

# Model Karakteristik Kontak Logam Semikonduktor, Konsentrasi Muatan Dan Medan Listrik Di dalam Junction Logam Semikonduktor

Hubertus Ngaderman<sup>\*1</sup>, Ego Srivajawaty Sinaga<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Cendrawasih

<sup>\*</sup>[ngadermanh@gmail.com](mailto:ngadermanh@gmail.com)

## ABSTRACT

Characteristics modeling for metals and semiconductors has been carried out when they are intimately connected. The charge and field distribution are also shown in this model, where a graph between the charge area and charge concentration as well as the electric field in the junction has been visualized. The purpose of this study is to visualize the contact between metal and semiconductor, where the contact is a microscopic contact involving energy bands between the two materials. To display the visualization, several main parameters will be involved, namely: conduction band, valence band, band gap, Fermi levels, vacuum level, metal work function, semiconductor work function, semiconductor electron affinity, metal electron affinity, barrier height and built potential. -in. The visualization is covering the situation where the two materials are insulated or in contact (not isolated).

Keywords: semiconductor metal contacts.

## ABSTRAK

Telah dilakukan pemodelan karakteristik untuk logam dan semikonduktor pada saat mereka dihubungkan secara kontak intim. Muatan dan distribusi medan juga ditampilkan di dalam pemodelan ini, dimana grafik antara luas wilayah muatan dan konsentrasi muatan dan juga medan listrik di dalam junction telah divisualisasi. Tujuan penelitian ini adalah visualisasi untuk kontak antara logam dan semikonduktor, dimana kontak tersebut adalah kontak mikroskopis yang melibatkan pita-pita energi antara dua material. Untuk menampilkan visualisasi tersebut maka beberapa parameter utama akan terlibat yaitu: pita konduksi, pita valensi, pita gap, level-level Fermi, level vakum, fungsi kerja logam, fungsi kerja semikonduktor, afinitas elektron semikonduktor, afinitas elektron logam, ketinggian penghalang dan potensial built-in. Visualisasi tersebut adalah meliputi keadaan dimana kedua material tersebut terisolasi maupun dikontakkan (tak terisolasi).

Kata kunci: kontak logam semikonduktor.

## 1. Pendahuluan

Pengetahuan tentang divais semikonduktor adalah hal yang paling krusial pada masa sekarang ini. Kita pasti bertanya mengapa kita perlu untuk mempelajari semikonduktor. Alasannya adalah bahwa divais semikonduktor adalah pondasi dari industri elektronik, dimana industri terbesar di dunia dengan penjualan global lebih dari milyar dolar adalah semenjak tahun 1998. Pengetahuan yang mendasar dari divais semikonduktor adalah perlu sekali untuk memahami kemajuan subyek atau bagian di dalam elektronika. Pengetahuan ini akan juga memampukan kita untuk menyumbang abad informasi, dimana mempunyai implikasi dengan teknologi informasi.

Data menunjukkan bahwa volume penjualan divais semikonduktor berbasis industri elektronika sebelum abad 20 dan proyek penjualan untuk tahun 2010 meningkat secara signifikan[1]. Data tersebut menunjukkan juga produk dunia yang menyolok yaitu industri penjualan mobil, industri pembuatan baja dan industri semikonduktor, dan telah dicatat bahwa industri elektronik mengungguli industri mobil di tahun 1998. Jika arus perkembangan

tersebut berlangsung terus, di dalam tahun 2010 volume penjualan dari industri elektronik akan mencapai tiga trilyun dolar dan akan menyumbang sekitar 10% produk dunia yang menyolok. Industri semikonduktor adalah sebuah subset (kunci) dari industri elektronika, industri tersebut akan bertumbuh pada nilai mantap yang semakin tinggi melampaui industri baja di dalam awal abad duapuluh dan industri semikonduktor tersebut mengangkat 25% industri elektronika di tahun 2010.

Studi sistematis yang sangat dini dari divais semikonduktor untuk kontak-kontak logam-semikonduktor biasanya dipertalikan oleh Braun dimana diteliti di dalam tahun 1874. Ia menemukan bahwa resistansi dari kontak-kontak antara logam-logam dan logam sulfides (yakni tembaga pyrite) bergantung pada besar dan polaritas dari tegangan yang diberikan[2]. Fenomena elektroluminasi (untuk light emitting dioda) telah ditemukan oleh Round di dalam tahun 1907. Round melihat terciptanya cahaya kuning dari kristal carborundium ketika dia mengaplikasikan potensial sebesar 10V antara dua titik pada kristal.

Di dalam tahun 1947, transistor titik kontak telah ditemukan oleh Bardeen Brattain. Ini diikuti oleh dokumen klasiknya Shockley pada  $p - n$  junction dan transistor bipolar di dalam tahun 1949. Transistor pertama terdiri atas dua titik kontak pada dasar dari triangular kristal kwarsa dibuat dari dua jalur emas kertas perak/timah yang terpisahkan sekitar  $50\mu m$  ( $1\mu m = 10^{-4}cm$ ) dan ditekan pada permukaan semikonduktor. Semikonduktor yang dipakai adalah germanium. Dengan satu kontak emas bias tegangan maju, yang adalah, tegangan positif dengan hubungan pada tiga terminal dan yang lain bias tegangan balik, aksi transistor telah diamati yang adalah input signalnya diperkuat. Transistor bipolar adalah sebuah kunci divais semikonduktor dan mengantar ke era elektronik modern[3].

Di dalam tahun 1952 Ebers mengembangkan model/dasar untuk thyristor dimana adalah secara ekstrim divais peralatan saklar. Sel surya telah dikembangkan oleh Chapin dan kawan-kawan. Di dalam tahun 1954 menggunakan sebuah junction  $p - n$  silikon. Sel surya adalah kandidat yang penting untuk sumber energi yang berkaitan dengan aktivitas di bumi sebab ia bisa mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik dengan efisiensi konversi yang baik, dan juga bisa memberikan daya yang permanen dengan harga pengoperasian yang rendah dan secara nyata lagi tidak berpolusi. Di dalam tahun 1957, Kroemer mengusulkan transistor bipolar heterojunction untuk meningkatkan performansi transistor, divais ini adalah secara potensial satu dari divais semikonduktor tercepat. Pada tahun 1958 Esaki mengamati karakteristik resistansi negatif di dalam sebuah dop padat  $p - n$  junction, dimana memudahkan penemuan dioda tunel (terowongan). Dioda tunel (terowongan) dan asosiasi fenomena terowongannya adalah penting untuk kontak ohmik dan transpor pembawa yang melalui film tipis[4].

Divais yang sangat penting untuk kemajuan integrated circuit (IC) adalah MOSFET, dimana telah dilaporkan oleh Kahng dan Atalla di tahun 1960. Divais pertama MOSFET menggunakan sebuah oksidasi termal substrat silikon. Divais ini mempunyai panjang sebuah pintu gerbang (gate)  $20\mu m$  dan ketebalan pintu gerbang (gate) oksida  $100nm$ . Dua lubang kunci adalah sumber (source) dan saluran (drain) kontak, dan puncak luasan yang panjang adalah gate aluminium diuapkan melalui tutupan logam. Meskipun saat ini MOSFET mempunyai ukuran yang diturunkan menjadi secara dalam wilayah submikron, pilihan silikon dan dioksida pertumbuhan silikon panas digunakan di dalam MOSFET pertama menetapkan kombinasi yang pertama dari material-material. MOSFET dan relasinya IC sekarang memperjalkan sekitar 90% dari pasar divais semikonduktor. Sebuah MOSFET

yang teramat sangat kecil dengan panjang saluran  $30nm$  telah didemonstrasikan baru-baru ini. Divais ini bisa melayani seperti basis untuk kemajuan terbesar cip rangkaian IC yang berisi melebihi satu trilyun ( $10^{12}$ ) divais.

Tiga divais microwave yang penting telah ditemukan atau direalisasikan di dalam 3 tahun berikutnya. Divais pertama adalah transfered electron diode (TED, juga dikenal Gunn dioda) oleh Gunn di tahun 1963. TED digunakan secara luas di dalam aplikasi-aplikasi gelombang milimeter sebagai sistem deteksi, remote kontrol dan instrumen tes gelombang mikro. Divais kedua adalah dioda IMPATT, dia beroperasi adalah pertama diamati oleh Johnson dkk, di tahun 1965. Dioda IMPATT bisa menciptakan daya gelombang kontinyu yang sangat tinggi pada frekuensi gelombang milimeter dari semua divais semikonduktor. Mereka digunakan di dalam sistem radar dan sistem alarm. MESFET, ditemukan oleh Mead di tahun 1966. Ini adalah sebuah divais kunci untuk monolithic microwave IC (MMIC).

## 2. Metode

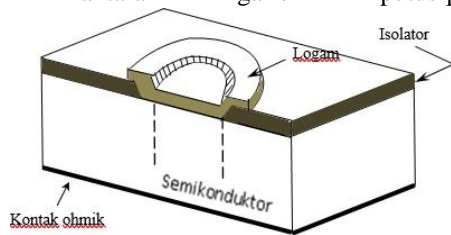
Metode yang digunakan penulis di dalam penelitian ini adalah studi literatur, dimana mengkaji dan menelaah buku-buku yang berkaitan dengan konsep kontak logam semikonduktor. Selain itu penulis menggunakan buku penunjang lainnya yang berkaitan dengan konsep divais semikonduktor.

### Kontak Logam Semikonduktor.

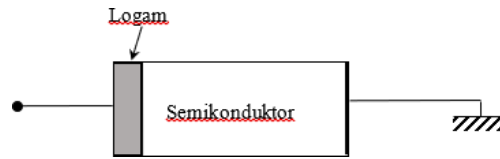
Divais semikonduktor praktis pertama adalah logam-semikonduktor kontak di dalam bentuk sebuah titik kontak penyearah, yang adalah sebuah jarum (jambang) yang ditekan terhadap sebuah semikonduktor. Divais ini menemukan banyak aplikasi dimulai di dalam tahun 1904. Di dalam tahun 1938, Schottky mengusulkan bahwa kelakuan penyearah dapat muncul pada sebuah penghalang (barier) potensial sebagai sebuah hasil dari ruang muatan stabil di dalam semikonduktor. Sebuah model kemudian bangkit dari konsep ini yang dikenal sebagai barier (penghalang) Schottky. Kontak-kontak logam semikonduktor tersebut bisa juga menjadi bukan penyearah, maksudnya kontak tersebut mempunyai resistansi yang dapat diabaikan tanpa memperhatikan polaritas dari tegangan pemberian. Tipe dari kontak ini kemudian dikenal sebagai kontak ohmik yang membuat koneksi antar divais yang lain di dalam sebuah sistem elektronik. Kita akan meninjau diagram pita energi dan karakteristik arus tegangan dari kedua penyearah dan kontak ohmik logam semikonduktor di dalam bagian berikut ini.

### Karakteristik Dasar Kontak Logam Semikonduktor.

Karakteristik dari sebuah titik kontak penyearah tidak dapat diproduksi dari satu divais kepada yang lain. Mereka secara luas telah digantikan oleh kontak-kontak logam-semikonduktor yang difabrikasi oleh proses planar. Sebuah diagram skematis dari sebuah divais seperti itu dipertunjukkan oleh Gambar 3.1a. Untuk fabrikasi divais, sebuah jendela dibuka di dalam lapisan oksidasi, dan lapisan logam disimpan di dalam sebuah sistem vakum. Lapisan logam mencakup jendela dibuat dengan menggunakan langkah lithografi. Tinjau sebuah struktur dimensional dari logam semikonduktor kontak yang dipertunjukkan di dalam Gambar 1b, yang mana sesuai dengan bagian pusat di dalam Gambar 1a, antara garis putus-putus.

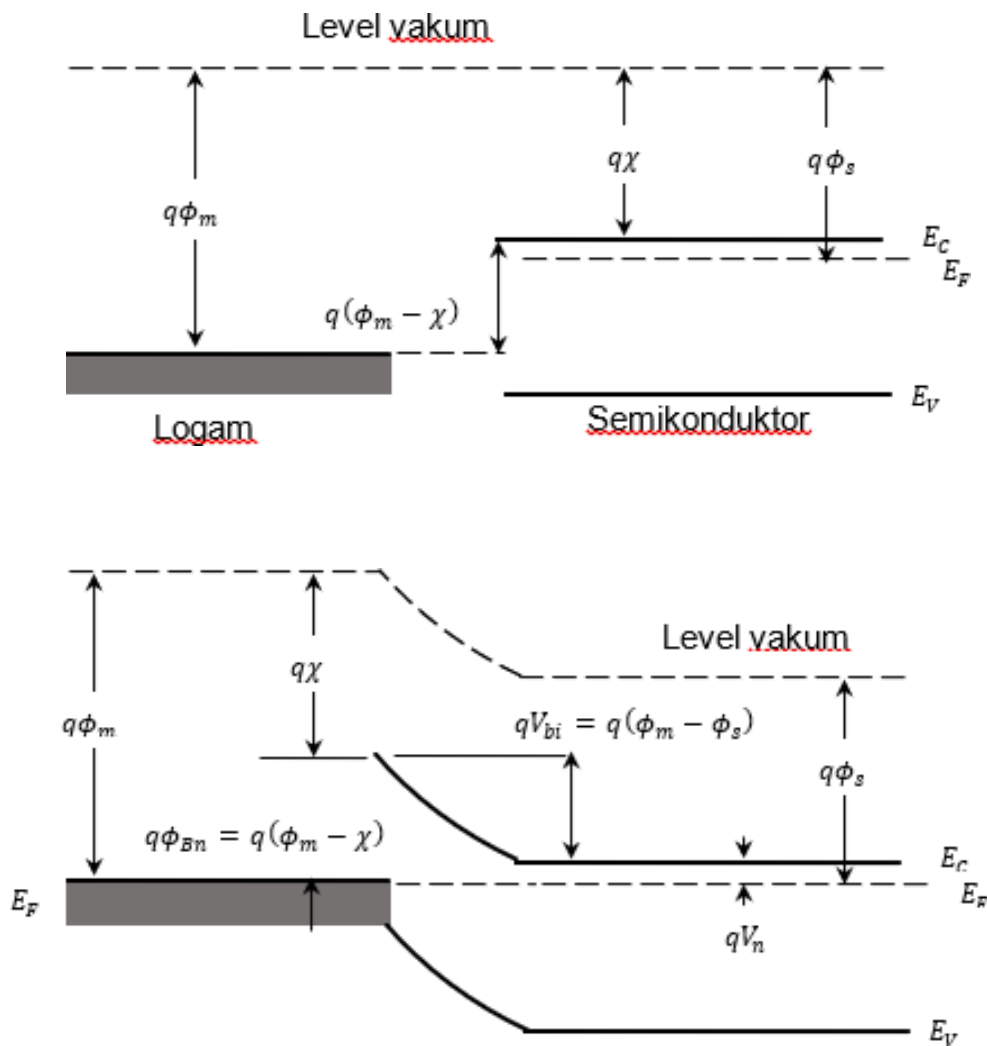


Gambar 1 (a) Tampilan perspektif dari sebuah kontak logam semikonduktor yang dibuat oleh proses planar.



Gambar 1 (b) Struktur satu dimensi dari sebuah kontak logam semikonduktor.

Gambar 2 (a) menunjukkan diagram pita energi dari sebuah logam terisolasi yang berbatasan dengan semikonduktor tipe  $n$  di dalam keadaan terisolasi. Catatan bahwa fungsi kerja logam  $q\phi_m$  adalah secara umum berbeda dari fungsi kerja semikonduktor  $q\phi_s$ . Fungsi kerja ditetapkan sebagai perbedaan energi antara level Fermi dan level vakum.



**Gambar 2.** (a) Diagram pita energi dari sebuah logam terisolasi berbatasan dengan tipe  $n$  semikonduktor dibawah kondisi ketidakseimbangan termal. (b) Diagram pita energi dari sebuah logam semikonduktor berkontak di dalam keseimbangan termal.

Juga dipertunjukkan adalah afinitas elektron  $q\chi$ , yang mana adalah perbedaan energi antara tepi pita konduksi dan level vakum di dalam semikonduktor. Ketika logam membuat kontak intim dengan semikonduktor, level-level Fermi di dalam dua material harus menjadi sama pada kesetimbangan termal. Di dalam penambahan, level vakum harus menjadi kontinu. Dua persyaratan ini menentukan sebuah diagram pita energi yang unik untuk kontak semikonduktor-logam ideal, seperti dipertunjukkan di dalam Gambar.2 (b).

Untuk kasus ideal ini, ketinggian penghalang  $q\phi_{Bn}$  adalah sederhana perbedaan antara fungsi kerja logam dan afinitas elektron semikonduktor

$$q\phi_{Bn} = q\phi_m - q\chi \quad (1)$$

Secara serupa untuk kasus sebuah kontak ideal antara logam dan semikonduktor tipe  $p$ ,

ketinggian penghalang  $q\phi_{Bp}$  yang adalah diberikan oleh

$$q\phi_{Bp} = E_g - (q\phi_m - q\chi), \quad (2)$$

dimana  $E_g$  adalah pita gap dari semikonduktor. Oleh karena itu, untuk sebuah semikonduktor yang diberikan dan untuk beberapa logam, penjumlahan ketinggian penghalang pada substrat-substrat tipe  $n$  dan tipe  $p$  diharapkan menjadi sama dengan pita gap

$$q(\phi_{Bn} + \phi_{Bp}) = E_g \quad (3)$$

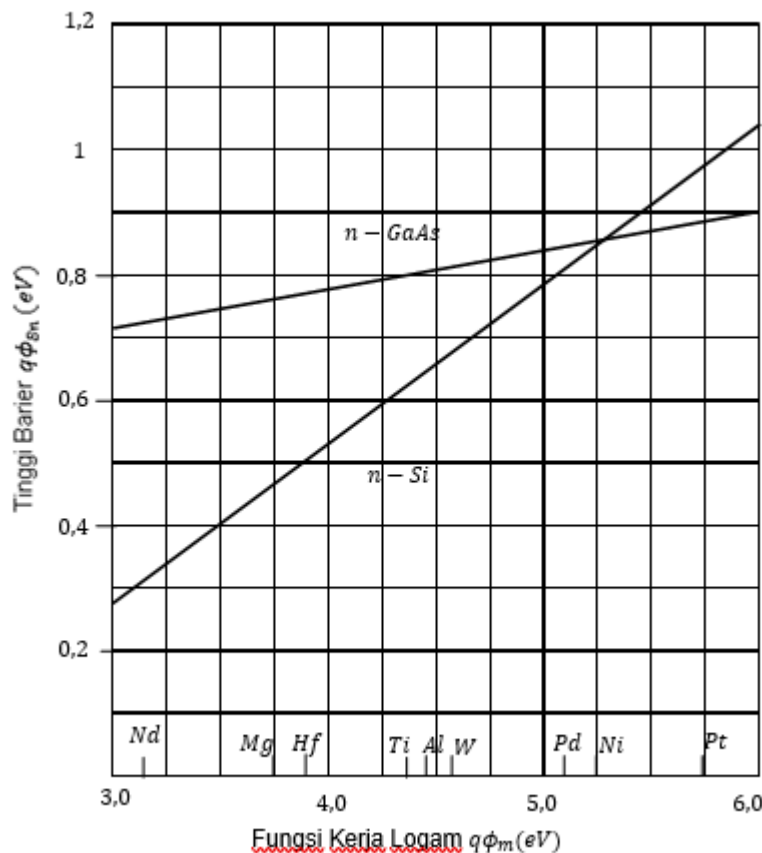
Pada sebelah semikonduktor di dalam Gambar 2 (b),  $V_{bi}$  adalah potensial built-in yang adalah terlihat oleh elektron-elektron di dalam pita konduksi mencoba untuk bergerak ke logam.

$$V_{bi} = \phi_{Bn} - V_n \quad (4)$$

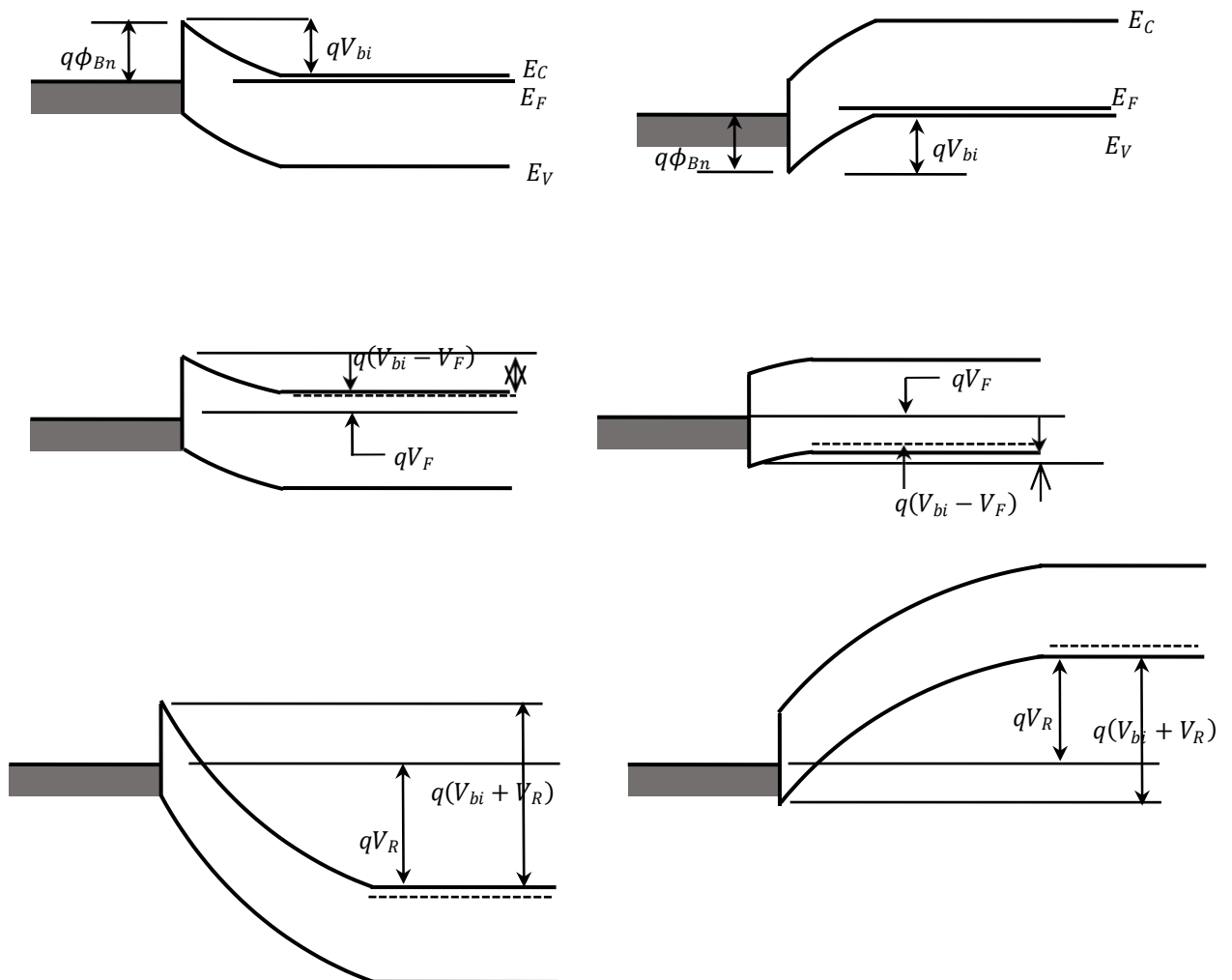
$qV_n$  adalah jarak antara dasar dari pita konduksi dan level Fermi. Hasil yang serupa bisa diberikan untuk tipe  $p$  semikonduktor.

### 3. Hasil dan Pembahasan

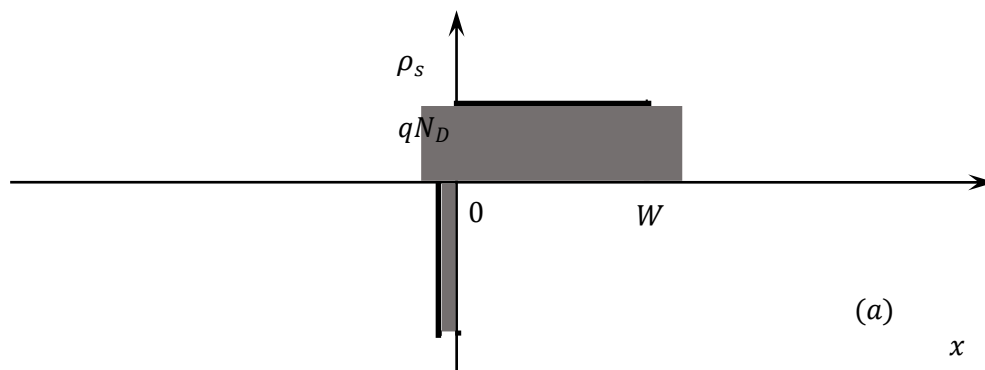
Gambar 3 menunjukkan besaran tinggi penghalang untuk tipe  $n$  silikon dan tipe  $n$  gallium arsenide. Catatan bahwa  $q\phi_{Bn}$  bertambah dengan kenaikan  $q\phi_m$ .

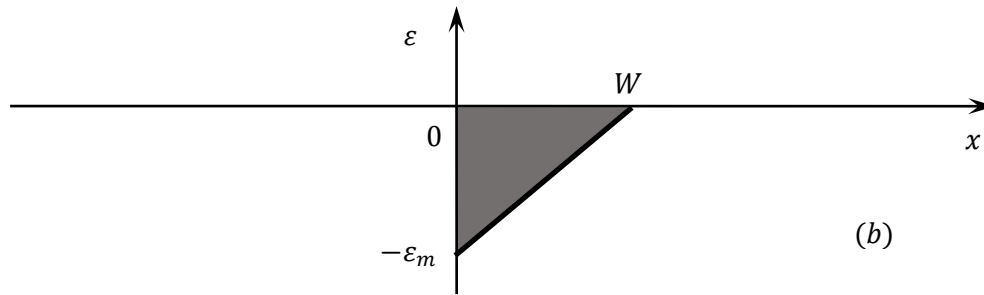


**Gambar 3.** Besaran tinggi barrier untuk logam-semikonduktor dan logam gallium arsenide kontak



**Gambar 4.** Diagram pita energi dari logam semikonduktor tipe  $n$  dan semikonduktor tipe  $p$  dibawah kondisi bias tegangan yang berbeda: (a) kesetimbangan termal; (b) bias tegangan maju; dan (c) bias tegangan balik.





**Gambar 5.** (a) Distribusi muatan dan (b) distribusi medan listrik di dalam kontak logam semikonduktor.

Untuk Gambar 3, pergantungan dari kurva tersebut tidak secara kuat diprediksi oleh persamaan (1). Ini adalah disebabkan oleh karena di dalam dioda praktis, kekacauan kisi kristal pada permukaan semikonduktor akan menghasilkan sebuah jumlahan besar keadaan permukaan energi yang terlokalisasi di dalam pita gap terlarang. Keadaan permukaan ini bisa bertindak sebagai donor-donor atau akseptor-akseptor yang mempengaruhi penentuan akhir dari ketinggian penghalang. Untuk silikon dan galium arsenide, pers (1) ketinggian penghalang secara umum ditaksir terlalu rendah untuk tipe  $n$  dan pers (2) ketinggian penghalang ditaksir terlalu tinggi untuk tipe  $p$ . Penjumlahan  $q\phi_{Bn}$  dan  $q\phi_{Bp}$ , bagaimanapun, adalah di dalam perjanjian dengan pers (3).

Gambar 4 menunjukkan diagram pita energi untuk logam pada kedua tipe  $n$  dan tipe  $p$  semikonduktor dibawah kondisi bias yang berbeda. Tinjau semikonduktor tipe  $n$  pertama. Ketika bias tegangan adalah nol, seperti ditunjukkan di dalam sisi kiri dari Gambar 2(a), diagram pita untuk kedua material adalah sama. Jika kita menerapkan sebuah tegangan positif pada logam dengan mematuhi untuk semikonduktor tipe  $n$ , semikonduktor dengan logam ketinggian penghalang berkurang seperti dipertunjukkan pada sisi kiri dari Gambar 2(b). Ini adalah sebuah bias maju. Ketika sebuah bias maju diaplikasikan, elektron-elektron bisa bergerak secara mudah dari semikonduktor kepada logam sebab penghalang telah sudah diturunkan oleh tegangan  $V_F$ . Untuk sebuah bias balik (yakni, tegangan negatif diaplikasikan ke logam), penghalang telah sudah bertambah oleh sebuah tegangan  $V_R$ , seperti dilukiskan pada sisi kiri Gambar 2(c). Ini adalah lebih sulit untuk elektron mengalir dari semikonduktor ke logam. Kita mempunyai hasil yang serupa untuk tipe  $p$  semikonduktor, bagaimanapun polaritas harus dibalikkan. Di dalam penurunan berikut, kita meninjau hanya logam tipe  $n$  kontak semikonduktor. Hasil-hasil ini adalah secara sama dapat dipakai untuk sebuah tipe  $p$  semikonduktor dengan sebuah perubahan yang cocok dengan polaritas.

Muatan dan distribusi medan untuk kontak logam-semikonduktor adalah dipertunjukkan di

dalam Gambar 5(a) dan 5(b). Logam diasumsikan menjadi sebuah konduktor sempurna, muatan yang ditransfer padanya dari semikonduktor yang terdapat di dalam sebuah wilayah yang sangat sempit pada permukaan logam. Luas dari daerah muatan di dalam semikonduktor adalah  $W$ , yakni,  $\rho_s = qN_D$  untuk  $x < W$  dan  $\rho_s = 0$  untuk  $x > W$ . Jadi, distribusi muatan adalah identik dengan-nya dari satu sisi curam  $p^+ - n$  junction.

Besar dari medan listrik adalah berkurang secara linear dengan jarak. Medan listrik maksimum  $\epsilon_m$  terlokalisasi pada antarmuka. Distribusi medan listrik adalah kemudian diberikan oleh

$$|\epsilon(x)| = \frac{qN_D}{\epsilon_s} (W - x) = \epsilon_m - \frac{qN_D}{\epsilon_s} x \quad (5)$$

$$\epsilon_m = \frac{qN_D W}{\epsilon_s} \quad (6)$$

dimana  $\epsilon_s$  adalah permitivitas dielektrik dari semikonduktor. Tegangan yang melewati wilayah daerah-muatan, dimana dihadirkan oleh area dibawah kurva di dalam Gambar 5(b), adalah diberikan oleh

$$V_{bi} - V = \frac{\epsilon_m W}{2} = \frac{qN_D W^2}{2\epsilon_s} \quad (7)$$

Lebar lapisan deplesi  $W$  adalah dinyatakan sebagai

$$W = \sqrt{2\epsilon_s(V_{bi} - V)/qN_D} \quad (8)$$

dan rapat ruang muatan,  $Q_{SC}$ , di dalam semikonduktor diberikan sebagai

$$Q_{SC} = qN_D W = \sqrt{2q\epsilon_s N_D (V_{bi} - V) C/cm^2} \quad (9)$$

dimana tegangan  $V$  sama dengan  $+V_F$  untuk bias tegangan maju dan  $-V_R$  untuk bias tegangan balik. Kapasitansi  $C$  wilayah deplesi tiap satuan area bisa dihitung dengan menggunakan pers (9):

$$C = \left| \frac{\partial Q_{SC}}{\partial V} \right| = \frac{q\epsilon_s N_D}{2(V_{bi} - V)} = \frac{\epsilon_s}{W} F/cm^2 \quad (10)$$

Dan

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} - V)}{q\epsilon_s N_D} (F/cm^2)^{-2} \quad (11)$$

Kita bisa mendiferensialkan  $1/C^2$  dengan hubungan dengan  $V$ . Mengatur kembali suku-suku kita mendapatkan:

$$N_D = \frac{2}{q\epsilon_s} \left[ \frac{-1}{d(1/C^2)/dV} \right] \quad (12)$$

Jadi pengukuran kapasitansi  $C$  per satuan area sebagai fungsi dari tegangan bisa memberikan distribusi ketidakhomogenan dari pers (4.8). Jika  $N_D$  adalah sebuah konstanta yang melalui daerah deplesi, kita akan mendapat sebuah garis lurus dengan memplot  $1/C^2$  versus  $V$ .

#### 4. Kesimpulan

Pada saat logam dan semikonduktor dihubungkan maka tidak semua pergerakan pembawa di dalam kontak antar logam dan semikonduktor adalah sama. Jika material semikonduktornya adalah tipe  $n$  maka jika kita menerapkan tegangan positif pada logam maka akan terjadi sebuah bias maju, begitupun sebaliknya. Oleh karena sifat yang demikian maka kontak logam semikonduktor dapat dijadikan sebagai divais MESFET metal semiconductor field effect transistor atau logam semikonduktor transistor efek medan, yang secara luas dipergunakan sebagai piranti integrated circuit IC (rangkaiian terpadu).

Kontak logam semikonduktor juga dipergunakan di dalam Sel Surya sebagai dua elektroda yang dihubungkan pada tipe  $n$  dan tipe  $p$  semikonduktor. Logam pada tipe  $n$  bertindak

sebagai polaritas positif, sedangkan logam pada tipe  $p$  bertindak sebagai polaritas positif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sze. S. M., Ng. K. K., 2021. *Physics of Semiconductor Devices*. Third Edition. Wiley Interscience. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [2] Rohma, S. 2015. *Analisis sebaran kesuburan tanah dengan metode potensial diri (self potential): Studi kasus daerah pertanian Bedengan Malang*. Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- [3] Dearneal et al. 1973. "Ion Implansacion" North-Holland Publishing Company. Vol. 8
- [4] Reka Rio. 1980. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. PT. Pradya Paramita.