



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 2^ο: Αρχές λειτουργίας των ημιαγωγικών διατάξεων
Ενότητα 18^η:Επαφή μετάλλου ημιαγωγού. Δίοδος Schottky.

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



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.





18. Επαφή μετάλλου-ημιαγωγού. Δίοδος Schottky.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

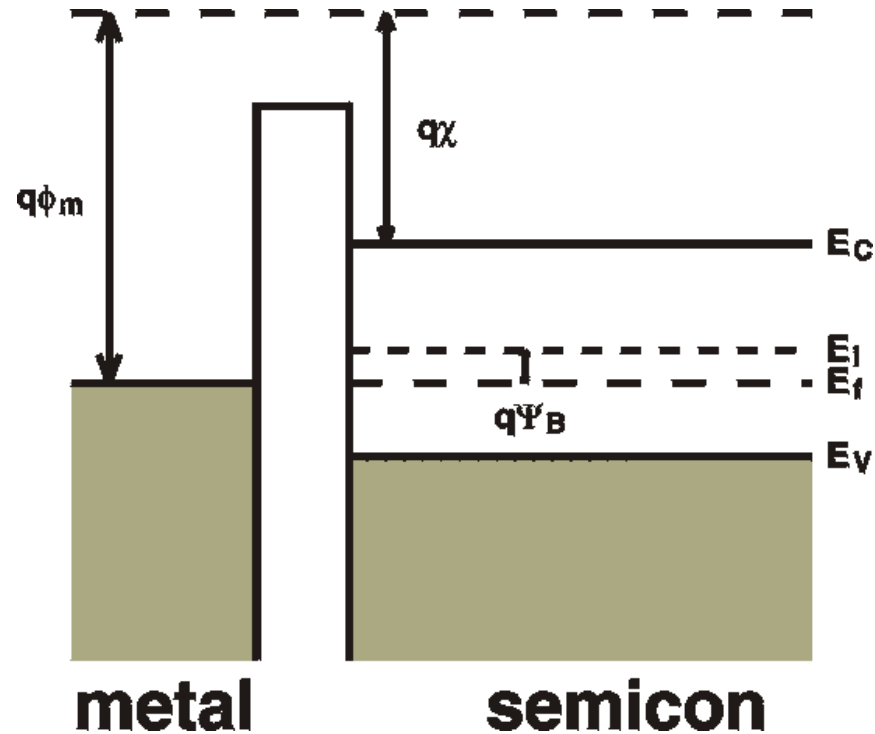
Περιεχόμενα ενότητας

1. Περιγραφή.
2. Φράγμα δυναμικού.
3. Ανορθωτική επαφή M-S.
4. Ομική επαφή M-S.
5. Επιφανειακές καταστάσεις.



Επαφή μετάλλου - ημιαγωγού

- Θεωρητικά είναι ομική ή ανορθωτική, ανάλογα με τη διαφορά των έργων εξόδου ϕ_m , ϕ_s
- έργο εξόδου
 $\phi = E_\infty - E_F$
- ηλεκτρονοσυγγένεια χ (electron affinity) $\approx 4\text{eV}$



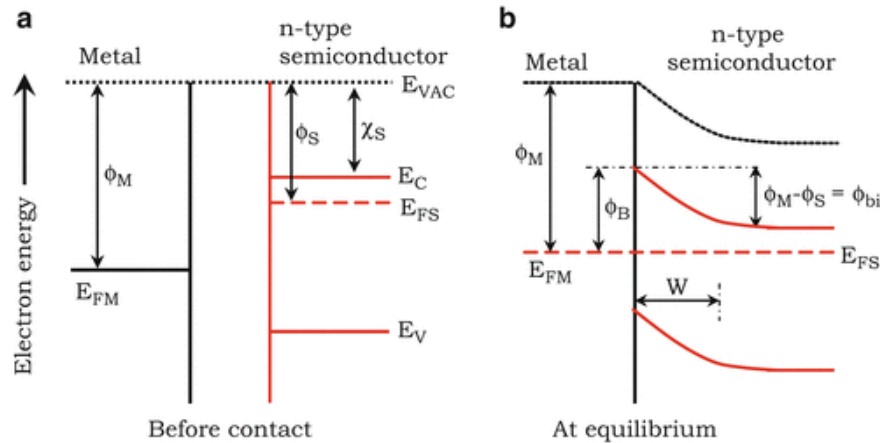
Επαφή μετάλλου-ημιαγωγού

Πηγή: <http://www.stallinga.org/ElectricalCharacterization/mosfet/mis.gif>
<http://www.stallinga.org/ElectricalCharacterization/mosfet/index.html>

$$\phi = \chi + (E_G - E_F)$$



Ανορθωτική επαφή M-S (δίοδος Schottky)



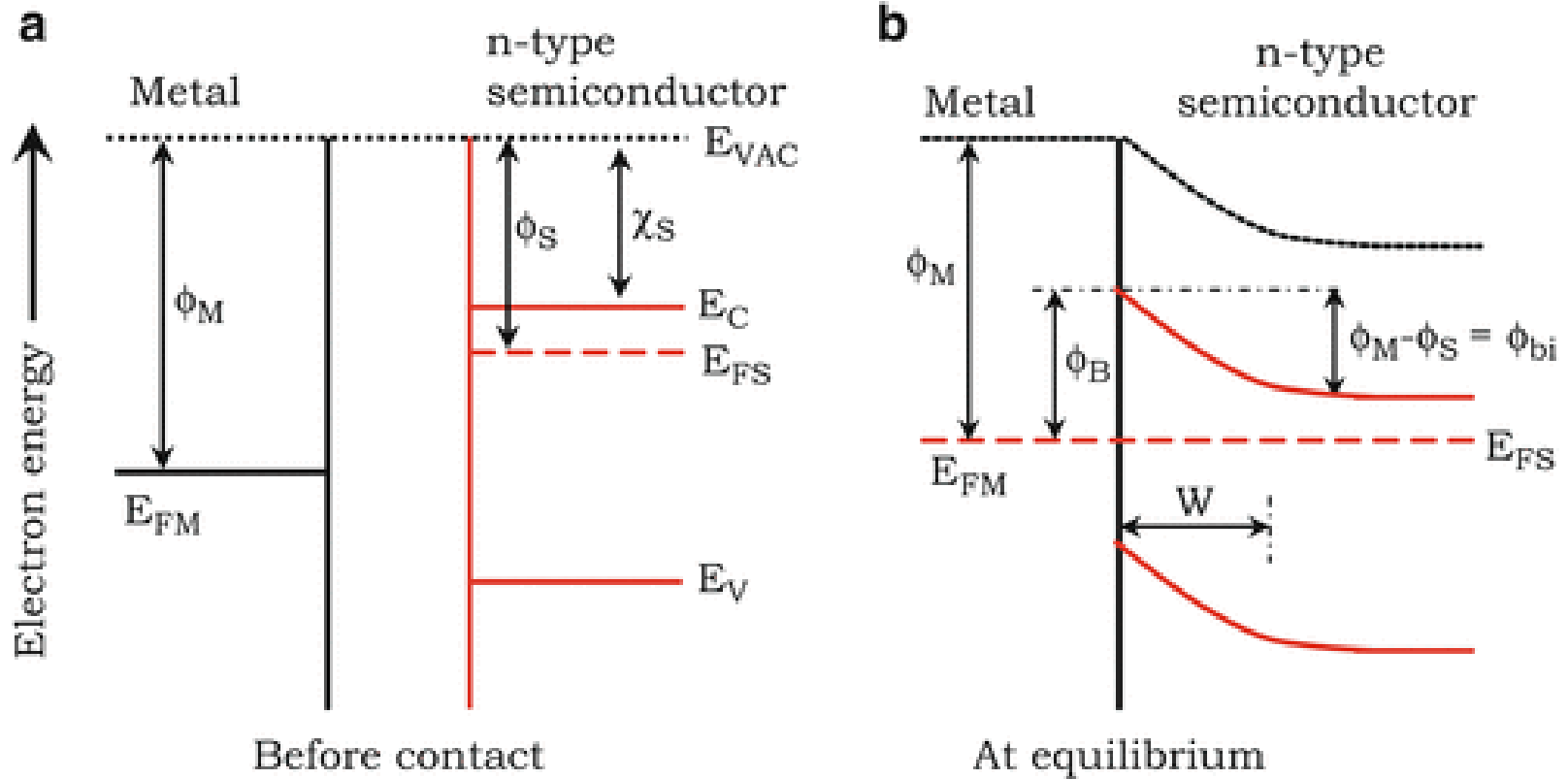
Ενεργειακές στάθμες πριν και μετά την επαφή μετάλλου-ημιαγωγού.

Πηγή: Reference Work Entry, Encyclopedia of Applied Electrochemistry pp 1882-1893
 Date: 25 September 2014, Semiconductor Junctions, Solid-Solid Junctions, Vidhya Chakrapani
http://static-content.springer.com/image/prt%3A978-1-4419-6996-5%2F18/MediaObjects/978-1-4419-6996-5_18_Part_Fig1-44_HTML.gif
http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-6996-5_44

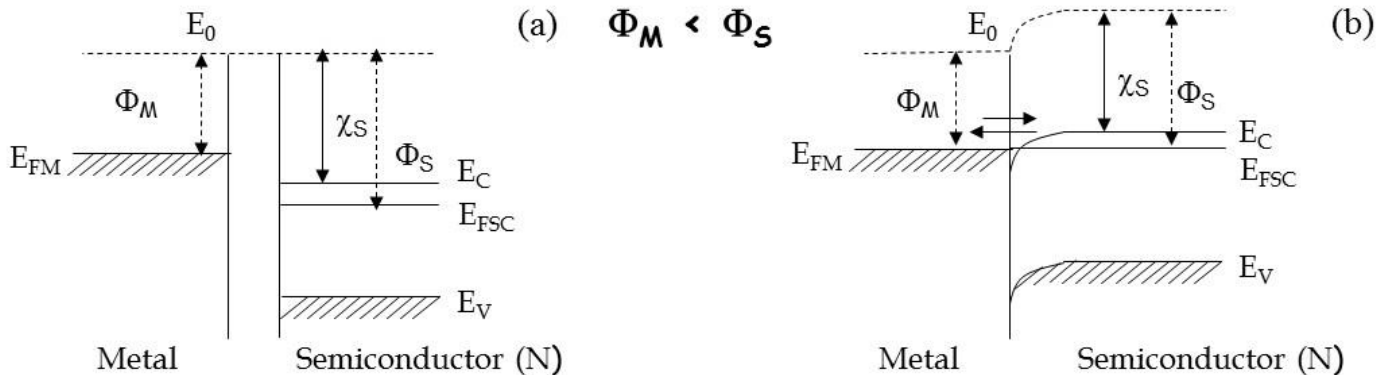
- ημιαγωγός τύπου n και $\phi_m > \phi_s$
- ηλεκτρόνια του ημιαγωγού κινούνται προς το μέταλλο, και αφήνουν πίσω τους θετικά **φορτία χώρου**
- **φράγμα δυναμικού** για τα ηλεκτρόνια
 - από το μέταλλο προς τον ημιαγωγό
 - από τον ημιαγωγό προς το μέταλλο

$$\phi_b = \phi_m - \chi$$

$$eV_b = \phi_m - \phi_s$$



Ομική επαφή M-S



Ενεργειακές στάθμες πριν και μετά την επαφή μετάλλου-ημιαγωγού.

Πηγή: 3C-SiC — From Electronic to MEMS Devices, By Jean-François Michaud, Marc Portail and Daniel Alquier, DOI: 10.5772/61020

<http://www.intechopen.com/source/html/48655/media/image2.jpeg>

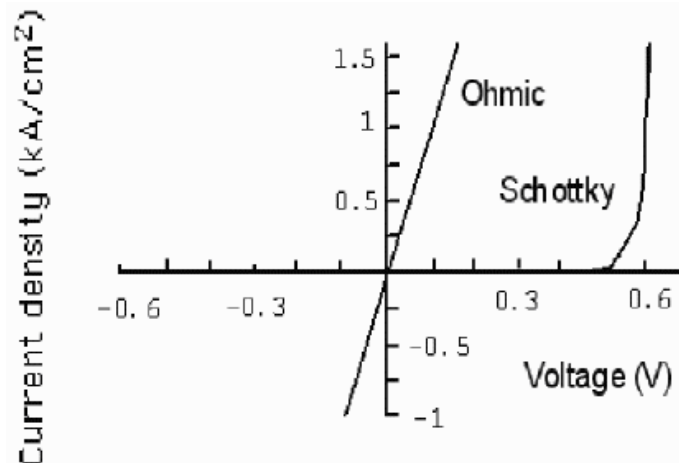
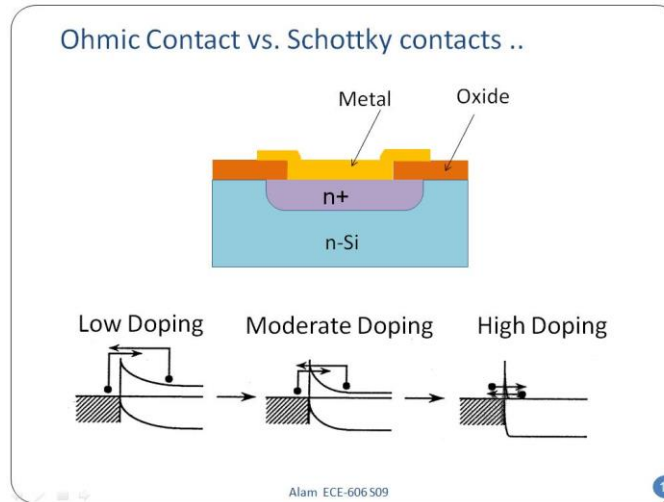
<http://www.intechopen.com/books/advanced-silicon-carbide-devices-and-processing/3c-sic-from-electronic-to-mems-devices>

- ημιαγωγός τύπου n με $\phi_m < \phi_s$ (ή ημιαγωγός τύπου p με $\phi_m > \phi_s$)
- Χαμηλώνουν οι ενεργειακές ζώνες - Δεν υπάρχει φράγμα δυναμικού – η E_F μέσα στη ζώνη αγωγιμότητας



Ομική επαφή M-S

- Στην πράξη ωμική επαφή μετάλλου-ημιαγωγού πετυχαίνουμε με πολύ ισχυρή πρόσμιξη στην επιφάνεια της επαφής, ώστε το φράγμα δυναμικού να είναι πολύ στενό και να διαπερνάται εύκολα με φαινόμενο σήραγγας



Ενεργειακές στάθμες πριν και μετά την επαφή μετάλλου-ημιαγωγού σε σχέση με το ποσοστό της νόθευσης..

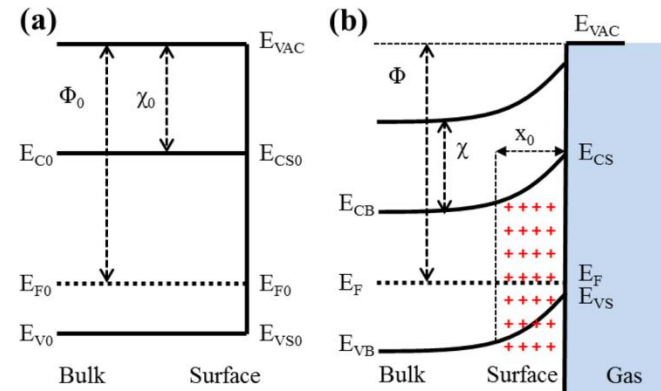
Πηγή: Διαφάνεια 15 - ECE 606: Solid State Devices - Professors Muhammad A. Alam and Mark Lundstrom
<https://nanohub.org/site/courses/12/3387/sli-des/015.02.jpg>
<https://nanohub.org/courses/ECE606/01a/outline/week8pnandmsdiodeelectrostatics-characteristics/lecture26schottkydiodeii>

Current-voltage characteristics of ohmic and Schottky barrier metal-semiconductor contacts to GaAs. (Schottky contact is to GaAs doped at $10^{15} cm^{-3}$.) Ohmic contact resistance is $10^4 \Omega cm^2$. Ωμική και Σότκυ συμπεριφορά.

Πηγή: The Metal-Semiconductor Junction. Schottky Diode. OHMIC CONTACTS - 2002 =Functional combinations in solid states= h.dr. V.Gavryushin, h.dr. A.Žukauskas
http://in.ncu.edu.tw/ncume_ee/SchottkyDiode_files/4_diod2.gif
http://in.ncu.edu.tw/ncume_ee/SchottkyDiode.htm

Επιφανειακές καταστάσεις

- εντοπισμένες ενεργειακές καταστάσεις μέσα στο ενεργειακό χάσμα (ελεύθεροι δεσμοί, ξένα άτομα)
- η επιφάνεια μπορεί να είναι φορτισμένη θετικά ή αρνητικά ή ουδέτερη.
- Σε ημιαγωγό τύπου n οι χαμηλότερες επιφανειακές καταστάσεις καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια, τα οποία αφήνουν φορτισμένα ιόντα δότη σε ένα βάθος ℓ .
- Αυτά τα θετικά ιόντα, που εξισορροπούν τα επιφανειακά ηλεκτρόνια, αποτελούν φορτία χώρου και συγκροτούν μια περιοχή αραίωσης.
- Οι ενεργειακές ζώνες ανασηκώνονται – η επαφή $M-S$ είναι ανορθωτική, ανεξάρτητα από το έργο εξόδου του μετάλλου



Επιφανειακές Ενεργειακές Καταστάσεις

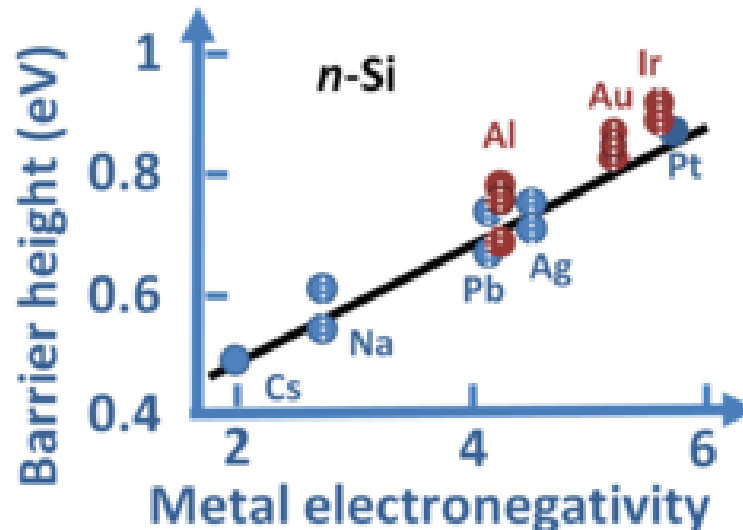
Πηγή: Sensors 2013, 13(1), 865-874; doi:10.3390/s130100865
Article: Sensing Performance of Precisely Ordered TiO₂
Nanowire Gas Sensors Fabricated by Electron-Beam
Lithography, Wei-Cheng Tian 1,2,3,* , Yu-Hsuan Ho 2, Chao-Hao
Chen 2,3 and Chun-Yen Kuo 3
http://www.mdpi.com/sensors/sensors-13-00865/article_deploy/html/images/sensors-13-00865f4-1024.png
<http://www.mdpi.com/1424-8220/13/1/865/htm>

E_{F0} η στάθμη
ηλεκτρικής ισορροπίας
της επιφάνειας



Φράγμα δυναμικού επαφής M-S

- Φράγμα επαφής M-S, ανεξάρτητο του έργου εξόδου



Ύψος φράγματος δυναμικού σε σχέση με την μεταλλική ηλεκτραρνητικότητα.

Πηγή: [citizendium.org](http://en.citizendium.org) - [John R. Brews](http://en.citizendium.org/wiki/John_R._Brews)

http://en.citizendium.org/images/thumb/a/a3/Schottky_barrier_vs_electronegativity.PNG/250px-Schottky_barrier_vs_electronegativity.PNG

http://en.citizendium.org/wiki/Schottky_diode



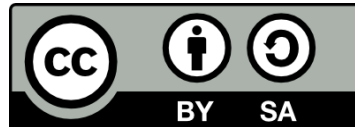
Σημείωμα Αναφοράς

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