

## **SIMULASI DAN ANALISIS PERPINDAHAN MUATAN PADA BURIED-CHANNEL CHARGE COUPLED DEVICE (BCCD)**

Nani Suryani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DosenTeknik Elektro, Universitas Darma Persada

### **ABSTRAK**

*Dalam penelitian ini dirancang suatu struktur CCD jenis buried channel (BCCD) 3 gate, menggunakan bahan silicon dengan gate dari bahan aluminium, yang dianalisis dan disimulasikan pada program perangkat lunak MATLAB. Hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa perpindahan muatan medan elektrik yang ditimbulkan oleh fringing field lebih efisien dari pada perpindahan muatan yang ditimbulkan oleh self-induced drift, dan thermal diffusion.*

**Kata kunci** : teknologi Mikro elektronik,,MOS, Channel,medan listrik,Transfer muatan

### **I.PENDAHULUAN**

Charge Couple Device (CCD) pertama kali dikenalkan oleh Boyle dan Smith, dengan menggunakan kapasitor MOS atau diode MOS sebagai penyimpan dan perpindahan suatu muatan. Fenomena terpenting dalam CCD adalah perpindahan muatan yang meliputi banyaknya muatan yang dipindahkan, waktu perpindahan dan efisiensi.

Struktur dasar CCD yang pertama kali digunakan adalah jenis *Surface channel* (SCCD) kemudian dikenalkan jenis *Burried channel* (BCCD) untuk memperbaiki unjuk kerja dari SCCD, kelebihan dari BCCD adalah mempunyai karakteristik perpindahan muatan yang baik, dan juga dapat mengurangi noise.

### **II. TUJUAN**

Menganalisis divais CCD jenis *buried channe Itiga gate* pada bahan silicon, dengan cara membuat simulasi menggunakan program MATLAB, untuk melihat perpindahan muatan yang terjadi.

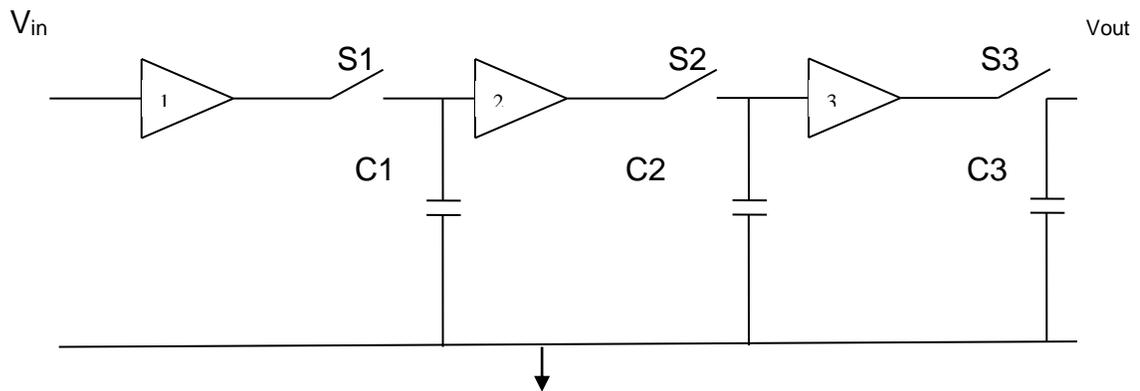
### **III.TEORI**

Charge Coupled Devices pada dasarnya adalah sekumpulan (array) dari MOS diode atau MOS capasitor yang ditempatkan saling berdekatan. Didalam operasinya informasi di representasikan oleh sejumlah muatan elektrik atau disebut juga sebagai paket muatan, yang berbeda dari device yang konvensional, dengan tingkat arus dan tegangan yang dipergunakan secara umum. Pada penggunaan dengan pulsa tegangan clock dengan

urutan yang benar, sekumpulan MOS diode diberi bias di dalam kondisi *deep depletion*, dan paket muatan dapat disimpan dan dipindahkan secara terkontrol pada semikonduktor substrate.

### 3.1. Konsep transfer muatan

Transfer muatan yang terjadi dapat diterangkan/dianalogikan menggunakan rangkaian amplifiier dengan unity gain dan impedansi input tak hingga yang dihubungkan seri seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 sistem perpindahan muatan

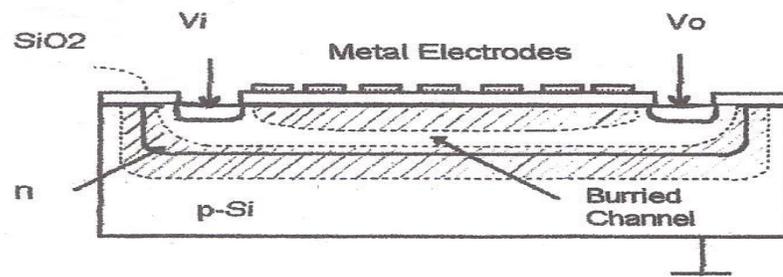
Jika diberi tegangan input  $V_{in}$ , kemudian saklar  $S_1$  ditutup, maka kapasitor  $C_1$  akan mengisi muatan sehingga sinyal input disimpan dalam bentuk paket muatan dalam kapasitor  $C_1$ . Kemudian pada saat saklar  $S_2$  ditutup, muatan yang disimpan pada kapasitor  $C_1$  akan menyebabkan adanya tegangan pada input amplifiier kedua. Hal ini akan menyebabkan kapasitor  $C_2$  mengisi muatan, sehingga sinyal input yang semula disimpan dalam bentuk muatan dalam kapasitor  $C_1$  akan disimpan juga oleh kapasitor  $C_2$ . Prosedur ini terus berlangsung sampai kapasitor terakhir mengisi muatan dan akhirnya sinyal input merambat dari terminal input ke terminal output.

Pada CCD, pembawa muatan minoritas disimpan pada sumur potensial yang dibangkitkan pada permukaan semikonduktor akibat adanya tegangan gate. Pembawa muatan ini dipindahkan melalui permukaan semikonduktor dengan pengosongan dan pengisian sumur potensial secara bergantian dengan pemberian level tegangan sinyal pewaktu. Berdasarkan jumlah fasa sinyal pewaktu, terdapat tiga macam struktur CCD, yaitu dua fasa, tiga dan empat fasa. Berdasarkan tempat terjadinya transfer muatan, terdapat dua macam struktur CCD, yaitu *Surface channel* CCD (SCCD) dan *Buried channel* CCD (BCCD). Dalam SCCD, paket muatan disimpan dan dipindahkan pada permukaan semikonduktor, sedangkan dalam BCCD doping dari semikonduktor substrate dimodifikasi sehingga penyimpanan dan perpindahan paket muatan ditempatkan dalam *bulk*

semikonduktor persis dibawah permukaan semikonduktor. Dalam penulisan ini digunakan BCCD, karena mempunyai keuntungan dalam mengatasi terjadinya interface traps (terjebaknya electron pada permukaan), yaitu dengan cara menempatkan muatan yang berpindah kedalam sebuah saluran type n yang terletak didalam *bulk*.

### 3.2 Buried Channel Couple (BCCD)

Bentuk umum dari skema penampang dari BCCD dapat dilihat pada gambar 2 yang terdiri dari sebuah lapisan semikonduktor tipe n pada sebuah substrate tipe p dengan dua n<sup>+</sup> kontak disetiap ujung tiap channel.[6]



Gambar 2 Penampang muka BCCD

### 3.4. Effisiensi perpindahan (Transfer Efficiency)

Pada saat paket muatan bergerak sepanjang CCD, ada sebagian kecil muatan yang tertinggal. Bagian muatan yang dipindahkan dari satu sumur ke sumur lain disebut transfer efficiency ( $\eta$ ). Sedangkan bagian muatan yang tertinggal disebut transfer inefficiency ( $\epsilon$ ). Makin lama waktu yang diberikan untuk melakukan transfer, makin banyak pula muatan yang dipindahkan. Definisi transfer inefficiency  $\epsilon$  sebagai jumlah muatan yang tertinggal pada transfer gate setelah periode waktu  $t_T$ , dibagi oleh jumlah muatan mula-mula yang disimpan pada gate pada waktu  $t=0$ , seperti pada Persamaan (1) [7]

$$\epsilon = \eta(t=t_T) / n(t=0) \quad (1)$$

Transfer efficiency kemudian dapat dihitung dengan memakai persamaan (2)

$$\eta = 1 - \epsilon \quad (2)$$

Mekanisme yang memungkinkan terjadinya transfer muatan adalah disebabkan oleh : *self-induced drift*, *fringing field drift*, dan *thermal diffusion*.

*Self-induced drift* adalah dihubungkannya suatu medan yang disebabkan oleh variasi titik ke titik pada muatan elektrik selama terjadinya perpindahan. Mekanisme ini penting jika konsentrasi carriernya tinggi, yaitu selama periode awal dari perpindahan muatan. Suatu

analisis pada mekanisme ini mengarah pada suatu persamaan pendekatan untuk sebagian muatan yang tertinggal dalam *buried channel storage well* setelah waktu transfer  $t$  seperti pada persamaan (3) dan (4) [1],[4].

$$\varepsilon(t) = (1 + t/T_{si})^{-1} \quad (3)$$

$$T_{si} = \frac{2L^2 C_{eff}}{\pi \mu_n q N_0} \quad (4)$$

Dimana  $N_0$  menunjukkan jumlah dari electron mula dalam *storage well* persatuan luas,  $L$  adalah panjang dari gate,  $\mu_n$  rata-rata mobility electron dalam channel, dan  $C_{eff}$  effective storage capacitance per satuan luas. Untuk *buried channel devices*, effective storage capacitance besarnya mengikuti Persamaan (5)

$$C_{eff} = \frac{dox}{\varepsilon_{ox}} + \frac{dch}{\varepsilon_s} + \frac{N/ND}{2\varepsilon_s} \quad (5)$$

Karena *self-induced drift* sangat penting selama porsi mula pada perpindahan muatan, maka  $N$  yang diasumsikan pada persamaan (5) menjadi sama dengan  $N_0$ .

*Fringing field drift* ditimbulkan dari perbedaan potensial yang keluar antara gate electrode yang berdekatan. Sementara *self-induced drift* mencirikan porsi mula dari perpindahan muatan, *fringing field drift* umumnya mendominasi porsi terakhir dari perpindahan. Persamaan pendekatan untuk sebagian muatan yang tertinggal dalam *storage well* setelah *transfer time*  $t$  yang disebabkan oleh *fringing field* seperti pada Persamaan (6),(7):

$$\varepsilon(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_{ff}}\right) \quad (6)$$

$$\tau_{ff} \leq \frac{L}{\mu_n E_{ff}} \quad (7)$$

*fringing field*  $E_{ff}$  menunjukkan medan minimum antara elektrode dan mempunyai nilai pendekatan seperti pada Persamaan (8)

$$E_{ff} = \frac{2 \Delta V \pi \varepsilon_s}{3L^2 C_{eff}} \quad (8)$$

Dengan  $\Delta V$  adalah perbedaan tegangan antara electrode yang berdekatan. Karena *fringing field drift* lebih efektif selama porsi yang terakhir dari perpindahan muatan, sehingga  $N$  mendekati nol, maka kapasitansi efektif pada gate dalam persamaan (5) menjadi seperti pada Persamaan (9)

$$C_{eff} = \left(\frac{dox}{\varepsilon_{ox}} + \frac{dch}{\varepsilon_s}\right)^{-1} \quad (9)$$

*Thermal Diffusion* : dalam ketidak beradaannya *self-induced drift* dan *fringing field drift*, perpindahan dari muatan electron bebas terjadi oleh *Thermal Diffusion*. Suatu persamaan

untuk sebagian dari muatan yang tertinggal dalam *storage well* setelah *transfer time*  $t$  yang disebabkan oleh thermal diffusion telah ditemukan melalui analisis Fourier.

Pernyataan itu seperti dapat dilihat pada Persamaan (10) dan (11)

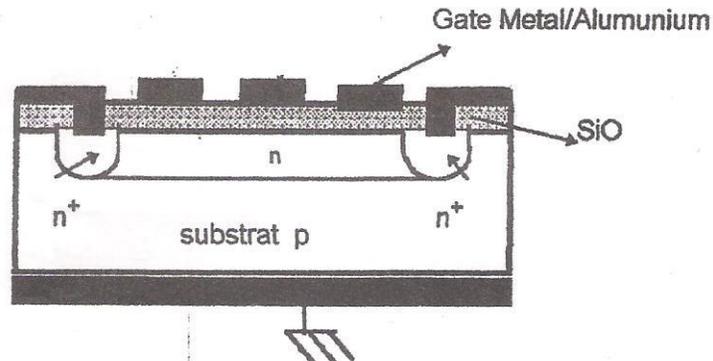
$$\epsilon(t) = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{th}}\right) \quad (10)$$

$$\tau_{th} = \frac{4L^2}{\pi^2 D_n} \quad (11)$$

## IV. SIMULASI

### 4.1 Penentuan struktur BCCD

Struktur yang dibuat berdasarkan fasilitas alat dan bahan yang tersedia di laboratorium TELKOMA LIPI Bandung. Ukuran lateral divais terkecil yang dapat dicapai adalah 20 mikron, sehingga teknologi yang memungkinkan adalah teknologi difusi planar, seperti terlihat pada gambar 3, yaitu yang terdiri dari



Gambar 3 Bentuk rancangan BCCD

substrat tipe p, kemudian sebagai lapisan kanal/buried didifusi dengan phosphorus membentuk tipe n, sebagai source dan drain didifusi dengan konsentrasi tinggi membentuk tipe n+. Untuk gate dibuat dengan 3 buah gate menggunakan bahan aluminium/metal, serta kontak untuk *source-drain*. Sebagai contoh dapat dipakai struktur dua fasa, pulsa clock pertama diberikan pada gate pertama dan ketiga dan pulsa kedua diberikan pada gate kedua.

### 4.2 Simulasi perpindahan muatan

Untuk mensimulasikan transfer efisiensi divais BCCD dilakukan dengan menggunakan program perangkat lunak MATLAB. Sebagai dasar algoritmanya adalah persamaan matematika yang merupakan teknik mekanisme perpindahan muatan.

Algoritma program disesuaikan dengan aturan perangkat lunak MATLAB.

### 4.3. Simulasi Transfer *inefisiensi*

Algoritma program untuk *transfer inefisiensi* terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.

```
% Program MATLAB untuk simulasi
% Karakteristik e(t) terhadap t
etsi1 = [0];
etff1 = [0];
etth1 = [0];
tt1 = [0];
t1 = 0;
t2 = 0.001e-6;
t3 = 0.175e-6;
For t=t1:t2:t3
    Dn=un*k*T/q;
    Csi=(dox/eox + dch/es - (No/ND)/(2*es))^(2*-1);
    Tsi=(2*L^2*Csi)/(pi*un*q*No);
    Esti=(1+t/Tsi)^(-1)
    Cff=(dox/eox + dch/es)^(-1);
    % Eff=200;
    Eff=2*11*pi*es/(3*L^2*Cff);
    Tff=L/(un*Eff);
    etff=exp(-t/Tff);
    Tth=4*L^2/(pi^2*Dn);
    Etth=8/pi^2*exp(-t/Tth);
    If etff<=1e-8
        etff=1e-8;
    end
    etsi = [etsi1;etsi];
    etff1= [etff1;etff];
    etth1 = [etth1;etth];
    tt1 = [tt1;t];
end
semilogy(tt1,etsi1"w-","t1,etff1,"w-","t1,etth1,"w.");
title ("etsi,etff,etth vs.t");
xlabel ("t(det)");
ylabel ("etsi,etff,etth");.
```

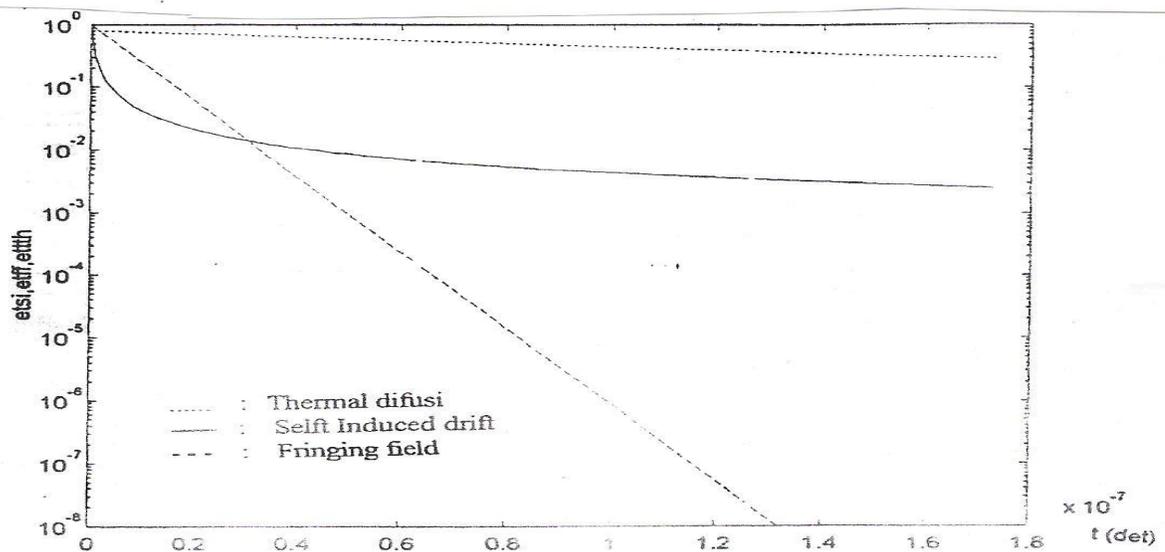
Gambar 4 Algoritma transfer inefisiensi terhadap waktu

Pada program ini dibuat untuk melihat perpindahan muatan yang disebabkan oleh tiga (3) medan elektrik yaitu yang disebabkan *self-induced drift*, *fringing field drift*, dan *thermal diffusion*, terhadap waktu. Perpindahan muatan ini untuk melihat dari ke tiga medan elektrik yang paling efisien.

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Hasil simulasi transfer inefisiensi

Hasil simulasi seperti dapat dilihat pada Gambar 5, yang menggambarkan mekanisme perpindahan muatan yang disebabkan oleh tiga medan elektrik yaitu Pada program ini dibuat untuk melihat perpindahan muatan yang disebabkan oleh tiga (3) medan elektrik yaitu yang disebabkan *self-induced drift*, *fringing field drift*, dan *thermal diffusion*, terhadap waktu



Gambar 5 Hasil simulasi transfer inefisiensi terhadap waktu

Dari hasil simulasi terlihat bahwa medan elektrik yang ditimbulkan pada *fringing field* turun dengan cepat, sehingga efisiensinya lebih besar, dibandingkan dengan medan elektrik yang disebabkan oleh disebabkan *self-induced drift*, dan *thermal diffusion*.

## VI. KESIMPULAN

Hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa perpindahan muatan medan elektrik yang ditimbulkan oleh *fringing field* lebih efisien dari pada perpindahan muatan yang ditimbulkan oleh *self-induced drift*, dan *thermal diffusion*.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Edmund Banghart, K.Lavine.J.P., Trabka E.A., Nelson,ET.” A model for charge transfer in buried-channel charge. coupled devices at Low Temperature”, IEEE Trans.Elect.Dev.,vol.38, pp 1162-1174, No.5 Th 1997
2. Howes, M.J and Morgan, D.V.” Charge-coupled Device and System”, John Willey &Sons, 1998
3. Neamen,D.” Semiconductor Physics and Dev.Basic Principles”, Richard DI,Inc.,USA, 1992.
4. Pall,B.B;and Nelson,S.S,”Optoelectronic Charge Coupled Device (OECCD) using InP MIS Capacitor Array”, IEEE Trans.Elect.Dev.,vol40,pp.1878-1880, 1993.
5. Rio, dan M.Lida, “Fisika dan teknologi Semikonduktor”, Ass.For Int.Technical Promotion, Tokyo, Japan, 1980
6. Sze.S.M.” Physics of Semiconductor Devices”, 2ndED,John willey Sons.Inc.Canada,1997.
7. Sze, S.M.”Semiconductor Devices:Physics and Technology”, John Wiley&Son,Inc,Canada, 2001.
8. Yang,E.S., “Microelectronics Devices” , McGraw-Hill, Singapore, 2008.