_{gs}=2.5\text{V}$, αλλά και φως $\Phi=0$ και

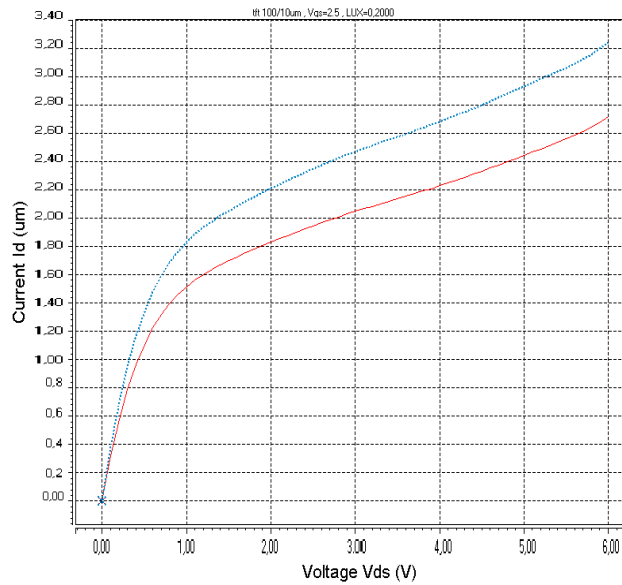


(α)

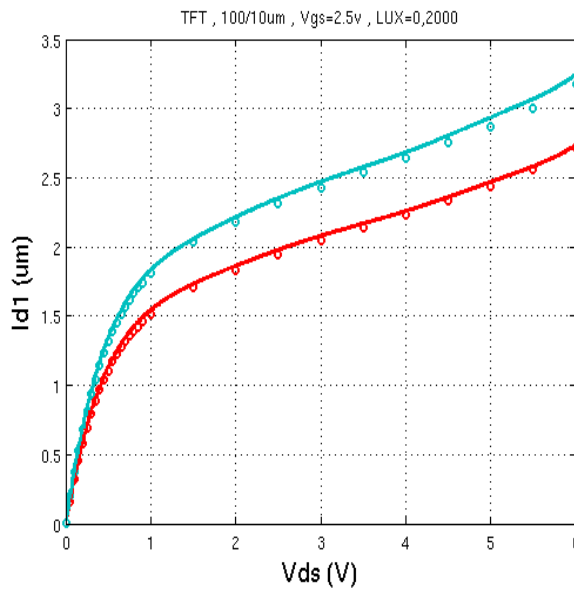


(β)

Σχήμα 11 : Χαρακτηριστική Εξόδου για $V_{gs}=1.5V$ ενός TFT με $W/L=100/10\mu m$ με (α) το κυκλωματικό μοντέλο του SPICE (β) το μαθηματικό μοντέλο και MATLAB. Τα πειραματικά δεδομένα είναι στο (β) με κυκλάκια.



(α)



(β)

Σχήμα 12 : Χαρακτηριστική Εξόδου για $V_{gs}=2.5V$ ενός TFT με $W/L=100/10\mu m$ με (α) το κυκλωματικό μοντέλο του SPICE (β) το μαθηματικό μοντέλο και MATLAB. Τα πειραματικά δεδομένα είναι στο (β) με κυκλάκια.

$\Phi=2000$ LUX. Το ρεύμα για το σκοτάδι και εδώ το υπολογίζουμε με την χρήση ενός πολυωνύμου κατόπιν μιας διαδικασίας ταύτισης με τα πειραματικά δεδομένα με την χρήση του προγράμματος Table Curve.

Όπως φαίνεται λοιπόν και από τα σχήματα 11 και 12, το προτεινόμενο κυκλωματικό μοντέλο για την πρόβλεψη της μεταβολής του ρεύματος εκροής των Τρανζίστορ Λεπτού Υμενίου προσομοιώνει εξαιρετικά την μεταβολή αυτή. Αυτό έχει επαληθευτεί σε ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό από τρανζίστορ από διάφορα μεγέθη: 50/10 μ m, 10/10 μ m, 100/50 μ m και W/L=50/50 μ m και σε αντίστοιχες πολώσεις.

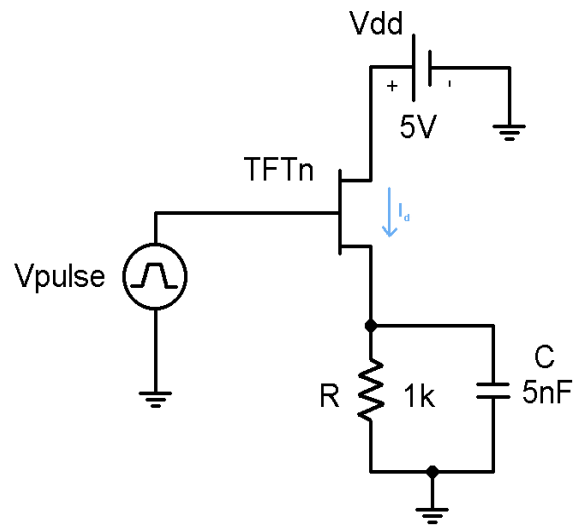
8. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Στην παράγραφο αυτή θα δείξουμε την χρήση του προτεινόμενου μοντέλου για την προσομοίωση κυκλωμάτων. Ένα απλό παράδειγμα παρατίθεται για την εύκολη κατανόηση του: Η προσομοίωση ενός τυπικού driver για OLED, όπως φαίνεται και στο σχήμα 13, θα περιγραφεί παρακάτω.

Το μέγεθος του τρανζίστορ είναι W/L=500/5 μ m και υποθέτουμε ότι το κύκλωμα φωτίζεται, χρησιμοποιούμε τις παραπάνω σχέσεις κατάλληλα τροποποιημένες για να προσομοιώσουμε την επιπρόσθετη παραγωγή ρεύματος λόγω του φωτισμού. Επίσης το μοντέλο που χρησιμοποιείται, και εμπεριέχεται και στο H-SPICE, για την προσομοίωση του ρεύματος σε σκοτάδι του τρανζίστορ είναι το RPI [7]. Αναλυτικά οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι:

```
.model TFTn nmos level = 62 vto = 0 .9 vkink = 9 .1 tox = 1 e -  
7 asat = 0 .87 ETA = 7 MUS = 0 .32 BT = 0 LASAT = 6 .7 e - 7
```

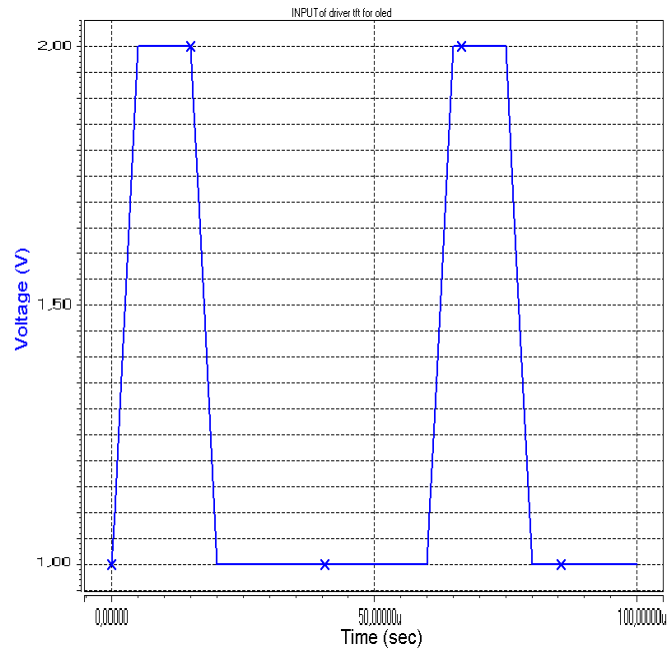
όπου level=62 είναι στο H-SPICE το RPI μοντέλο και οι παράμετροι ορίστηκαν από την αναφορά [7].



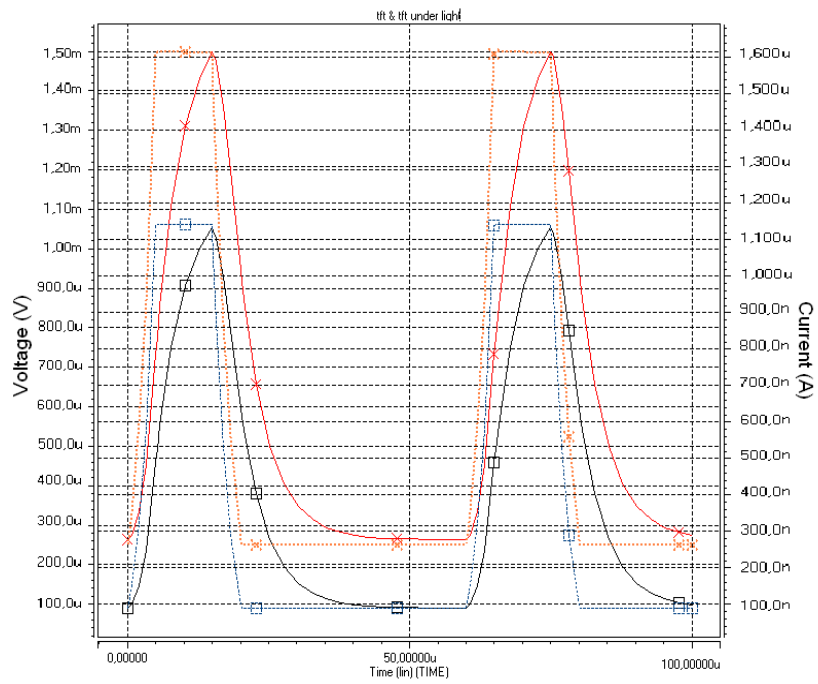
Σχήμα 13 : Τυπικός OLED driver

Αρχικά, το κύκλωμα προσομοιώθηκε χωρίς την επίδραση του φωτός για να δούμε και να συγκρίνουμε την μεταβολή της συμπεριφοράς του. Ένα απλό δίκτυο RC χρησιμοποιήθηκε για φορτίο, με τιμές: $R=1k\Omega$ και $C=5nF$ (σχήμα 13). Το σήμα εισόδου στην πύλη είναι παλμός των 60μsec όπως φαίνεται άλλωστε και στο σχήμα 14α. Η Τάση εξόδου (στην πηγή του τρανζίστορ) και το ρεύμα εκροής φαίνονται στο σχήμα 14β. Φαίνεται καθαρά ότι το μέγιστο ρεύμα είναι 1.15μA. Στο σχήμα 14β με συνεχείς γραμμές είναι τα ρεύματα και με διακεκομμένες οι τάσεις. Επίσης με χ είναι για το κύκλωμα με φως και με τετραγωνάκι για αυτό χωρίς φως.

Στην συνέχεια κάνοντας την προσομοίωση για το κύκλωμα που φωτίζεται με $\Phi=2000LUX$ και με την ίδια είσοδο παίρνουμε τις εξόδους που φαίνονται όπως είπαμε και πριν στο σχήμα 14β. Εδώ φαίνεται ότι το μέγιστο ρεύμα είναι 1.6μA (περίπου 40% μεγαλύτερο) και μια αντίστοιχη αύξηση στην τάση εξόδου.



(α)



(β)

Σχήμα 14: (α) Παλμός εισόδου για τον OLED driver (β) Έξοδοι για φως και χωρίς φως.

Τα θετικά από αυτήν την αύξηση του ρεύματος μπορούν να είναι διπλά. Πρώτον, με 40% μεγαλύτερο ρεύμα το OLED φορτώνει γρηγορότερα, οπότε και η απόκριση/ταχύτητα της εικόνας στην οθόνη μεγαλύτερη. Δεύτερον, όπως είναι γνωστό, η φωτεινότητα ενός pixel OLED εξαρτάται άμεσα από το ρεύμα [8,9,10] και σε πολλές περιπτώσεις, αυτό εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιείται, η εξάρτηση αυτή είναι γραμμική. Για αυτό η δημιουργία ενός driver που εκμεταλλεύεται τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα οδηγήσει σε μια οθόνη η οποία θα μπορεί αυτόματα να ρυθμίσει την φωτεινότητά της με την μεταβολή της φωτεινότητας του περιβάλλοντος λειτουργίας.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε το μοντέλο που προβλέπει την μεταβολή του ρεύματος εκροής των Τρανζίστορ λεπτού Υμενίου με την μεταβολή της έντασης Φωτισμού. Η ισχύς του επαληθεύτηκε σε τρανζίστορ από λέιζερ ανόπτηση. Σε επόμενη φάση θα γίνει η ανάλυση σε μεγαλύτερο ακόμα αριθμό τρανζίστορ ώστε να είναι δυνατή και μια στατιστική μελέτη για τις παραμέτρους του μοντέλου και να μπορέσει, ίσως, να γενικευθεί η χρήση του.

Ενσωματώσαμε το μαθηματικό μοντέλο για τον επηρεασμό του TFT από το φως που παρουσιάσαμε, στον προσομοιωτή κυκλωμάτων SPICE με επιτυχία. Εφαρμόστηκε σε TFT κατασκευασμένα με την μέθοδο ανόπτησης από λέιζερ.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] G. D. N. Yang, Y. K. Fang, C. H. Chen, C. C. Hung, F. C. Tsao, S. G. Wu, and M. S. Liang. 'To suppress photoexcited current of hydrogenated polysilicon TFTs with low temperature oxidation of polychannel' , IEEE Electron Dev. Lett., Vol.22, pp. 23-25, 2001
- [2] J. R. Ayres, S. D. Brotherton , I. R. Clarene, and P.J. Dobson, 'Photocurrents in poly-Si TFTs', Inst. Elec. Eng. Proc. Circuits Devices Syst. , vol. 141, pp.27-32 , 1994.
- [3] C. A. Dimitriadis, A. Alexandrou, and N. A. Economou, 'Electrical properties of polycrystalline silicon layers under solar illumination', J.Appl. Phys., Vol. 60, pp. 3651-3655, 1986.
- [4] M. Mitsutoshi and J. Stoemenos, 'Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films,' J. Appl. Phys., vol. 86, pp.5556-5565, 1999.
- [5] C. T. Angelis, C. A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F. V. Farmakis, G. Kamarinos, J. Brini, and J. Stoemenos, 'Effect of excimer laser annealing on the structural and electrical properties of polycrystalline silicon thinfilm transistors', J. Appl. Phys., vol. 86, pp. 4600-4606, 1999.
- [6] A. T. Hatzopoulos, D. H. Tassis, N. A. Hastas, C. A. Dimitriadis, and G. Kamarinos, 'On-state drain current model of large-grain poly- Si TFTs based on carrier transport through latitudinal and longitudinal grain boundaries', IEEE Trans. Electron Devices, vol. 52, pp. 1727-1733,2005.
- [7] Mark D. Jacunski, Michael S. Shur, Albert A. Owusu, Trond Ytterdal, Michael Hack, and Benjamin Iniguez,'A Short-Channel DC SPICE Model for Polysilicon Thin-Film Transistors Including

- Temperature Effects' , IEEE Trans. Electron Devices, vol. 46, no. 6, June 1999
- [8] Chishio Hosokawa, Hisahiro Higashi, Hiroaki Nakamura, and Tadashi Kusumoto, 'Highly efficient blue electroluminescence from a distyrylarylene emitting layer with a new dopant', Appl. Phys. Lett., Vol. 67, No. 26, 25 December 1995
- [9] C.W.Tang, S.A.VanSlyke, and C.H.Chen, 'Electroluminescence of doped organic thin films', J.Appl.Physics, 65(9), 1 May 1989
- [10] Hack M.,Lu M.H., Kwong R., Weaver M.S., Tung Y.-J., Chwang A., Brown J.J., 'Lasers and Electro-Optics Society', 2003. LEOS 2003. The 16th Annual Meeting of the IEEE , Volume 2, 2003 Page(s):531 – 532 vol.2
- [11] N. P.Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis, S. Siskos , 'Estimating the influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region' , Melecon 2006 , The 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference , May 16-19, 2006 , Benalmadena (Malaga), Spain
- [12] N. P. Papadopoulos, A. A. Hatzopoulos, I. Pappas, D. K. Papakostas, C. A. Dimitriadis and S. Siskos , "Spice Model for the simulation of the Light impact on the performance of polycrystalline Thin-Film Transistors" , DCIS 2006 , Barcelona , Spain
- [13] N.P. Papadopoulos, A.A. Hatzopoulos, D.K. Papakostas, C.A. Dimitriadis and S. Siskos , "Modeling the impact of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region" , ISCAS 2006 , Island of Kos , Greece

Estimating the influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region

N. P.Papadopoulos¹, A.A. Hatzopoulos¹, D.K. Papakostas², C.A. Dimitriadis³, S. Siskos⁴

Aristotle University of Thessaloniki
54124 Thessaloniki - GREECE

- (1) Dept. of Electrical and Computer Eng., Electronics Lab., nikosp@auth.gr, alkis@eng.auth.gr
- (2) Alexander Technological & Educational Institute of Thessaloniki, Dept. of Electronics, P.O BOX 141, 574 00 Thessaloniki, GREECE, dpapakos@el.teithe.gr
- (3) Dept. of Physics, Microelectronic device characterization and design Lab., cdimitri@physics.auth.gr
- (4) Dept. of Physics, Electronics Lab., siskos@surf.physics.auth.gr

Abstract—The impact of the light illumination on the drain current of polycrystalline silicon thin-film transistors is studied in this work. The increase of the output current as a result of raised light intensity is modeled, based on measured experimental data for different V_{as} , V_{gs} values and transistor sizes W/L . The proposed model has been verified against the measurements and the simulated output characteristics give a good approximation in the sub-threshold region.

I. INTRODUCTION

The influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors (TFTs) has been studied for many years [1, 2]. It has been shown that, under light illumination, basic parameters like grain boundary (GB) potential barrier height, mobility, GB recombination velocity, minority-carrier lifetime and diffusion length are modified [3]. The result of the modification is practically revealed by an increase of the drain current of the TFT. This performance is studied in this work and the influence of the light intensity on the drain current is modeled and experimentally verified. The derived expression is giving the ratio of the drain current under illumination over the drain current in dark.

In the following, measurements of the output and input characteristics of TFTs under various operating conditions and light intensities are presented in section 2 and 3, respectively, and the effect of light on the mobility and the potential barrier height are shown. The proposed model for the impact of light is given in section 4, together with some simulation results obtained from application of the proposed light-impact model on a typical TFT. The paper is concluded with a discussion and comments for further work.

II. MEASUREMENTS OF OUTPUT CHARACTERISTICS

The measured polysilicon TFTs were fabricated on solid-phase crystallized polysilicon layer (48 nm thick), irradiated at room temperature in air ambient by KrF excimer laser about 260 mJ/cm². A standard n-

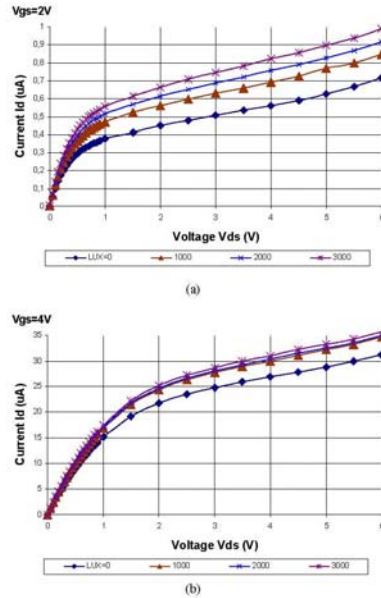


Figure 2. The measured Output characteristics (a) for $V_{gs}=2$ V and (b) for $V_{gs}=4$ V, at various levels of light intensity for a 100/10 μ m TFT channel metal-oxide-semiconductor (NMOS) self-aligned process was used to fabricate devices of gate width $W = 100, 50, 10 \mu$ m and gate length $L = 10, 20, 50 \mu$ m (various combinations of W/L). As gate insulator, a 120 nm thick SiO_2 was deposited by ECR-PECVD at 100 °C. Details for the device fabrication processes are presented elsewhere [4, 5].

The measured output characteristics of these TFTs are shown in Fig.2 for $V_{gs}=2$ V and $V_{gs}=4$ V and different level of illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 3000$ LUX). It can be noticed that the influence of light on the current I_d is reduced as the V_{gs} voltage is increased. For $V_{gs} < 3$ V, the drain current increase from “dark” to 5000 LUX can be up to 50%. For $V_{gs} = 4$ V, the drain current increase is up to 9%. Measurements for larger values of V_{gs} ($= 5, 6, 7$ V) show that the effect of the light becomes almost negligible. Therefore, our study is focused in the sub-threshold region ($V_{gs} < 4$ V).

The variation of the drain current I_d with the light intensity Φ (in LUX) is plotted in Figures 3(a) and 3(b) for $V_{gs} = 1.5$ and 2.5 V, respectively and for various values of the drain voltage V_{ds} (1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5 V) and for a transistor with $W/L=100/10\mu\text{m}$. It is clear that the current variation with the light intensity is different for two different V_{gs} voltages. Furthermore, the “dark” current may not be precisely predicted by the known TFT models. To overcome these difficulties, the current ratio I_d/I_{dark} as a function of the light intensity Φ the bias voltages V_{ds} , V_{gs} and the area W^2/L^2 of the TFT will be modeled.

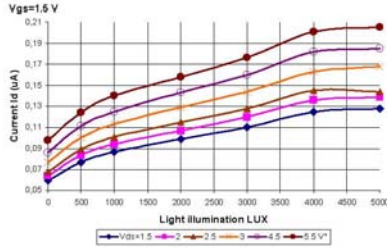


Figure 3 (a). The measured I_d versus the light intensity measured in LUX for different V_{ds} for $V_{gs}=1.5$ V for a TFT with $W/L=100/10\mu\text{m}$.

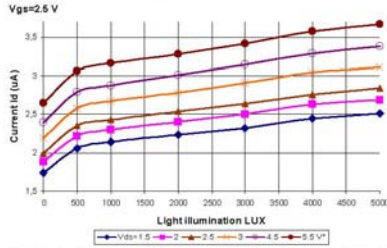


Figure 3 (b). The measured I_d versus the light intensity measured in LUX for different V_{ds} for $V_{gs}=2.5$ V TFT with $W/L=100/10\mu\text{m}$.

III. MEASUREMENTS OF INPUT CHARACTERISTICS

The measured input characteristics (I_d versus V_{gs} , for $V_{ds} = 0.5$ V) of a typical TFT ($W/L=100/10\mu\text{m}$) are shown in Fig. 4 for various levels of illumination ($\Phi=0, 1000,$

2000, 5000 LUX). From analysis of the input characteristics, we can also estimate the effect of the light intensity on the effective carrier mobility μ_{eff} of the TFT.

The drain current of a TFT in the linear region can be expressed as [6]:

$$I_d = \frac{W}{L} \mu_{eff} \cdot C_{ox} (V_g - V_{inv}) \cdot V_d \quad (1)$$

where C_{ox} is the gate capacitance per unit area and V_{inv} is

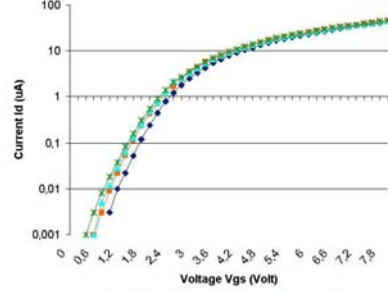


Figure 4. Input Characteristics of a TFT with $W/L=100/10\mu\text{m}$.

the charge inversion voltage. Considering an array of square grains, where the drain current can follow the path either along the grain boundaries or through the grains and across the grain boundaries, the effective carrier mobility depends on the grain boundary barrier height V_b through the relationship [6]:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_{gi}}{1 + \frac{w}{L_g} e^{\frac{qV_b}{kT}}} + \frac{L_{gb}}{L_g} \mu_{gb} \quad (2)$$

$$qV_b = \frac{0.56}{1 + \left(\frac{q(V_g - V_{inv})}{E_t} \right)} \quad (3)$$

where μ_{gi} and μ_{gb} is the mobility for a carrier within the interior region of the grain and along the grain boundary respectively, w is the width of the depletion region at the grain boundary, L_{gb} is the average grain boundary width which is fixed at the value of 2 nm, L_g is the average grain size of the polysilicon layer and E_t is related to the filling of the traps and thus to the quality of the polysilicon material and V_{inv} the inversion voltage.

Fit of the experimental I_d versus V_{gs} data with Eqs. (1) - (3) enables the determination of the parameters V_{inv} , E_t , μ_{gb} , μ_{gi} and the effective mobility μ_{eff} . In this expression, the light illumination is expected to affect the effective mobility μ_{eff} through the barrier height V_b . Based on the measurements and the technology parameters of the

studied TFT, the parameter μ_{eff} is calculated for each light intensity. The ratio of the effective mobility under certain light intensity over the effective mobility in dark ($\mu_{eff}/\mu_{eff, dark}$) as a function of the light intensity is plotted in figure 5. It can be easily seen that the effect of the light for low V_{gs} is more significant than that for higher V_{gs}

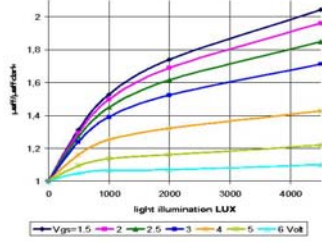


Figure 5 The effective mobility ratio of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for various levels of light illumination and for $V_{ds}=0.5V$.

voltages. For example, for $V_{gs} = 1.5V$ the effective mobility is almost doubled at $\Phi = 4000$ LUX, while it is increased by about 40% for $V_{gs} = 4V$. The effect of the light illumination on the parameters E_a , V_b and μ_{ij} are presented in figures 6, 7 and 8, respectively.

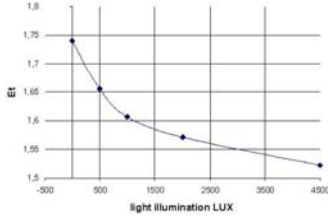


Figure 6. The quality of the polysilicon area of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

IV. DRAIN CURRENT MODELING

The output characteristics (I_d versus V_{ds}) of the studied TFT were measured for V_{ds} voltages up to 6 V, for V_{gs} up to 4 V and for light intensities from 0 LUX (noted as I_{dark}) to 5000 LUX. The ratio I_d/I_{dark} was calculated in each case and a fitting procedure was implemented by using the Software TableCurve 2D. After some simplifications, we derived the following expression, which adequately approximates all of the measured data:

$$\frac{I_d}{I_{dark}} = 1.0175 \cdot e^{\left(-5.4 \cdot 10^{-5} \cdot V_{ds}^3 + A \cdot \sqrt{\Phi} \cdot V_{ds}^{1.658}\right)} \quad (4)$$

$$\text{where: } A = 0.0134 + 4.12 \cdot 10^{-6} \cdot W \cdot L \quad (5)$$

and the light intensity Φ is expressed in LUX. The defined coefficient $f = I_d/I_{dark}$ can be applied under all of the above mentioned operating conditions and, provided that the "dark" current of a thin film transistor is known, we can easily compute the current I_d for any light illumination

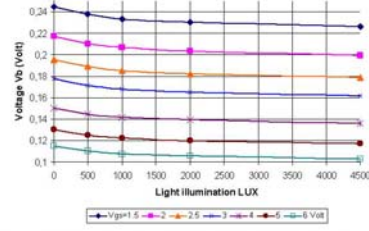


Figure 7 (a). The voltage V_b of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

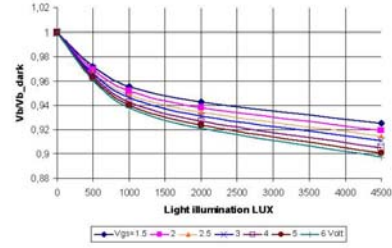


Figure 7(b). The ratio of $V_b/V_{b, dark}$ of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

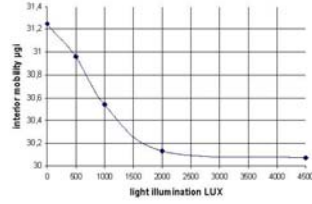


Figure 8. The interior mobility of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

intensity. It can be noticed that the light intensity coefficient A is a linear function of the silicon area (WL) occupied by the transistor.

For the validation of the proposed coefficient, a mathematical tool (Matlab) has been utilized to calculate the impact of the light on the drain current. The

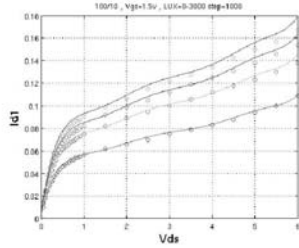


Figure 9(a). Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination and for $V_{gs}=1.5V$ for 100/10 μm TFT.

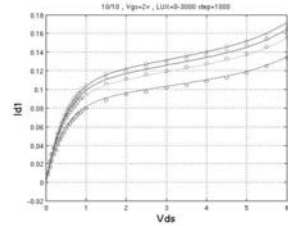


Figure 9(b). Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination and for $V_{gs}=2V$ for 10/10 μm TFT.

characteristic corresponding to the "dark" current was calculated by fitting as a polynomial expression. Indicative simulated results, together with the corresponding experimental measurements, are plotted in figures 9 (a), (b), (c) and (d) for various transistor sizes and V_{gs} voltages, showing very good agreement.

V. CONCLUSION

A model that can predict the variation of the drain current of TFTs at different light intensities is presented. It has been applied to excimer laser annealed polysilicon TFTs and it was validated successfully. The analysis is currently performed for a large number of TFTs to derive the statistical distributions of the model parameters involved with the light intensity.

The variation of the drain current could be exploited for the construction of a light sensitive driver circuit for LCDs, so that, for example, the brightness of the screen can be automatically adjusted to the light intensity of the environment. Such types of driver circuits are currently under investigation.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Greek Ministry of

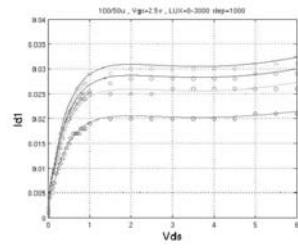


Figure 9(c). Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination and for $V_{gs}=2.5V$ for 100/50 μm TFT.

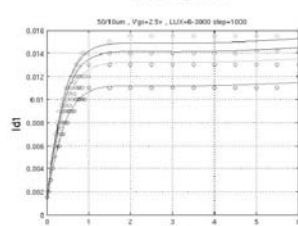


Figure 9(d). Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination and for $V_{gs}=2.5V$ for 50/50 μm TFT.

Education for the partial financial support of this work in the frame of the "PYTHAGORAS" research project.

REFERENCES

- [1] G. D. N. Yang, Y. K. Fang, C. H. Chen, C. C. Hung, F. C. Tsao, S. G. Wu, and M. S. Liang, "To suppress photoexcited current of hydrogenated polysilicon TFT's with low temperature oxidation of polychannel", *IEEE Electron Device Letters*, Vol.22, pp. 23-25, 2001
- [2] J. R. Ayres, S. D. Brotherton, I. R. Claree, and P. J. Dobson, "Photocurrents in poly-Si TFT's", *IEE Proc, Circuits, Devices and Systems*, vol. 141, pp. 27-32, 1994.
- [3] C. A. Dimitriadis, A. Alexandrou, and N. A. Economou, "Electrical properties of polycrystalline silicon layers under solar illumination", *J. Appl. Phys.*, Vol. 60, pp. 3651-3655, 1986.
- [4] M. Mitsuishi and J. Stoemenos, "Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films," *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 5556-5565, 1999.
- [5] C. T. Angelis, C. A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F. V. Farmakis, G. Kamarinos, J. Brini, and J. Stoemenos, "Effect of excimer laser annealing on the structural and electrical properties of polycrystalline silicon thin-film transistors", *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 4600-4606, 1999.
- [6] A. T. Hatzopoulos, D. H. Tassis, N. A. Hastas, C. A. Dimitriadis, and G. Kamarinos, "On-state drain current model of large-grain poly-Si TFTs based on carrier transport through latitudinal and longitudinal grain boundaries", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 52, pp. 1727-1733, 2005.

Modeling the impact of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region

N.P. Papadopoulos*, A.A. Hatzopoulos*, D.K. Papakostas†, C.A. Dimitriadis‡ and S. Siskos§

*Aristotle University of Thessaloniki , 54124, GREECE, Dept. of Electrical and Computer Eng., Electronics Lab., nikosp@auth.gr, alkis@eng.auth.gr

†Alexander Technological & Educational Institute of Thessaloniki , Dept. of Electronics , P.O BOX 141 ,57400, GREECE , dpapakos@el.teithe.gr

‡Aristotle University of Thessaloniki , 54124, GREECE, Dept. of Physics, Microelectr. device characterization and design Lab., cdimitri@physics.auth.gr

§Aristotle University of Thessaloniki , 54124, GREECE, Dept. of Physics, Electronics Lab.,siskos@surf.physics.auth.gr

Abstract—The influence of the light illumination on the drain current of polycrystalline silicon thin-film transistors is studied in this work. The increase of the output current as a result of raised light intensity is modeled, based on measured experimental data for different V_{ds} and V_{gs} values. The proposed model has been verified against the measurements and the simulated output characteristics give a good approximation in the sub-threshold region.

I. INTRODUCTION

The influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors (TFTs) has been studied for many years [1], [2]. It has been shown that, under light illumination, basic parameters like grain boundary (GB) potential barrier height, mobility, GB recombination velocity, minority-carrier lifetime and diffusion length are modified [3]. The result of the modification is practically revealed by an increase of the drain current of the TFT. This performance is studied in this work and the influence of the light intensity on the drain current is modeled and experimentally verified. The derived expression is the ratio of the drain current under illumination over the drain current in dark.

In the following, measurements of the output and input characteristics of TFTs under various operating conditions and light intensities are presented in Section II and III, respectively, and the effect of light on the mobility and the potential barrier height is shown. The proposed model for the impact of light is given in Section IV, together with some simulation results obtained from application of the proposed light-impact model on a typical TFT. The paper is concluded with a discussion and comments for further work.

II. MEASUREMENTS OF OUTPUT CHARACTERISTICS

The measured polysilicon TFTs were fabricated on solid-phase crystallized polysilicon layer (48 nm thick), irradiated at room temperature in air ambient by KrF² excimer laser

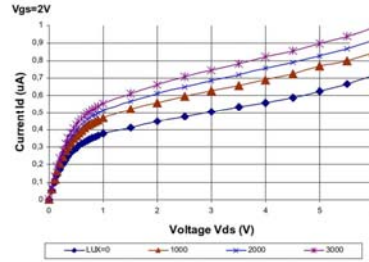


Fig. 1. The measured Output characteristics for $V_{gs}=2$ V and various levels of light intensity.

about $260mJ/cm^2$. A standard n-channel metal-oxide - semiconductor (NMOS) self-aligned process was used to fabricate devices of gate width $W = 100 \mu m$ and gate length $L = 10 \mu m$. As gate insulator, a 120 nm thick SiO_2 was deposited by ECR-PECVD at 100 °C. Details for the device fabrication processes are presented elsewhere [4], [5].

The measured output characteristics of these TFTs are shown in Fig. 1 and 2 for $V_{gs} = 2$ V and $V_{gs} = 4$ V respectively, and for different level of illumination ($\Phi=0, 500, 1000, 2000, 3000$ LUX). It can be noticed that the influence of light on the current I_d is reduced as the V_{gs} voltage is increased. For $V_{gs} < 3$ V, the drain current increase from 'dark' to 5000 LUX can be up to 50%. For $V_{gs} = 4$ V, the drain current increase is up to 9%. Measurements for larger values of V_{gs} ($= 5, 6, 7$ V) show that the effect of the light becomes almost negligible. Therefore, our study is focused in the sub-threshold region. ($V_{gs} < 4$ V).

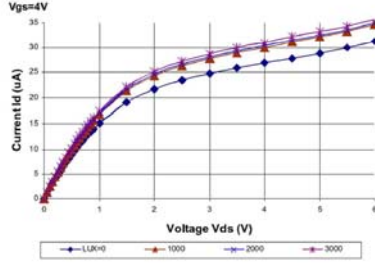


Fig. 2. The measured Output characteristics for $V_{gs}=4V$ and various levels of light intensity.

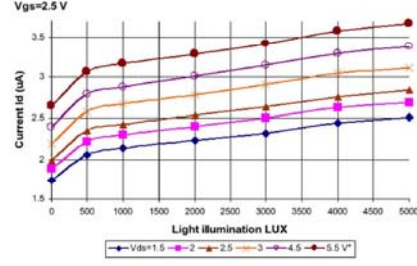


Fig. 4. The measured I_d versus the light intensity measured in LUX for different V_{ds} for $V_{gs}=2.5V$.

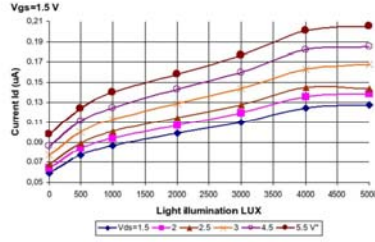


Fig. 3. The measured I_d versus the light intensity measured in LUX for different V_{ds} for $V_{gs}=1.5V$.

The variation of the drain current I_d with the light intensity Φ (in LUX) is plotted in Figures 3 and 4 for $V_{gs} = 1.5$ and 2.5 V, respectively and for various values of the drain voltage V_{ds} (1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5). It is clear that the current variation with the light intensity is different for two different V_{gs} voltages. Furthermore, the 'dark' current may not be precisely predicted by the known TFT models. To overcome these difficulties, the current ratio I_d/I_{dark} as a function of the light intensity Φ and the bias voltages V_{ds} and V_{gs} will be modeled.

III. MEASUREMENTS OF INPUT CHARACTERISTICS

The measured input characteristics (I_d versus V_{gs} , for $V_{ds} = 0.5$ V) of a typical TFT are shown in Fig. 5 for various levels of illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 4500$ LUX). From the analysis of the input characteristics, we can also estimate the effect of the light intensity on the effective carrier mobility μ_{eff} of the TFT. The drain current of a TFT in the linear region can be expressed as [6]:

$$I_d = \frac{W}{L} \mu_{eff} C_{ox} (V_g - V_{inv}) V_d \quad (1)$$

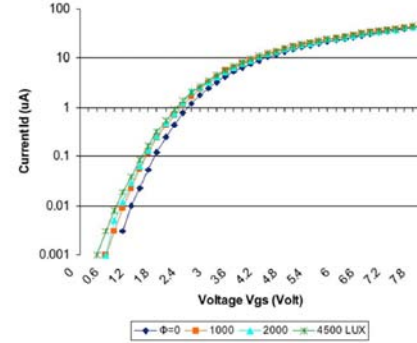


Fig. 5. Input Characteristics of a TFT $W/L=100/10\mu m$.

where C_{ox} is the gate capacitance per unit area and V_{inv} is the charge inversion voltage. Considering an array of square grains, where the drain current can follow the path either along the grain boundaries or through the grains and across the grain boundaries, the effective carrier mobility depends on the grain boundary barrier height V_b through the relationship [6]:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_{gi}}{1 + \frac{w}{L_g - w} \exp \frac{qV_b}{kT}} + \frac{L_{gb}}{L_g} \mu_{gb} \quad (2)$$

$$qV_b = \frac{0.56}{1 + \frac{q(V_g - V_{inv})}{E_t}} \quad (3)$$

where μ_{gi} and μ_{gb} is the mobility for a carrier within the interior region of the grain and along the grain boundary, respectively, w is the width of the depletion region at the grain boundary, L_{gb} is the average grain boundary width, which is

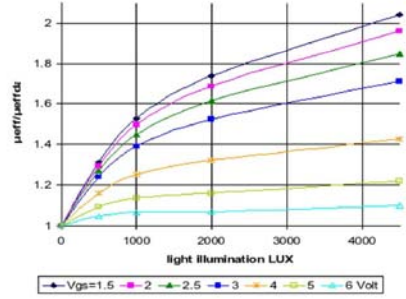


Fig. 6. The effective mobility ratio of a TFT $W/L=100/10\mu\text{m}$ for various levels of light illumination and for $V_{ds}=0.5\text{V}$.

fixed at the value of 2 nm, L_g is the average grain size of the polysilicon layer, E_t is related to the filling of the traps and, thus, to the quality of the polysilicon material and V_{inv} is the inversion voltage.

Fit of the experimental I_d versus V_{ds} data with Eqs. (1) - (3) enables the determination of the parameters V_{inv} , E_t , μ_{gh}/μ_{pi} and the effective mobility μ_{eff} . In this expression, the light illumination is expected to affect the effective mobility μ_{eff} through the barrier height V_b . Based on the measurements and the technology parameters of the studied TFT, the parameter μ_{eff} is calculated for each light intensity. The ratio of the effective mobility under certain light intensity over the effective mobility in dark ($\mu_{eff}/\mu_{eff-dark}$) as a function of the light intensity is plotted in figure 6. It can be easily seen that the effect of the light for low V_{gs} is more significant than that for higher V_{gs} voltages. For example, for $V_{gs} = 1.5\text{ V}$ the effective mobility is almost doubled at $\Phi = 4000\text{ LUX}$, while it is increased by about 40% for $V_{gs} = 4\text{ V}$. The effect of the light illumination on the parameters E_t , μ_{pi} , V_b and the ratio of V_b/V_{b-dark} are presented in figures 7, 8, 9 and 10, respectively.

IV. DRAIN CURRENT MODELING

The output characteristics (I_{ds} versus V_{ds}) of the studied TFT were measured for V_{ds} voltages up to 6 V, for V_{gs} up to 4 V and for light intensities from 0 LUX (noted as I_{dark}) to 5000 LUX. The ratio I_d/I_{dark} was calculated in each case and a fitting procedure was implemented by using the Software TableCurve 2D. After some simplifications, we derived the following expression, which adequately approximates all of the measured data:

$$\frac{I_d}{I_{dark}} = 1.0175 \exp(-5.4 \cdot 10^{-5} V_{ds}^3 + 0.0175 \frac{\sqrt{\Phi}}{(V_{gs})^{1.658}}) \quad (4)$$

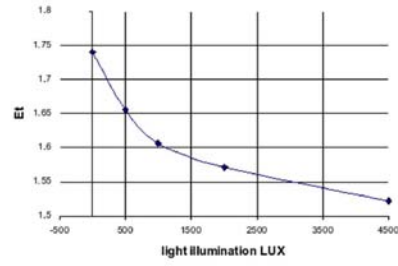


Fig. 7. The quality of the polysilicon area of a TFT $W/L=100/10\mu\text{m}$ for different levels of light illumination

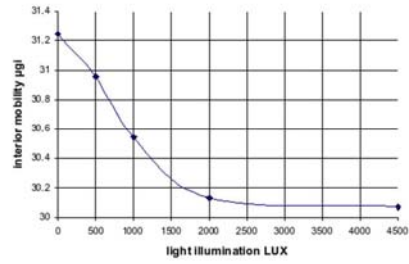


Fig. 8. The interior mobility of a TFT $W/L=100/10\mu\text{m}$ for different levels of light illumination

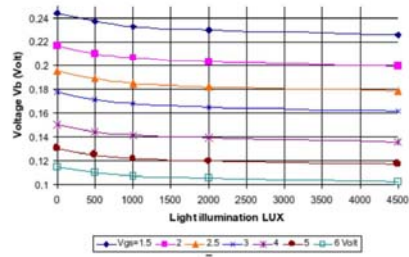


Fig. 9. The Voltage V_b of a TFT with $W/L=100/10\mu\text{m}$ for different levels of light illumination

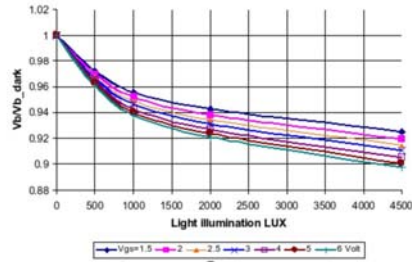


Fig. 10. The ratio of V_b/V_{b-dark} of a TFT with $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

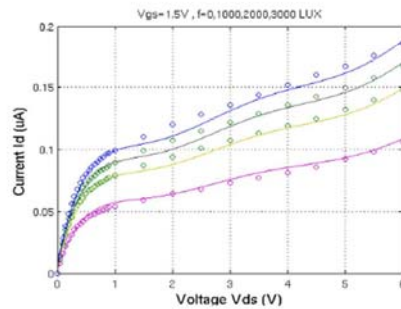


Fig. 11. The voltage V_b of a TFT $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

where the light intensity Φ is expressed in LUX. The defined coefficient $f = I_d/I_{dark}$ can be applied under all of the above mentioned operating conditions and, provided that the 'dark' current of a thin film transistor is known, we can easily compute the current I_d for any light illumination intensity.

For the validation of the proposed coefficient, a mathematical tool (Matlab) has been utilized to calculate the impact of the light on the drain current by using eq.(4). The characteristic corresponding to the 'dark' current was calculated by fitting as a polynomial expression. The simulated results, together with the corresponding experimental measurements, are plotted in figures 11, 12 for $V_{gs} = 1.5$ and 2.5 V, respectively, showing very good agreement. However, the above analysis must be performed for a large number of TFTs to derive the statistical distributions of the model parameters involved with the light intensity.

V. CONCLUSION

A model that can predict the variation of the drain current of TFTs at different light intensities has been presented. It has

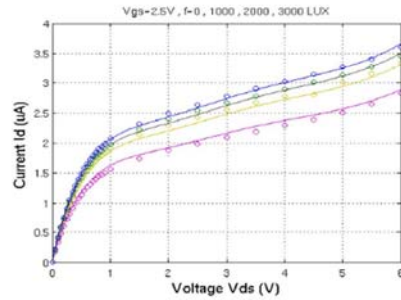


Fig. 12. The interior mobility of a TFT $W/L=100/10\mu m$ for different levels of light illumination

been applied to excimer laser annealed polysilicon TFTs and it was validated successfully. This variation of the drain current could be exploited for the construction of a light sensitive driver circuit for LCDs, so that, for example, the brightness of the screen can be automatically adjusted to the light intensity of the environment. Such types of driver circuits are currently under investigation.

VI. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Greek Ministry of Education for the partial financial support of this work in the frame of the "PYTHAGORAS" research project.

REFERENCES

- [1] G. D. N. Yang, Y. K. Fang, C. H. Chen, C. C. Hung, F. C. Tsao, S. G. Wu, and M. S. Liang, "To suppress photoexcited current of hydrogenated polysilicon TFTs with low temperature oxidation of polychannel", *IEEE Electron Dev. Lett.*, Vol.22, pp. 23-25, 2001
- [2] J. R. Ayres, S. D. Brotherton, I. R. Clarence, and P.J. Dobson, 'Photocurrents in poly-Si TFTs', *Inst. Elec. Eng. Proc. Circuits Devices Syst.*, vol. 141, pp.27-32, 1994.
- [3] C. A. Dimitriadis, A. Alexandrou, and N. A. Economou, 'Electrical properties of polycrystalline silicon layers under solar illumination', *J. Appl. Phys.*, Vol. 60, pp. 3651-3655, 1986.
- [4] M. Mitsutoshi and J. Stoemenos, 'Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films', *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 5556-5565, 1999.
- [5] C. T. Angelis, C. A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F. V. Farmakis, G. Kamarinos, J. Brini, and J. Stoemenos, 'Effect of excimer laser annealing on the structural and electrical properties of polycrystalline silicon thin-film transistors', *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 4600-4606, 1999.
- [6] A. T. Hatzopoulos, D. H. Tassis, N. A. Hastas, C. A. Dimitriadis, and G. Kamarinos, 'On-state drain current model of large-grain poly-Si TFTs based on carrier transport through latitudinal and longitudinal grain boundaries', *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 52, pp. 1727-1733, 2005.

Spice Model for the simulation of the Light impact on the performance of polycrystalline Thin-Film Transistors

N. P. Papadopoulos, A. A. Hatzopoulos, I. Pappas, D. K. Papakostas, C. A. Dimitriadis and S. Siskos

Abstract—The influence of the light illumination on the drain current of polycrystalline silicon thin-film transistors has been studied and mathematically modeled in our previous work [1]. This paper introduces a simple circuit model for the integration of the mathematical model in the SPICE circuit simulation program, making, thus, possible its immediate exploitation for circuit design. Comparative results between measurements and simulated performance are presented, showing the efficient accuracy of the circuit model.

I. INTRODUCTION

The impact of light on the basic parameters, such as grain boundary (GB) potential barrier height, mobility, GB recombination velocity, minority-carrier lifetime and diffusion length [2], [3], [4], is practically revealed by an increase of the drain current of polycrystalline thin-film transistors (TFTs). A model [1] has been proposed in our previous work that can predict this increase with satisfactory results. The expression that this model derives is the ratio of the drain current under illumination over the drain current in dark. It is important to have the ability to simulate this influence of light on the TFTs using circuit simulators. SPICE which is a popular circuit simulation program is utilized and a simple circuit model is developed for the integration of the light impact model in the circuit simulator. Therefore, the model can be used for the design of various TFT circuit applications.

In the following, a brief presentation of the mathematical model predicting the light influence on the TFTs is given in Section II. The proposed circuit model for its exploitation in a SPICE simulating program, together with some comparative experimental and simulation results obtained from the proposed light-impact model on a polycrystalline TFTs integrated in SPICE and in Matlab are presented in Section III. An

Manuscript received May 19 2006; revised September 15, 2006. This work was partially financially supported by the Greek Ministry of Education, in the frame of the "PYTHAGORAS" research project.

N. P. Papadopoulos and A. A. Hatzopoulos are with the Aristotle University of Thessaloniki, 54124, GREECE, Dept. of Electrical and Computer Eng., Electronics Lab., (email: nikosp@auth.gr, alkis@eng.auth.gr)

I. Pappas and S. Siskos are with the Aristotle University of Thessaloniki, 54124, GREECE, Dept. of Physics, Electronics Lab., (email: ilpap@auth.gr, siskos@surf.physics.auth.gr)

D. K. Papakostas is with the Alexander Technological & Educational Institute of Thessaloniki, Dept. of Electronics, P.O. BOX 141, 57400, GREECE, (email: dpapakos@elteit.gr)

C. A. Dimitriadis is with the Aristotle University of Thessaloniki, 54124, GREECE, Dept. of Physics, Microelectr. device characterization and design Lab., (email: cdimitri@physics.auth.gr)

example of the application of this circuit model in a typical circuit is presented in Section IV. The paper is concluded with a discussion and comments for further work.

II. THE MATHEMATICAL LIGHT MODEL

The model, that predicts the influence of the light at the drain current of the TFT's, was based on the output characteristics (I_{ds} versus V_{ds}) of the studied TFTs [1], [5], [6]. The measured polysilicon TFTs were fabricated on solid-phase crystallized polysilicon layer (48 nm thick), irradiated at room temperature in air ambient by KrF excimer laser about $260mJ/cm^2$. A standard n-channel metal-oxide-semiconductor (NMOS) self-aligned process was used to fabricate devices of various gate widths. As gate insulator, a 120 nm thick SiO_2 was deposited by ECR-PECVD at 100 °C. The measurements were for V_{ds} voltages up to 6 V, for V_{gs} up to 4 V and for light intensities from 0 LUX (noted as I_{dark}) to 5000 LUX. The ratio I_d/I_{dark} was calculated in each case and a fitting procedure was implemented by using the Software TableCurve 2D. After some simplifications, the following expression was derived, which adequately approximated all of the measured data:

$$\frac{I_d}{I_{dark}} = 1.0175 \exp(-5.4 \cdot 10^{-5} V_{ds}^3 + A \frac{\sqrt{\Phi}}{(V_{gs})^{1.655}}) \quad (1)$$

where

$$A = 0.0134 + 4.12 \cdot 10^{-6} \cdot W \cdot L \quad (2)$$

the light intensity Φ is expressed in LUX and W, L in μm . The defined coefficient $f = I_d/I_{dark}$ can be applied under all of the above mentioned operating conditions and, provided that the 'dark' current of a thin film transistor is known, the current I_d for any light illumination intensity can be easily computed. The light intensity coefficient A is a linear function of the gate area (WL) occupied by the transistor.

For the validation of the proposed coefficient, a mathematical tool (Matlab) has been utilised to calculate the impact of the light on the drain current by using eq. 1. The characteristic corresponding to the 'dark' current was calculated by fitting as a polynomial expression. Indicative simulated results, together with the corresponding experimental measurements, are plotted in figures 1, 2, 3 and 4 for various transistor sizes and V_{gs} voltages, as mentioned at their captions, showing very good agreement.

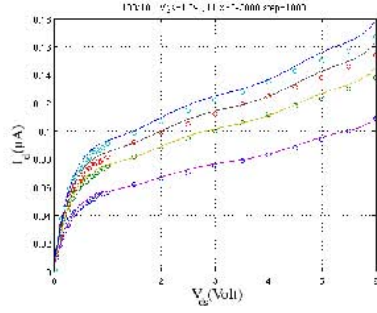


Fig. 1. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 4500$ LUX) and for $V_{gs}=1.5V$ for $100/10\mu m$ TFT.

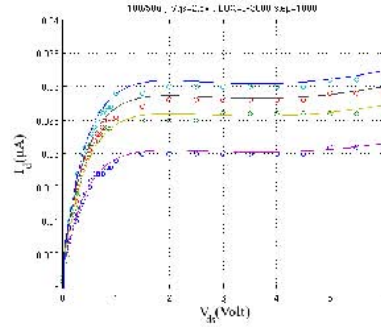


Fig. 3. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 4500$ LUX) and for $V_{gs}=2.5V$ for $100/50\mu m$ TFT.

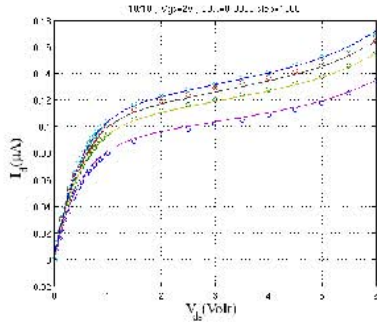


Fig. 2. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 4500$ LUX) and for $V_{gs}=2V$ for $100/10\mu m$ TFT.

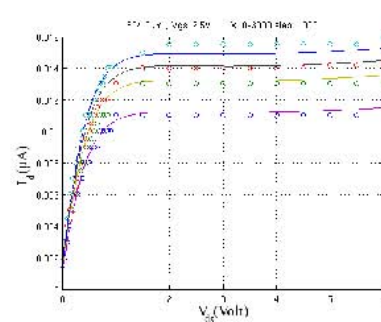


Fig. 4. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi=0, 1000, 2000, 4500$ LUX) and for $V_{gs}=2.5V$ for $50/50\mu m$ TFT.

III. LIGHT-IMPACT CIRCUIT MODEL IN SPICE

Accurate circuit simulation is a prerequisite for effective circuit design and fabrication. To develop new models, any new mathematical formula expressing a device output parameter modification must be transformed in a form suitable for implementation using the typical circuit elements provided by the circuit simulator. In our case the H-SPICE simulator is utilized and the light impact on the drain current is simulated by an additional current-dependent current source, which is considered connected in parallel to the drain and source pins of the TFT, as shown in fig. 5. The H-SPICE simulator allows the use of multiple dependences in the algebraic expression of the depended current source.

Based on eq. 1 the increase of the drain current due to light

illumination can be expressed by:

$$\Delta I_d = I_d - I_{d0} = I_{d0} \cdot \left(1.0175 \cdot \exp\left(-5.4 \cdot 10^{-5} V_{ds}^3 + A \frac{\sqrt{\Phi}}{(V_{gs})^{1.658}}\right) - 1 \right) \quad (3)$$

Thus, in the proposed model (fig. 5) the TFT is supposed to be drawing the nominal I_{d0} current (for zero light intensity). The additional current due to light illumination intensity Φ is incorporated through the current source ΔI_d and it is depended on the value of I_{d0} and also on the voltages V_{ds} and V_{gs} and on the transistor size (WL), as given in eq.3.

In the H-SPICE simulator, the proposed model for a TFT with $W=100\mu m$ and $L=10\mu m$ can be described by the

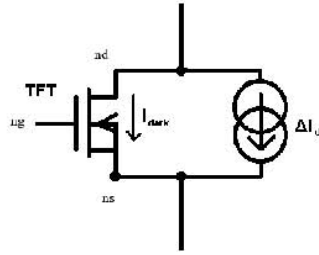


Fig. 5. Equivalent Circuit Model for SPICE

following lines:

$$m31 \quad rd \quad rsg \quad rrs \quad TFTr2 \quad w = 100u \quad l = 10u \quad (4)$$

$$G1 \quad rd \quad rrs \quad CUR = i(vrd) * (-1 + 1.0175 * exp((-5.4e - 5) * ((V(rsd) - V(rrs)) + 3) + ((0.0134 + w * l * 4.12e - 6) * (fws) + *(0.5)) / ((V(rsg) - V(rrs)) + *(1.658)))' \quad (5)$$

where nd, ng, ns are the node numbers of the drain, the gate and the source of the TFT, respectively, fws is the light intensity Φ in LUX, and $i(vrd)$ is the 'dark' current of the TFT.

Representative comparative results from the application of the new circuit model and the corresponding measurements and Matlab calculations based on eq. 1 are presented in fig. 6 and 7, for $V_{gs}=1.5V$ and $V_{gs}=2.5V$, respectively, for a TFT with $W=100\mu m$ $L=10\mu m$. The Light intensity was $\Phi=0$ and $\Phi=2000$ LUX. The 'dark' (nominal) current was simulated by using a polynomial current source, calculated by fitting on our experimental data, in order to overcome the problems of incorrect prediction of the nominal performance of our TFTs by the internal H-SPICE TFT circuit model.

As it can be noticed in the figures 6 and 7, the proposed simple circuit model for the simulation of the light illumination impact is accurately predicting the change of the drain current of the TFT. This has been verified for a variety of voltages V_{ds} and V_{gs} , for different light intensities (from 0 to 5000 LUX) and various transistor sizes W, L.

IV. SIMULATING CIRCUITS UNDER LIGHT ILLUMINATION

The proposed circuit model has been used in the simulation of a variety of circuits. Its use for the simulation of a typical OLED driver circuit, as shown in figure 8, is described next.

The Transistor size is $W/L=500/5\mu m$. Supposing that the TFT used in the circuit is illuminated, we use the equations 4 and 5 properly modified. The model used to simulate the TFT and calculate I_{dark} is this of RPI [8]. Analytically the parameters of model used in HSPICE code file are :

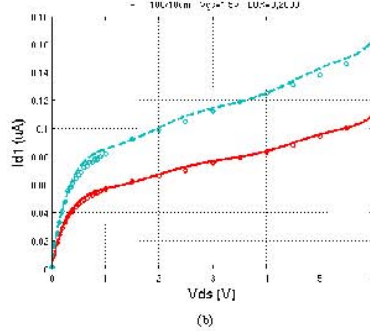
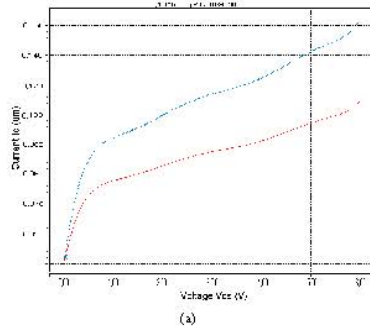


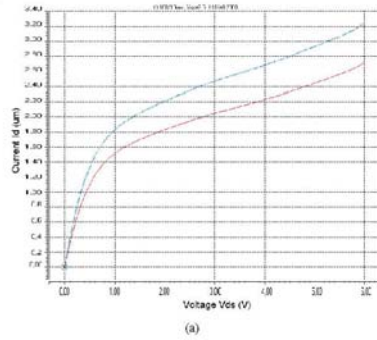
Fig. 6. (a) Simulated output current with Spice and (b) Simulated output current (line) with Matlab and experimental results (circles) for light illumination ($\Phi=0$, 2000 LUX) and for $V_{gs}=1.5V$ for $100/10\mu m$ TFT.

```

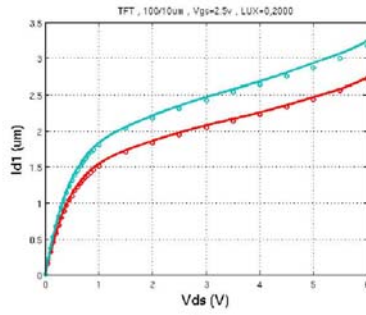
.model TFTr2 rmos level = 62 vto = 0.9
vbrink = 9.1 tox = 1e - 7 asat = 0.87 ETA = 7 (6)
MUS = 0.32 BT = 0 LASAT = 6.7e - 7
    
```

where level=62 in HSPICE stands for the RPI model. The values of the coefficients used in the above model are as given in [8].

The circuit was initially simulated considering no light illumination on the TFT. A simple RC network was used as a load, with $R=1k\Omega$ and $C=5nF$ (figure 8). The input signal at the gate of the TFT was a pulse with a period of $60\mu sec$, as depicted in figure 9 (a). The Output voltage (at the Source node of the TFT) and the drain current are plotted in figure 9 (b). It can be noticed that the maximum current value is $1.15\mu A$ (shown with negative sign, due to branch polarity in the simulator).



(a)



(b)

Fig. 7. (a) Simulated output current with Spice and (b) Simulated output current (line) with Matlab and experimental results (circles) for light illumination ($\Phi=0, 2000$ LUX) and for $V_{gs}=2.5V$ for $100/10\mu m$ TFT.

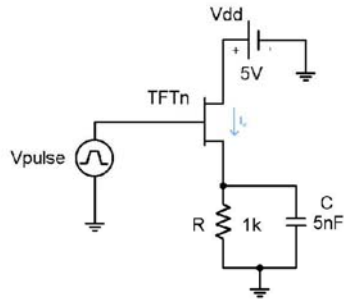
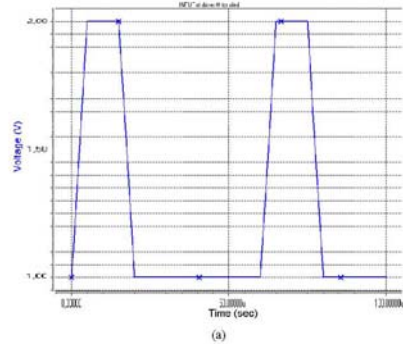
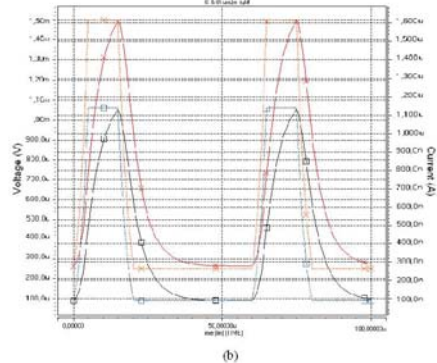


Fig. 8. A basic OLED Driver.



(a)



(b)

Fig. 9. (a) The Input pulse used and (b) the simulated Output of the OLED Driver (Source node Voltage: line, Drain current: dots and with light: x, without light: square)

Next, the circuit was again simulated with the same input, but with a light intensity of $\Phi=2000$ LUX. The Output voltage and the drain current are plotted in figure 9. It can be noticed now that the maximum current has increased to $1.6\mu A$ (40%) with a corresponding increase for the output voltage at the source node.

The benefits from this current augmentation can be twofold. Firstly, with larger current the OLED loads faster, and, thus, the frequency of the picture changes on the display can be higher. Secondly, as it is known, the brightness of an OLED pixel is controlled by the current absolute value [10], [9] and [11] and in many cases the dependency is linear. Therefore, the application of a suitable driver, that takes advantage of the above characteristic, may result in a display, which can be

automatically adjusted to the brightness of its environment.

V. CONCLUSION

The model that can predict the variation of the drain current of TFTs at different light intensities has been integrated to a SPICE Simulation Program. It has been applied to excimer laser annealed polysilicon TFTs and it was validated successfully using SPICE and Matlab.

This light-dependent drain current variation reveals the light sensing property of the TFTs and it can be used in various applications. For example, it could be exploited for the design of a light sensitive driver circuit for LCDs or OLEDs, so that the brightness of the screen could be automatically adjusted to the light intensity of the environment.

REFERENCES

- [1] N. P. Papadopoulos, A. A. Hatzopoulos, D. K. Papakostas, C. A. Dimitriadis, S. Siskos, 'Estimating the influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region', *Melecon 2006, The 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, May 16-19, 2006, Benalmadena (Málaga), Spain
- [2] G. D. N. Yang, Y. K. Fang, C. H. Chen, C. C. Hung, F. C. Tsao, S. G. Wu, and M. S. Liang, 'To suppress photoexcited current of hydrogenated polysilicon TFTs with low temperature oxidation of polychannel', *IEEE Electron Dev. Lett.*, Vol. 22, pp. 23-25, 2001
- [3] J. R. Ayres, S. D. Brotherton, I. R. Clarence, and P. J. Dobson, 'Photocurrents in poly-Si TFTs', *Inst. Elec. Eng. Proc. Circuits Devices Syst.*, vol. 141, pp. 27-32, 1994.
- [4] C. A. Dimitriadis, A. Alexandrou, and N. A. Economou, 'Electrical properties of polycrystalline silicon layers under solar illumination', *J. Appl. Phys.*, Vol. 60, pp. 3651-3655, 1986.
- [5] M. Mitsuhashi and J. Stoemenos, 'Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films', *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 5556-5563, 1999.
- [6] C. T. Angelis, C. A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F. V. Farmakis, G. Kamarinos, J. Brini, and J. Stoemenos, 'Effect of excimer laser annealing on the structural and electrical properties of polycrystalline silicon thin-film transistors', *J. Appl. Phys.*, vol. 86, pp. 4600-4606, 1999.
- [7] A. T. Hatzopoulos, D. H. Tassis, N. A. Hastas, C. A. Dimitriadis, and G. Kamarinos, 'On-state drain current model of large-grain poly-Si TFTs based on carrier transport through latitudinal and longitudinal grain boundaries', *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 52, pp. 1727-1733, 2005.
- [8] Mark D. Jacunski, Michael S. Shur, Albert A. Owusu, Trond Ytterdal, Michael Hack, and Benjamin Iniguez, 'A Short-Channel DC SPICE Model for Polysilicon Thin-Film Transistors Including Temperature Effects', *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 46, no. 6, June 1999
- [9] Chishto Hosokawa, Hisahiro Higashi, Hiroaki Nakamura, and Tadashi Kusumoto, 'Highly efficient blue electroluminescence from a distyrylarylene emitting layer with a new dopant', *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 67, No. 26, 25 December 1995
- [10] C.W.Tang, S.A.VanSlyke, and C.H.Chen, 'Electroluminescence of doped organic thin films', *J.Appl.Physics*, 65(9), 1 May 1989
- [11] Hack M., Lu M.H., Kwong R., Weaver M.S., Tung Y.-J., Chwang A., Brown J.J., 'Lasers and Electro-Optics Society', 2003. LEOS 2003. *The 16th Annual Meeting of the IEEE*, Volume 2, 2003 Page(s):531 - 532 vol.2

Modeling the impact of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors at the sub-threshold region

N.P. Papadopoulos^{a,*}, A.A. Hatzopoulos^a, D.K. Papakostas^b, C.A. Dimitriadis^c, S. Siskos^d

^aDepartment of Electrical and Computer Engineering, Electronics Laboratory, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Greece

^bDepartment of Electronics, Alexander Technological & Educational Institute of Thessaloniki, P.O. BOX 141, 57400, Greece

^cDepartment of Physics, Microelectronic Device Characterization and Design Laboratory, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Greece

^dDepartment of Physics, Electronics Laboratory, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Greece

Received 2 May 2006; accepted 10 July 2006

Available online 6 September 2006

Abstract

The impact of the light illumination on the drain current of polycrystalline silicon thin-film transistors (TFT) is studied in this work. The increase of the output current as a result of raised light intensity is modeled, based on measured experimental data for different V_{ds} and V_{gs} values and transistor sizes W/L . The proposed model has been verified against the measurements and the simulated output characteristics give a good approximation in the sub-threshold region.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Thin-film transistor (TFT); Light; Illumination; Impact; Model; Polycrystalline; Sub-threshold region

1. Introduction

The influence of light on the performance of polycrystalline thin-film transistors (TFTs) has been studied for many years [1,2]. It has been shown that, under light illumination, basic parameters like grain boundary (GB) potential barrier height, mobility, GB recombination velocity, minority-carrier lifetime and diffusion length are modified [3]. The result of the modification is practically revealed by an increase of the drain current of the TFT, which can be used in various applications, such as for LCD brightness adjustment. This performance is studied in this work and the influence of the light intensity on the drain current is modeled and experimentally verified. The derived expression is the ratio of the drain current under illumination over the drain current in dark.

In the following, measurements of the output and transfer characteristics of TFTs under various operating

conditions and light intensities are presented in Sections 2 and 3, respectively, and the effect of light on the mobility and the potential barrier height are shown. The proposed model for the impact of light is given in Section 4, together with some simulation results obtained from application of the proposed light-impact model on a typical TFT. The paper is concluded with a discussion and comments for further work.

2. Measurements of output characteristics

The measured polysilicon TFTs were fabricated on solid-phase crystallised polysilicon layer (48 nm thick), irradiated at room temperature in air ambient by KrF excimer laser with energy density 260 mJ/cm^2 . A standard n-channel metal-oxide-semiconductor (NMOS) self-aligned process was used to fabricate devices of gate width $W = 100, 50, 10 \mu\text{m}$ and gate length $L = 10, 20, 50 \mu\text{m}$ (various combinations of W/L). As gate insulator, a 120 nm thick SiO_2 was deposited by ECR-PECVD at 100°C . Details for the device fabrication processes are presented elsewhere [4,5].

For the measurements a SUSS Microtec probe station was utilised with proper probetips and a white light source.

*Corresponding author.

E-mail addresses: nikosp@auth.gr (N.P. Papadopoulos), alkis@eng.auth.gr (A.A. Hatzopoulos), dpapakos@el.teithe.gr (D.K. Papakostas), cdimitri@physics.auth.gr (C.A. Dimitriadis), siskos@physics.auth.gr (S. Siskos).

The light intensity was adjusted at the desired levels by using a light intensity luxmeter of MetraWatt. The measured output characteristics of these TFTs are shown in Figs. 1 and 2 for $V_{gs} = 2$ and 4V, respectively, and

for different levels of illumination ($\Phi = 0, 500, 1000, 2000, 3000$ lx). It can be noticed that the influence of light on the current I_d is reduced as the V_{gs} voltage is increased. For $V_{gs} < 3$ V, the drain current increase from 'dark' to 5000 lx

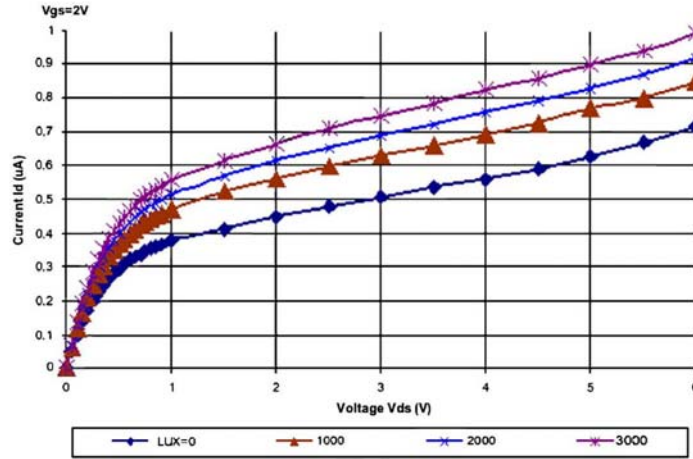


Fig. 1. The measured output characteristics of a TFT with $W/L = \frac{10}{0.1}$ μm for $V_{gs} = 2$ V and various levels of light intensity ($\Phi = 0, 1000, 2000, 3000$ lx).

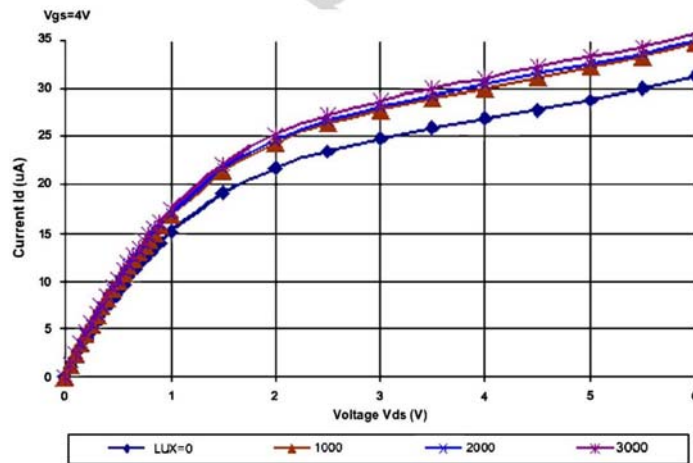


Fig. 2. The measured output characteristics of a TFT with $W/L = \frac{10}{0.1}$ μm for $V_{gs} = 4$ V and various levels of light intensity ($\Phi = 0, 1000, 2000, 3000$ lx).

can be up to 50%. For $V_{gs} = 4\text{ V}$, the drain current increase is up to 9%. Measurements for larger values of V_{gs} ($= 5, 6, 7\text{ V}$) show that the effect of the light becomes almost negligible. Therefore, our study is focused in the sub-threshold region ($V_{gs} < 4\text{ V}$, since $V_T \approx 4\text{ V}$ for our transistors).

The variation of the drain current I_d with the light intensity Φ (in lx) is plotted in Figs. 3 and 4 for $V_{gs} = 1.5$ and 2.5 V , respectively and for various values of the drain voltage V_{ds} (1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5 V). It is clear that the current variation with the light intensity is different for two different V_{gs} voltages. Furthermore, the ‘dark’ current may

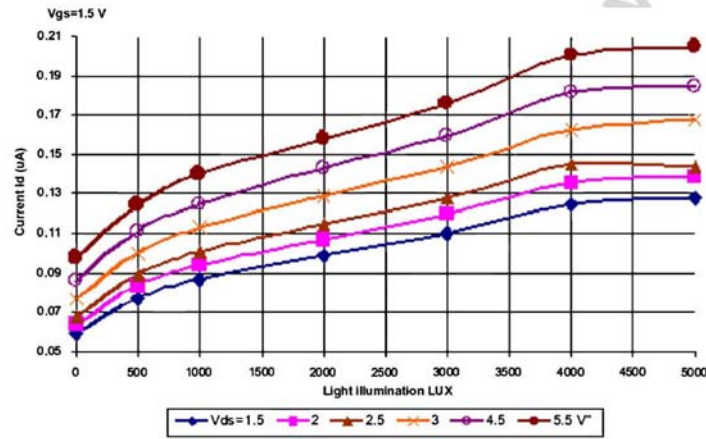


Fig. 3. The measured I_d of a TFT with $W/L = \frac{100}{10}\ \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx for different V_{ds} ($= 1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5\text{ V}$) for $V_{gs} = 1.5\text{ V}$.

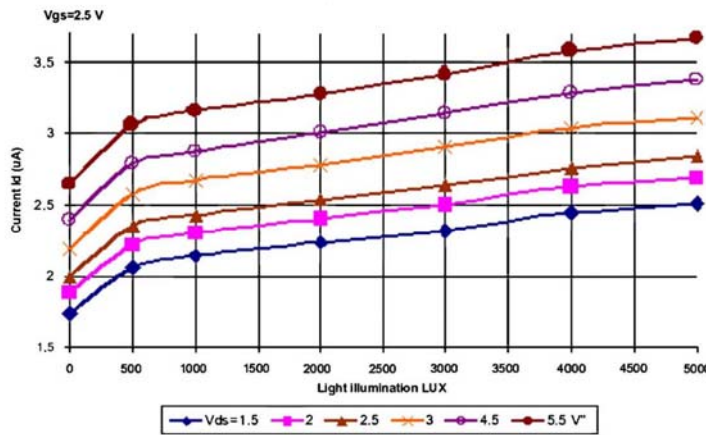


Fig. 4. The measured I_d of a TFT with $W/L = \frac{100}{10}\ \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx for different V_{ds} ($= 1.5, 2, 2.5, 3, 4.5, 5.5\text{ V}$) for $V_{gs} = 2.5\text{ V}$.

not be precisely predicted by the known TFT models. To overcome these difficulties, the current ratio $I_d/I_{d, \text{dark}}$ as a function of the light intensity Φ , the bias voltages V_{ds} and V_{gs} and the transistor sizes W, L will be modeled.

3. Measurements of transfer characteristics

The measured transfer characteristics (I_d versus V_{gs} , for $V_{ds} = 0.5 \text{ V}$) of a typical TFT are shown in Fig. 5 for various levels of illumination ($\Phi = 0, 1000, 2000, 4500 \text{ lx}$). From the analysis of the transfer characteristics, we can also estimate the effect of the light intensity on the effective carrier mobility μ_{eff} of the TFT. The drain current of a

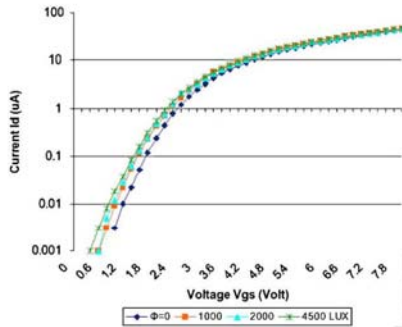


Fig. 5. Transfer characteristics of a TFT $W/L = \frac{100}{10} \mu\text{m}$ for various levels of illumination ($\Phi = 0, 1000, 2000, 4500 \text{ lx}$).

TFT in the linear region can be expressed as [6]:

$$I_d = \frac{W}{L} \mu_{\text{eff}} C_{\text{ox}} (V_g - V_{\text{inv}}) V_d \tag{1}$$

where C_{ox} is the gate capacitance per unit area and V_{inv} is the charge inversion voltage. Considering an array of square grains, where the drain current can follow the path either along the GBs or through the grains and across the GBs, the effective carrier mobility depends on the GB barrier height V_b through the relationship [6]:

$$\mu_{\text{eff}} = \frac{\mu_{\text{gl}}}{1 + \frac{w}{L_g - w} \exp \frac{qV_b}{kT}} \tag{2}$$

$$qV_b = \frac{0.56}{1 + \frac{q(V_g - V_{\text{inv}})}{E_t}} \tag{3}$$

where μ_{gl} is the mobility for a carrier within the interior region of the grain, w is the width of the depletion region at the GB, L_g is the average grain size of the polysilicon layer, E_t is related to the filling of the traps and, thus, to the quality of the polysilicon material and V_{inv} is the inversion voltage.

Fit of the experimental I_d versus V_{ds} data with Eqs. (1) (3) enables the determination of the parameters $V_{\text{inv}}, E_t, \mu_{\text{gl}}$ and the effective mobility μ_{eff} . In this expression, the light illumination is expected to affect the effective mobility μ_{eff} through the barrier height V_b . Based on the measurements and the technology parameters of the studied TFT, the parameter μ_{eff} is calculated for each light intensity. The ratio of the effective mobility under certain light intensity over the effective mobility in dark ($\mu_{\text{eff}}/\mu_{\text{eff-dark}}$) as a function of the light intensity is plotted in Fig. 6. It can be easily seen that the effect of the light for low V_{gs} is more significant than

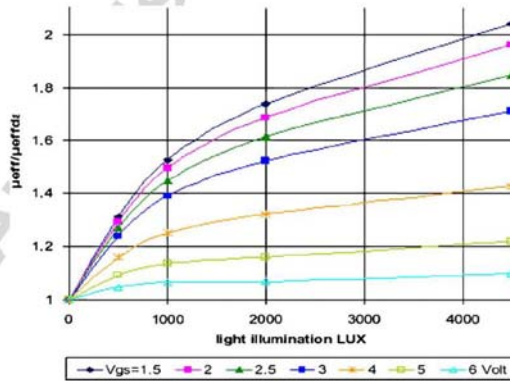


Fig. 6. The effective mobility ratio ($\mu_{\text{eff}}/\mu_{\text{eff-dark}}$) of a TFT $W/L = \frac{100}{10} \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx for different V_{gs} and $V_{ds} = 0.5 \text{ V}$.

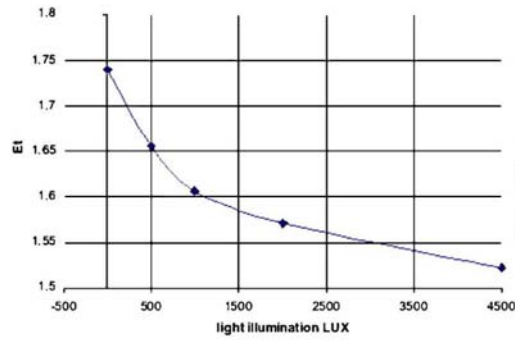


Fig. 7. The grain boundary parameter E_t of the polysilicon of a TFT $W/L = \frac{100}{10} \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx, extracted from the transfer characteristics.

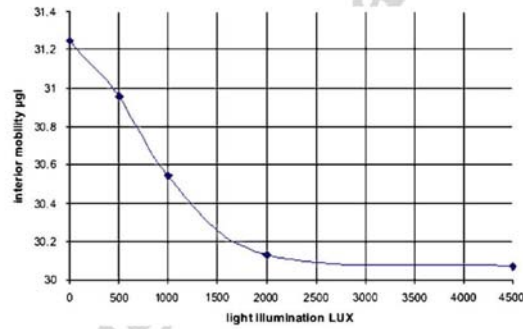


Fig. 8. The interior mobility of a TFT $W/L = \frac{100}{10} \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx, extracted from the transfer characteristics.

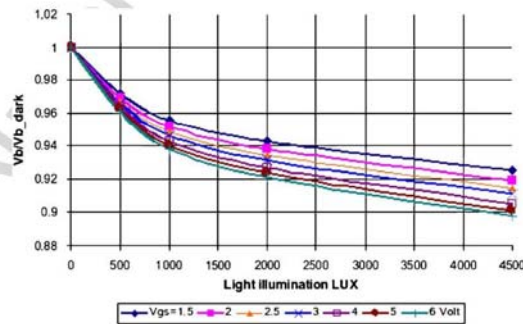


Fig. 9. The ratio of the grain boundary barrier height (V_b/V_{b_dark}) of a TFT $W/L = \frac{100}{10} \mu\text{m}$ versus the light intensity measured in lx, extracted from the transfer characteristics.

that for higher V_{gs} voltages. For example, for $V_{gs} = 1.5$ V the effective mobility is almost doubled at $\phi = 4000$ lx, while it is increased by about 40% for $V_{gs} = 4$ V.

The effect of the light illumination on the parameters E_t , μ_{eff} and V_b is presented in Figs. 7–10, respectively. As it can be seen the GB parameter E_t of the polysilicon material and the interior mobility (μ_{eff}) is degraded as the light intensity is increased. Finally, the effect of the light on the GB barrier height (V_b) for low V_{gs} is less significant than that for higher V_{gs} voltages.

4. Drain current modeling

The output characteristics (I_{ds} versus V_{ds}) of the studied TFT were measured for V_{ds} voltages up to 6 V, for V_{gs} up to 4 V and for light intensities from 0 lx (noted as I_{dark}) to 5000 lx. The ratio I_d/I_{dark} was calculated in each case and a fitting procedure was implemented by using the Software TableCurve 2D. After some simplifications, we derived the following expression, which adequately approximates all of the

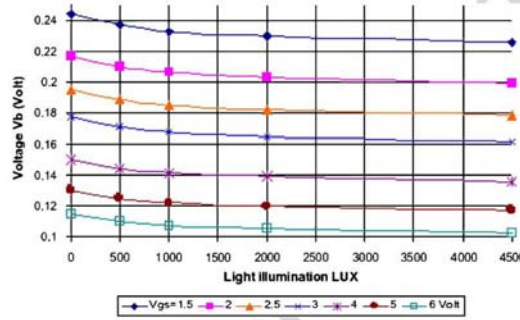


Fig. 10. The grain boundary barrier height (voltage V_b) of a TFT $W/L = \frac{100}{10}$ μm versus the light intensity measured in lx, extracted from the transfer characteristics.

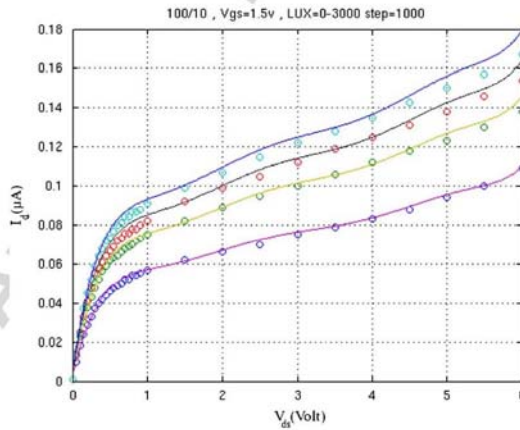


Fig. 11. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\phi = 0, 1000, 2000, 4500$ lx) and for $V_{gs} = 1.5$ V for $\frac{100}{10}$ μm TFT.

measured data:

$$\frac{I_d}{I_{dark}} = 1.0175 \exp\left(-5.4 \times 10^{-5} V_{ds}^2 + A \frac{\sqrt{\Phi}}{(V_{gs})^{1.658}}\right), \quad (4)$$

where

$$A = 0.0134 + 4.12 \times 10^{-6} \cdot W \cdot L \quad (5)$$

the light intensity Φ is expressed in lx and W, L in μm . The defined coefficient $f = I_d/I_{dark}$ can be applied under all of

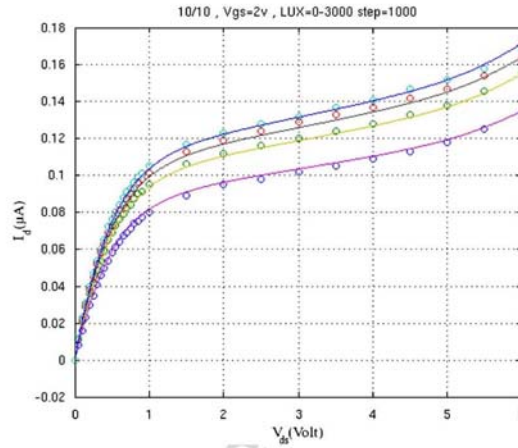


Fig. 12. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi = 0, 1000, 2000, 4500\text{lx}$) and for $V_{gs} = 2\text{V}$ for $\frac{10}{10}\mu\text{m}$ TFT.

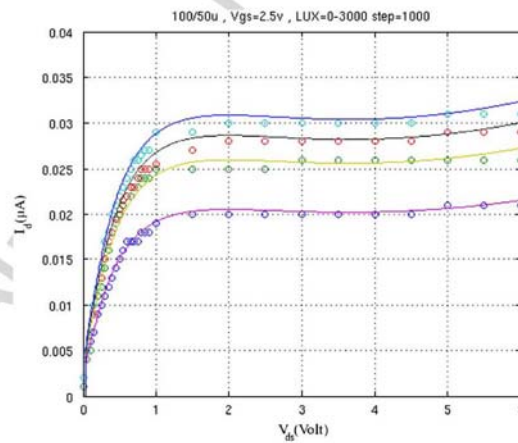


Fig. 13. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\Phi = 0, 1000, 2000, 4500\text{lx}$) and for $V_{gs} = 2.5\text{V}$ for $\frac{100}{50}\mu\text{m}$ TFT.

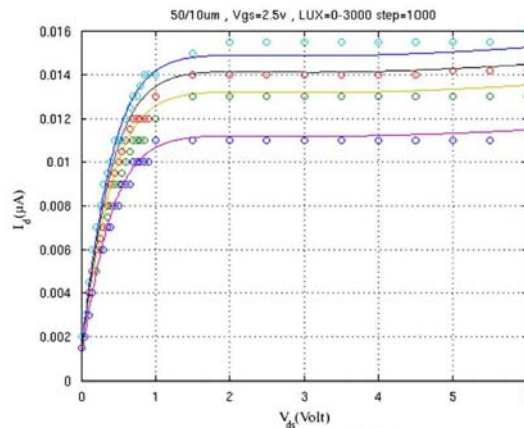


Fig. 14. Simulated output current (line) and experimental results (circles) for different levels of light illumination ($\phi = 0, 1000, 2000, 4500 \text{ lx}$) and for $V_{gs} = 2.5 \text{ V}$ for $\frac{50}{10} \mu\text{m}$ TFT.

the above mentioned operating conditions and, provided that the 'dark' current of a TFT is known, we can easily compute the current I_d for any light illumination intensity. It can be noticed that the light intensity coefficient A is a linear function of the gate area (WL) occupied by the transistor.

For the validation of the proposed coefficient, a mathematical tool (Matlab) has been utilised to calculate the impact of the light on the drain current by using Eq. (4). The characteristic corresponding to the 'dark' current was calculated by fitting as a polynomial expression. Indicative simulated results, together with the corresponding experimental measurements, are plotted in Figs. 11–14 for various transistor sizes and V_{gs} voltages, as mentioned at their captions, showing very good agreement.

5. Conclusions and discussion

A model which can predict the variation of the drain current of TFTs at different light intensities has been presented. It has been applied to excimer laser annealed polysilicon TFTs and it was validated successfully for various transistor sizes and V_{gs} voltage values in their sub-threshold region ($V_{gs} \leq 4 \text{ V}$). The effect of the light illumination on the parameters E_t , μ_{gs} , and V_b has also been studied, based on measurements of the transfer characteristics.

This light-dependent drain current variation reveals the light sensing property of the TFTs and it can be used in various applications. For example, it could be exploited for

the design of a light sensitive driver circuit for LCDs, so that the brightness of the screen could be automatically adjusted to the light intensity of the environment.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Greek Ministry of Education for the partial financial support of this work in the frame of the 'PYTHAGORAS' research project.

References

- [1] G.D.N. Yang, Y.K. Fang, C.H. Chen, C.C. Hung, F.C. Tsao, S.G. Wu, M.S. Liang, To suppress photoexcited current of hydrogenated polysilicon TFTs with low temperature oxidation of polychannel, IEEE Electron Device Lett. 22 (2001) 23–25.
- [2] J.R. Ayres, S.D. Brotherton, I.R. Clarenee, P.J. Dobson, Photo-currents in poly-Si TFTs, IEE Proc. Circuits Devices Syst. 141 (1994) 27–32.
- [3] C.A. Dimitriadis, A. Alexandrou, N.A. Economou, Electrical properties of polycrystalline silicon layers under solar illumination, J. Appl. Phys. 60 (1986) 3651–3655.
- [4] M. Mitsutoshi, J. Stoemenos, Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films, J. Appl. Phys. 86 (1999) 5556–5565.
- [5] C.T. Angelis, C.A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F.V. Farnakis, G. Kamarinos, J. Brini, J. Stoemenos, Effect of excimer laser annealing on the structural and electrical properties of polycrystalline silicon thin-film transistors, J. Appl. Phys. 86 (1999) 4600–4606.
- [6] A.T. Hatzopoulos, D.H. Tassis, N.A. Hastas, C.A. Dimitriadis, G. Kamarinos, On-state drain current model of large-grain poly-Si TFTs based on carrier transport through latitudinal and longitudinal grain boundaries, IEEE Trans. Electron Devices 52 (2005) 1727–1733.