



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 2^ο: Αρχές λειτουργίας των ημιαγωγικών διατάξεων
Ενότητα 19^η: Επαφή οξειδίου-ημιαγωγού (Πυκνωτής MOS).
Τρανζίστορ MOSFET.

Γεώργιος Λιτσαρδάκης
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

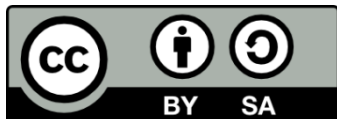


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





19. Επαφή οξειδίου-ημιαγωγού (Πυκνωτής MOS). Τρανζίστορ MOSFET.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

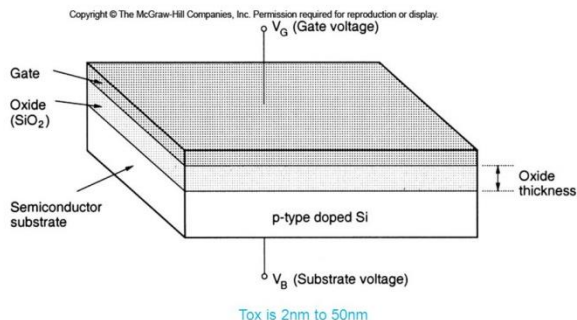
Περιεχόμενα ενότητας

1. Περιγραφή.
2. Flat-Band Voltage.
3. Φορτία στην επαφή οξειδίου-ημιαγωγού.
4. Αραίωση.
5. Αντιστροφή.
6. Χαρακτηριστική I-V του MOSFET.
7. MOSFET πύκνωσης.
8. MOSFET αραίωσης.
9. CMOS.



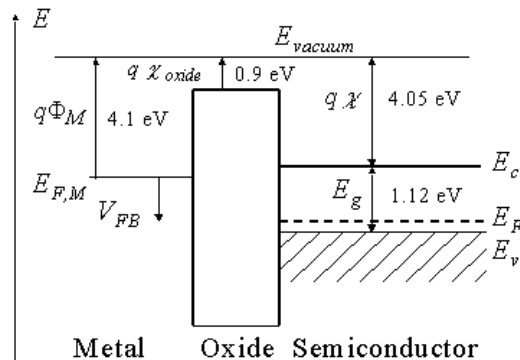
Επαφή οξειδίου - ημιαγωγού : Πυκνωτής M-O-S

Two-Terminal MOS Structure



Two-Terminal MOS Structure Tox is 2nm to 50nm
Σχηματική αναπαράσταση MOS κατασκευής.

Πηγή: Διαφάνεια 2 - Presentation on theme: "The MOS Transistor Polysilicon Aluminum. Two-Terminal MOS Structure Tox is 2nm to 50nm." - Publish Lawrence Maddock – Mc Graw-Hill Companies, Inc. http://images.slideplayer.com/14/4215177/slides/slide_2.jpg
<http://slideplayer.com/slide/4215177/>



Ενεργειακές ζώνες μίας MOS δομής.

Πηγή: University of Colorado Boulder -
Principles of Electronic Devices - B. Van
Zeghbroeck, 2011 - chapter6
http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter6/gif/fig6_2_4.gif

Σε πραγματικό πυκνωτή MOS υπάρχουν επιφανειακές καταστάσεις που ανυψώνουν τις ενεργειακές ζώνες (φορτία σε μηδενική πόλωση)



Flat-band voltage

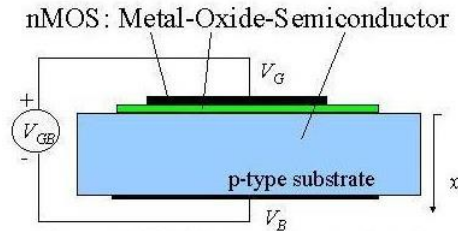
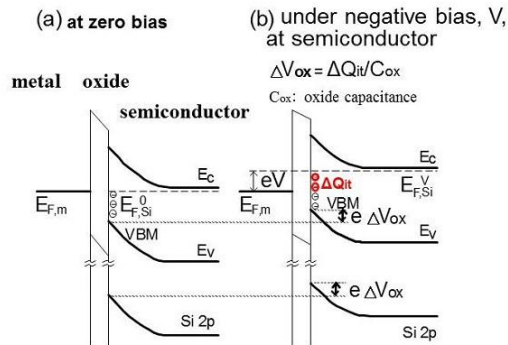


Figure 1: MOS capacitance structure
Χωρητικότητα MOS κατασκευής.

Πηγή: jbcapacitors blog - Structure and principle of operation
<http://www.jbcapacitors.hk/upload/0124.jpg>
http://www.jbcapacitors.hk/post/2011_1.html

Με τάση $V_G = V_{FB}$
οι ενεργειακές ζώνες
γίνονται οριζόντιες ($dE/dx=0$, τα
φορτία στον πυκνωτή μηδενίζονται)

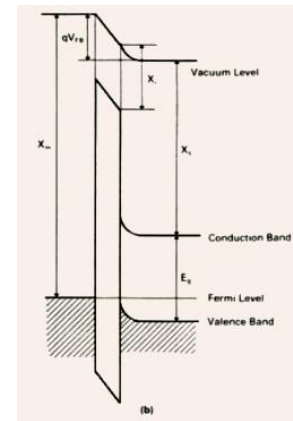


Συμπεριφορά ενεργειακών ζωνών υπό την επιβολή αρνητικού δυναμικού.
Principle of observation of interface states by means of XPS measurements under bias: (a) band diagram of MOS structure at zero bias; (b) that under negative bias V applied to the semiconductor with respect to the metal layer.

Πηγή: Study on semiconductor interfaces – Kobayasi Lab.
<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/fcm/f25.JPG>
<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/fcm/research3-en.html>

$$\chi_m = E_g - E_F + \chi_s + eV_{FB}$$

$$eV_{FB} = \chi_m - \chi_s - E_g + E_F$$

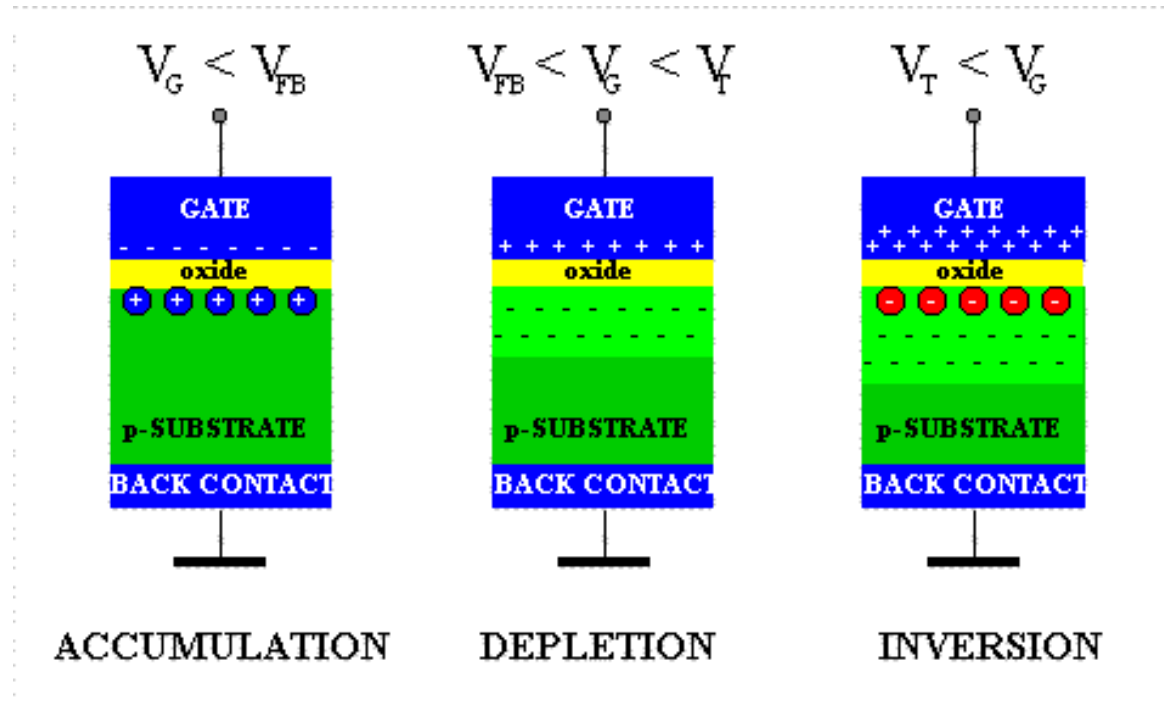


Band diagram of a two-terminal MIS structure at zero gate voltage, showing accumulation of holes near the surface. V_{FB} is the flatband voltage, X_m is the metal work function, X_i is the electron affinity of the insulator, X_s is the electron affinity of the semiconductor, and E_g is the band gap of the semiconductor. Καμπύλωση ενεργειακών καταστάσεων σε σχέση με το επίπεδο Fermi μετά την επαφή.

Πηγή: Basic Physics and Band Diagrams for MOS Capacitors – Semiconductor Devices - NPTEL
<http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/4a/34.gif>
<http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-Delhi/Semiconductor%20Devices/LMB2A/4a/4a.htm>

Φορτία στην επαφή O-S

- 1- accumulation
- 2- Depletion
- 3- Inversion

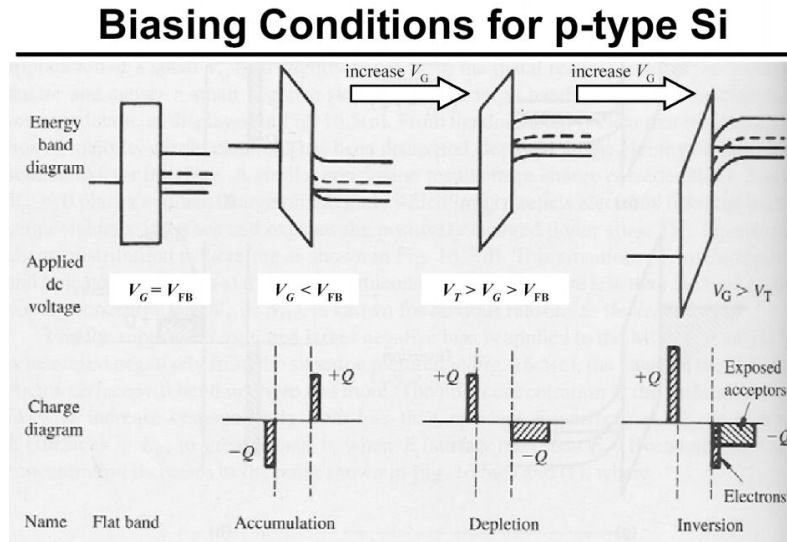


Οι τρεις τρόποι πόλωσης του MOS.

Πηγή: jbcapacitors blog - Structure and principle of operation
http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter6/gif/fig6_2_2.gif
http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter6/ch6_2.htm



ΠΥΚΝΩΤΗΣ MOS



Professor N Cheung, U.C. Berkeley

14

Οι τρεις τρόποι πόλωσης του MOS.

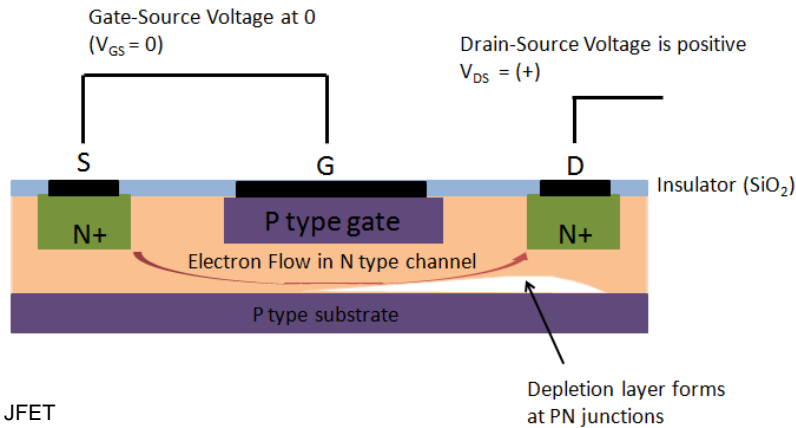
Πηγή: U.C. Berkeley - Professor N Cheung

http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee143/fa10/lectures/Lec_22.pdf

Όταν η τάση στην πύλη $V_G > V_T$ (τάση αντιστροφής ή «κατωφλίου»), ο τύπος του ημιαγωγού αντιστρέφεται (από p γίνεται n) και δημιουργείται στρώμα αντιστροφής από **κινούμενα φορτία** (ηλεκτρόνια)



Τρανζίστορ MOSFET

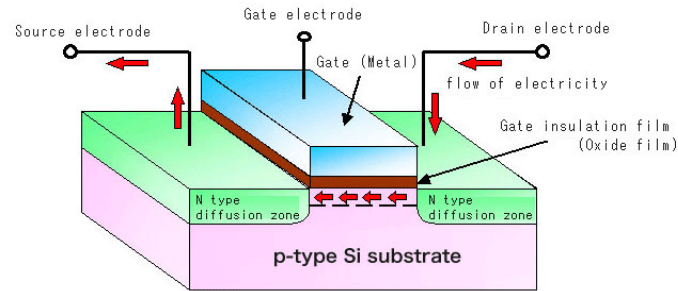


JFET

Πηγή: Rice University

<http://cnx.org/resources/af45464cf05e1a09fdc76281fcfeedb6559fc608/Picture%2027.png>
<http://cnx.org/contents/bc033053-d98b-4c32-9767-a74ac3c2af05@1>

- Στρώμα οξειδίου (μονωτή) στην πύλη
- Normally OFF –το κανάλι **επάγεται** από την τάση της πύλης (στρώμα αντιστροφής)
- Ρεύμα πύλης μηδέν

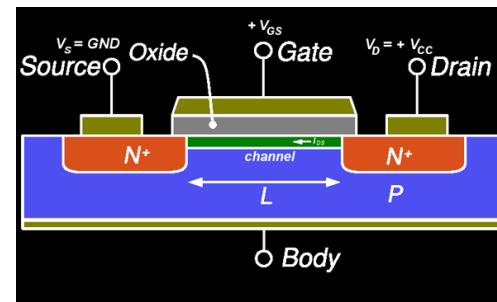


Construction of MOSFET

MOSFET

Πηγή: Historias de Transistores, Silicios y Nanotubos
 Publicado: 12 diciembre, 2014 en Tecnología

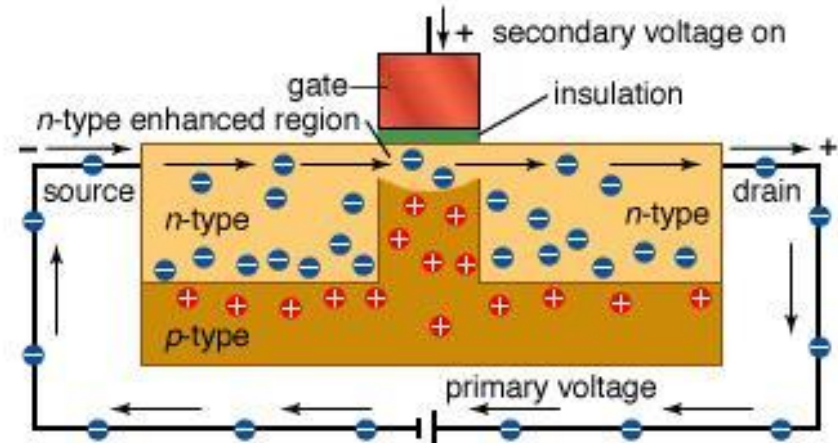
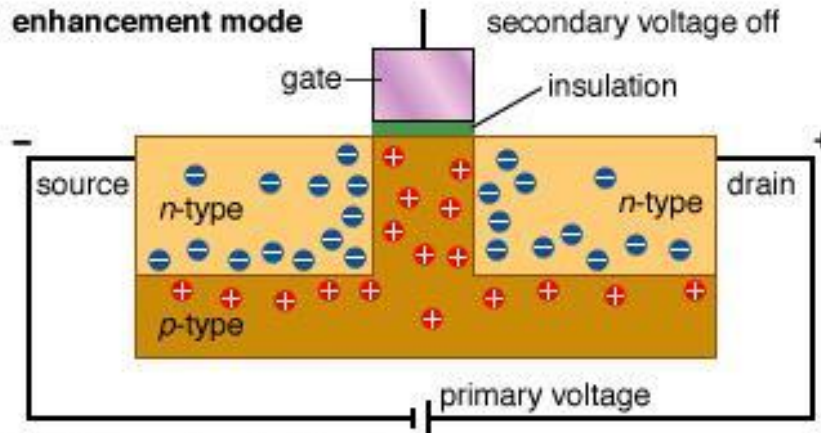
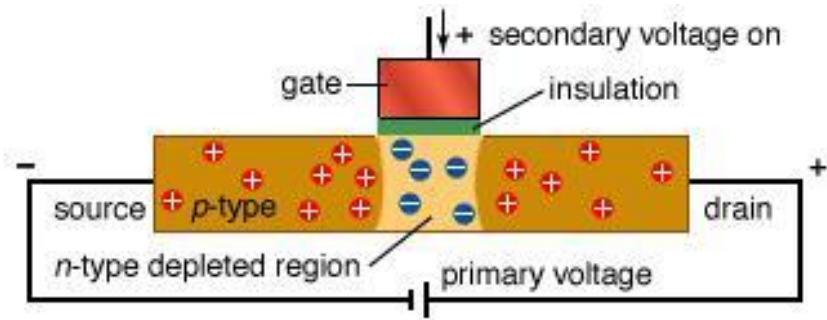
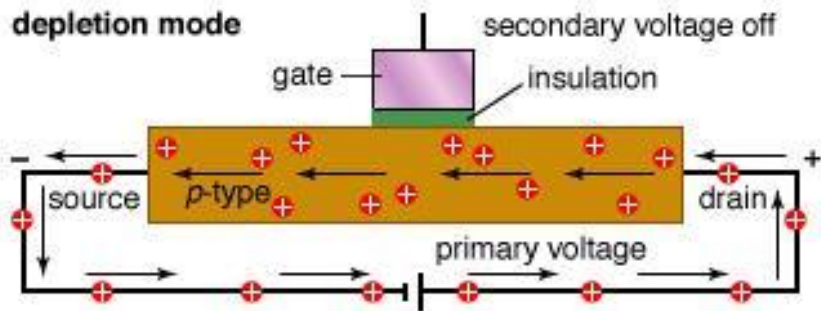
Etiquetas: 10 nm, Nanotubos, Tecnología, Transistores
<https://filotecnologia.files.wordpress.com/2013/08/mosfet-p.gif>
<https://filotecnologia.wordpress.com/tag/tecnologia/>



Πηγή: NanOU, Nanoelectronics

http://www.nano-ou.net/Images/MOSFET_diagram_channel.png
<http://www.nano-ou.net/eduNanoelectronics2.aspx>





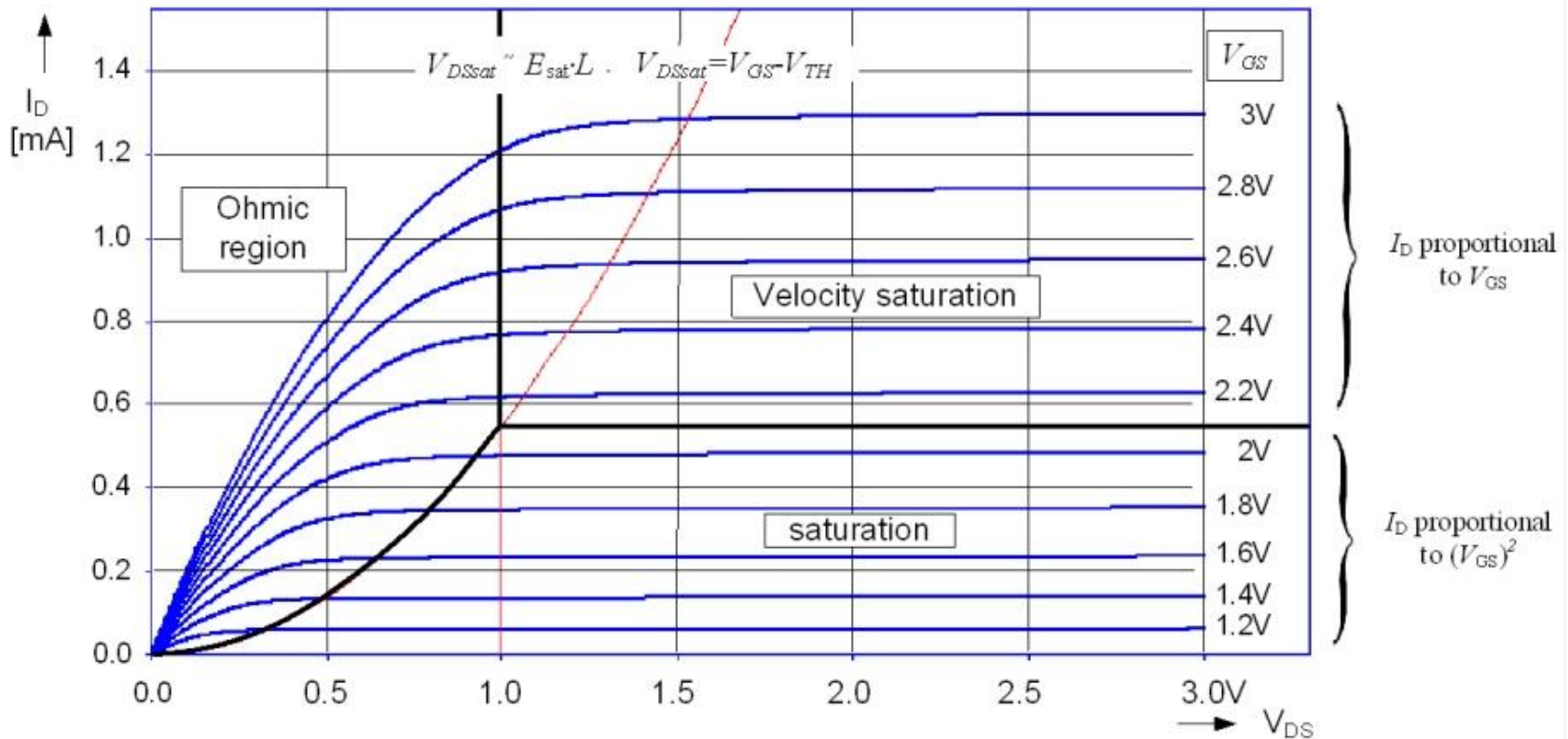
© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

Πηγή: Encyclopaedia Britannica, Inc.

<http://media-2.web.britannica.com/eb-media/39/76439-004-30D0275D.jpg>

<http://www.britannica.com/technology/integrated-circuit/images-videos/Depletion-mode-versus-enhancement-mode-MOSFETs-In-depletion-mode-metal/71006>

Χαρακτηριστική MOSFET



Πηγή: Current–voltage characteristic from Wikipedia, the free encyclopedia
http://postreh.com/vmichal/thesis/figures/img_chpt2/I-V_characteristic_transistor_MOS_linear_saturated_velocity_saturated.jpg
https://en.wikipedia.org/wiki/Current%E2%80%93voltage_characteristic



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λιτσαρδάκης Γεώργιος.
«Ημιαγωγά Υλικά: Θεωρία – Διατάξεις» Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS463>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

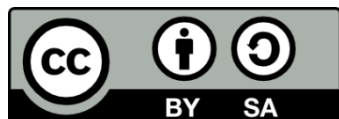
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Καρανάσιος Νικόλαος
Θεσσαλονίκη, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ