



ΗΜΙΑΓΩΓΑ ΥΛΙΚΑ: ΘΕΩΡΙΑ-ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Μέρος 2^ο: Αρχές λειτουργίας των ημιαγωγικών διατάξεων
Ενότητα 16^η: Διπολικό τρανζίστορ - κέρδος ρεύματος,
απόκριση συχνότητας. Τρανζίστορ ετεροεπαφών (HBT).

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.



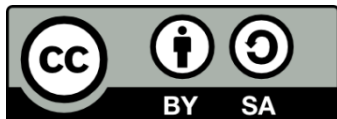
Χρηματοδότηση

- 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.





16. Διπολικό τρανζίστορ: κέρδος ρεύματος, απόκριση συχνότητας. Τρανζίστορ ετεροεπαφών(HBT).



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. Απόδοση εκπομπού.
2. Παράγοντας μεταφοράς της βάσης.
3. Κέρδος ρεύματος.
4. Γρονθοδιάτρηση.
5. Χρόνος διέλευσης της βάσης.
6. Συχνότητα αποκοπής.



κέρδος ρεύματος

- $\alpha_{dc} = \gamma \cdot \alpha_T \cdot M = \frac{1}{\left[1 + \frac{B}{E}\right] \cdot \left[1 + \frac{W^2}{2L^2}\right] \cdot \left[1 - (V_{BC} / V_{br})^m\right]}$

- **κέρδος ρεύματος κοινού εκπομπού**

$$\beta_{dc} = \frac{a}{1-a} = \frac{1}{\frac{1}{a} - 1}$$
$$\beta_{dc} = \frac{1}{\left[1 + \frac{B}{E}\right] \cdot \left[1 + \frac{W^2}{2L^2}\right] \cdot \left[1 - (V_{BC} / V_{br})^m\right] - 1}$$
$$\beta_{dc} \approx \frac{1}{\left[\frac{B}{E}\right] + \left[\frac{W^2}{2L^2}\right] - \left[(V_{BC} / V_{br})^m\right]}$$

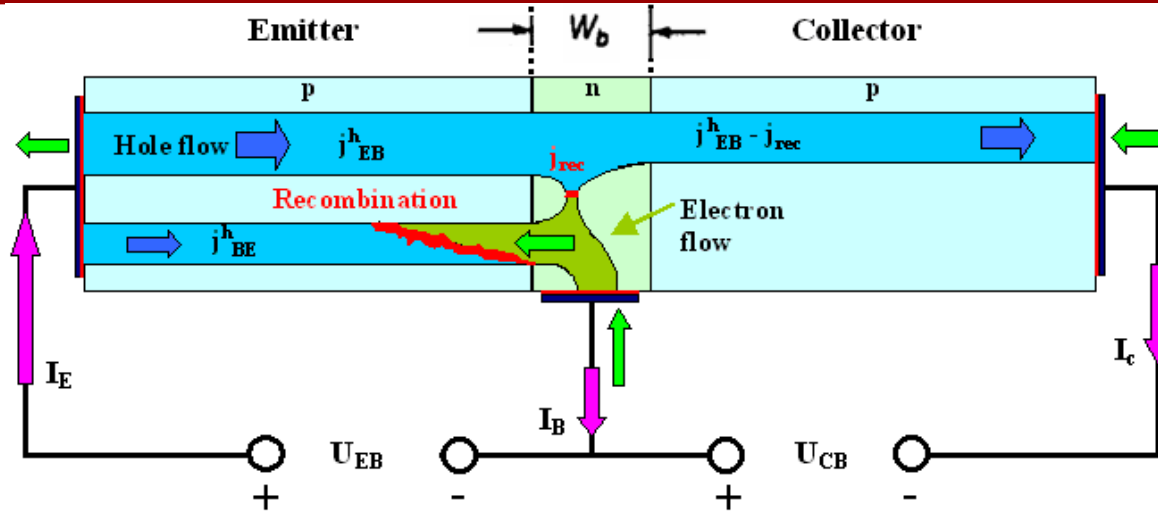
- γρονθοδιάτρηση (punch-through), όταν η W_B μηδενιστεί, για

$$V_{BC} = \frac{eN_{DB}\ell_B^2}{2\varepsilon}$$

- (διαφορετικά διάτρηση της επαφής συλλέκτη)



χρόνος διέλευσης της βάσης



Απεικόνιση ροών ρευμάτων σε τρανζίστορ pnp.

Πηγή: Faculty of Engineering at Kiel University, Germany - H. Föll (Semiconductor - Script)
http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/semi_en/kap_3/backbone/r3_4_2.pdf
http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/semi_en/kap_3/illustr/bip_transistor1.gif
http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/semi_en/kap_3/backbone/r3_4_2.html

$$\tau_B = \int_0^W \frac{dx}{v(x)} = \frac{W_B^2}{2D_{pB}}$$

Απόκριση συχνότητας

- Η συχνότητα επιδρά κυρίως στον παράγοντα μεταφοράς της βάσης $\alpha_T = 1/\cosh(W_B/L_B)$, μεταβάλλοντας το ενεργό μήκος διάχυσης

$$L_{ac} = L_{dc} / \nu(1 + i\omega\tau_p)$$

$$(\text{αν } \gamma=1) \alpha_{ac} \approx \alpha_{Tac} = \frac{1}{1 + (W^2 / 2L_{ac}^2)} = \frac{1}{1 + [W^2(1 + i\omega\tau_p) / 2L_{dc}^2]}$$

$$\text{Με } W \ll L, \alpha_{ac} \approx \alpha_{dc} / [1 + (i\omega/\omega_c)]$$

$$\text{όπου } \omega_c = 2L^2/W^2\tau_p = 2D^2/W^2 = 1/\tau_B$$



- Υψηλή έγχυση, όταν η V_{BE} αυξηθεί πολύ:
 - Μειώνεται η απόδοση εκπομπού γ
 - Αυξάνεται ο παράγοντας μεταφοράς α_T
επομένως μειώνεται το κέρδος ρεύματος α_{dc}
 - μειώνεται ο χρόνος διέλευσης τ_B .
επομένως αυξάνεται η συχνότητα αποκοπής
- Ρεύμα μετατόπισης – field assisted diffusion
Σε υψηλή έγχυση ή με προφιλ διάχυσης
- αντίσταση της βάσης - "συνωστισμός ρεύματος"



Εξέλιξη των τρανζίστορ

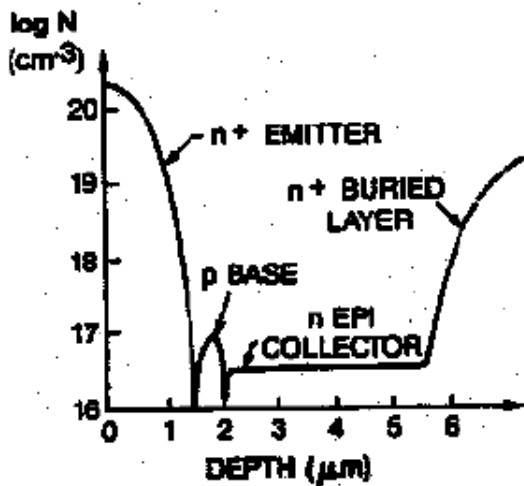
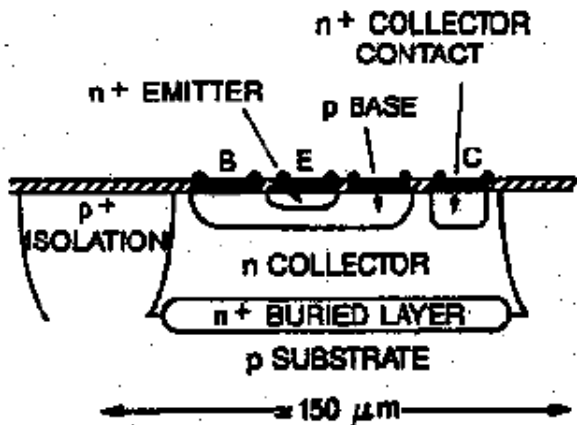


- First high-performance silicon transistor (npn mesa technology), model 2N697 from Fairchild Semiconductor, 1958 (at \$200, in 1960 \$28.50). The product number is still in use (now \$0.95)

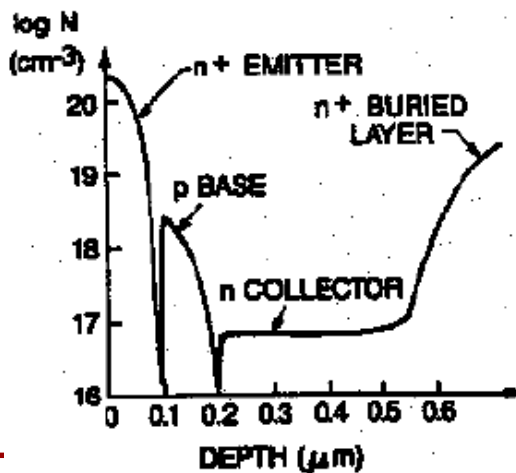
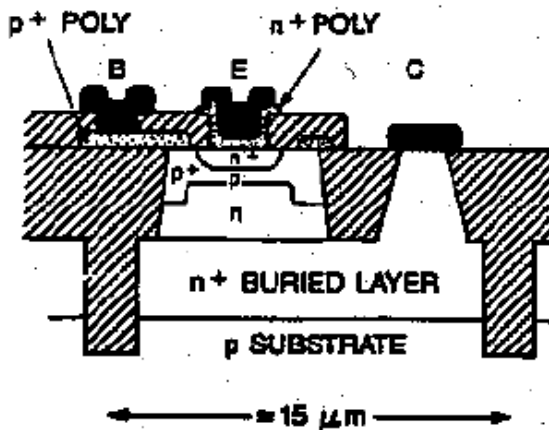


Εξέλιξη των τρανζίστορ

1970's



1980's



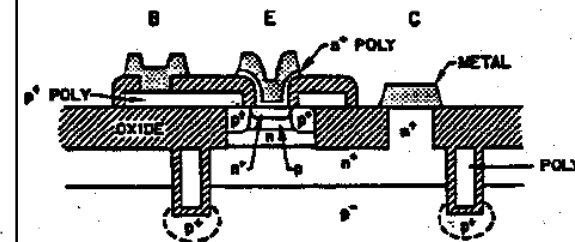
1980

1990

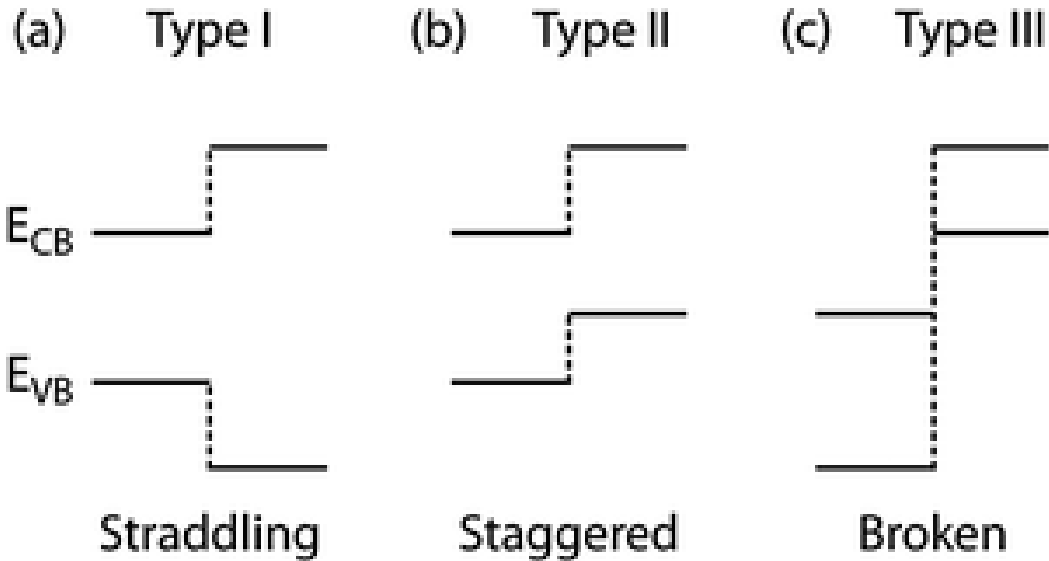
$W_E (\mu\text{m})$ 3
0,8

$W_B (\mu\text{m})$ 0,3
0,07

1990's



ετεροδομές



.Ενεργειακές στάθμες σε διαφορετικούς τύπους επαφών p-n

Πηγή: Quantum dot nanoscale heterostructures for solar energy conversion
Rachel S. Selinsky,^a Qi Ding,^a Matthew S. Faber,^a John C. Wright^a and Song Jin^{*a}

Show Affiliations

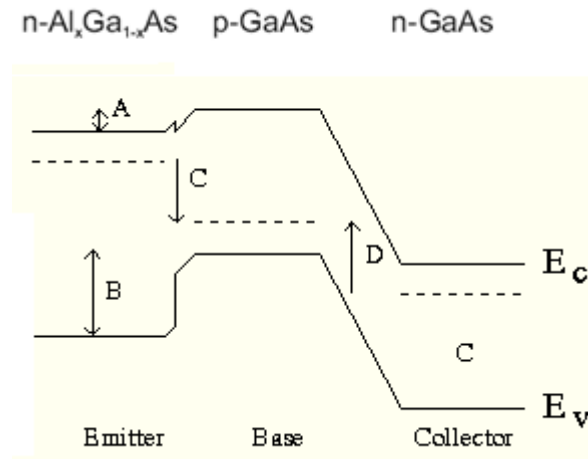
Chem. Soc. Rev., 2013,42, 2963-2985

DOI: 10.1039/C2CS35374A

Received 10 Sep 2012, First published online 11 Dec 2012



HeteroBipolar Transistor



Ενεργειακές Στάθμες σε τρανζίστορς.

Πηγή: The Ohio State University, 1996 - Hetero-Junction Bipolar Transistor by Adam Jacobs

<http://www2.ece.ohio-state.edu/~roblin/test432/bjt/hbtband.gif>

<http://www2.ece.ohio-state.edu/~roblin/test432/bjt/test10.html>

- Μεγαλύτερο το φράγμα για τις οπές από τη βάση στον εκπομπό – μειώνεται το I_{pB} – αυξάνεται η απόδοση εκπομπού γ
- Ισχυρότερη πρόσμιξη στη βάση – μεγαλύτερο κέρδος ρεύματος και μεγαλύτερη συχνότητα αποκοπής (InP/InGaAs 30 GHz, SiGe >80GHz.)
- Ψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας για μεγαλύτερο E_g στον εκπομπό



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.

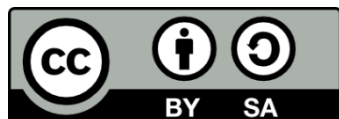
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





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