

SIMULASI PROSES PABRIKASI BURRIED CHARGE COUPLE DEVICE

Nani Suryani¹

¹ Dosen Teknik Elektro, Universitas Darma Persada

ABSTRAK

Dalam penulisan ini dirancang suatu struktur CCD jenis buried channel (BCCD) 3 gate, menggunakan bahan silicon dengan gate dari bahan aluminium. Pabrikasi dilakukan di laboratorium TELKOMA LIPI Bandung, menggunakan teknologi difusi planar, sebelum dilakukan pabrikasi terlebih dahulu dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak SSUPREM, yaitu untuk menganalisis hasil proses difusi yang terdiri dari proses predeposisi dan proses drive-in. Parameter utama dalam proses difusi adalah menentukan Temperatur dan waktu yang diperlukan dalam proses, sehingga didapatkan besarnya konsentrasi impurity/doping bahan dan kedalaman difusi serta hasil akhir profil konsentrasi impurity. Bagian BCCD yang disimulasikan adalah pada daerah source/drain (tipe n^+) dan pada daerah kanal (tipe n). Hasil simulasi akan menjadi dasar/acuan dalam pembuatan proses pabrikasi selanjutnya.

Kata kunci : Semikonduktor, MOS, silicon, difusi, oksidasi

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. Untuk pabrikasi bahan BCCD ini, maka sebelumnya harus ditentukan dahulu waktu dan temperature yang diperlukan untuk prosesnya, agar didapatkan kedalaman dari konsentrasi tipe n dan tipe n^+ , yang diharapkan yaitu menggunakan simulasi.

II. TUJUAN

Menganalisis hasil proses difusi untuk menentukan besarnya konsentrasi doping/*impurity*, menggunakan simulasi perangkat lunak SSUPREM.

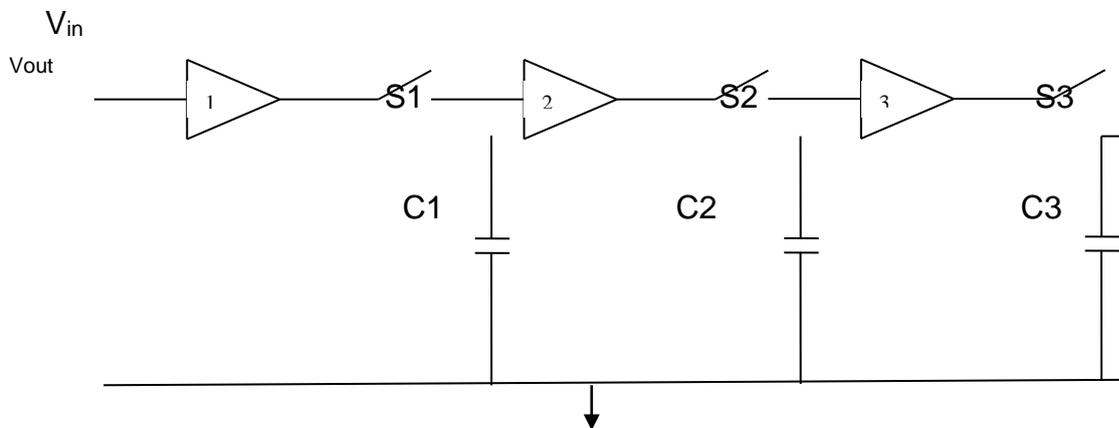
III. TEORI

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 amplifier dengan unity gain dan impedansi input tak hingga yang dihubungkan seri seperti dapat dilihat pada Gambar 1.[8]



Gambar .1 sistem perpindahan muatan

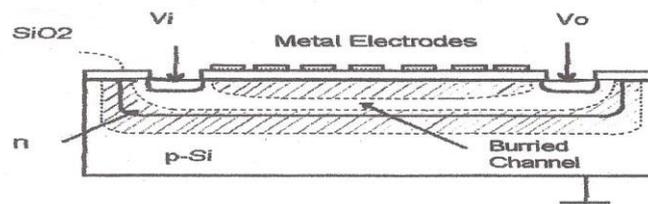
Jika diberi tegangan input V_{in} , kemudian saklar $S1$ ditutup, maka kapasitor $C1$ akan mengisi muatan sehingga sinyal input disimpan dalam bentuk paket muatan dalam kapasitor $C1$. Kemudian pada saat saklar $S2$ ditutup, muatan yang disimpan pada kapasitor $C1$ akan menyebabkan adanya tegangan pada input amplifier kedua. Hal ini akan menyebabkan kapasitor $C2$ mengisi muatan, sehingga sinyal input yang semula disimpan dalam bentuk muatan dalam kapasitor $C1$ akan disimpan juga oleh kapasitor $C2$. 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 (terjebakanya electron pada permukaan), yaitu dengan cara menempatkan muatan yang berpindah kedalam sebuah saluran tipe n yang terletak didalam *bulk*.

3.2. Buried Channel CCD

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⁺ kontak disetiap ujung tiap channel.[1]



Gambar 2 Penampang muka BCCD

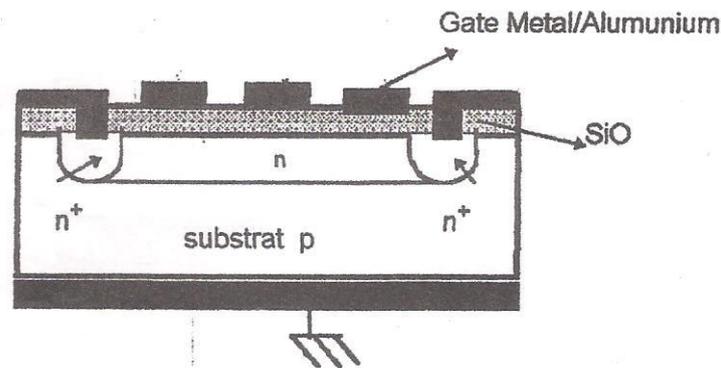
3.3. Proses Difusi

Proses difusi merupakan salah satu cara pemberian *impurity* pada bahan semikonduktor (dalam hal ini silicon). Sifat difusi diilustrasikan seperti setetes tinta yang ditambahkan kedalam air, maka tinta tersebut akan terbagi/menyebar keseluruhan air oleh adanya sifat difusi. Berdasarkan ilustrasi ini, menunjukkan bahwa proses difusi merupakan proses untuk mengalirkan *impurity* dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Pengaturan profil *impurity* pada proses difusi dilakukan dalam dua tahap yaitu proses predeposisi dan proses *drive-in*. Proses predeposisi merupakan proses untuk mengendapkan bahan doping pada permukaan wafer, bahan doping (source) tipe n menggunakan *phosphorous diffusion source*, yang berisi oksida fosfor (P_2O_5) yang ditempelkan pada lempengan asbes tahan panas. Source tersebut dipanaskan pada suhu tinggi ($800-1100^{\circ}C$) sehingga menguap dan terbawa oleh gas inert pembawa (didalam tungku difusi), kemudian menempel sebagai lapisan tipis pada permukaan wafer silicon. Setelah proses predeposisi, maka bahan *phosphorous diffusion source* diambil, selanjutnya dilakukan proses *drive-in*, yaitu mendifusikan phosphorous yang menempel sebagai lapisan tipis ke dalam wafer. Pada saat yang bersamaan oksigennya mengoksidasi silicon membentuk lapisan oksida tipis.

IV. SIMULASI PROSES PABRIKASI

4.1. Penentuan struktur BCCD

Struktur yang dibuat berdasarkan fasilitas alat dan bahan yang tersedia di laboratorium TELKOMA LIPI, 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*.

Spesifikasi *wafer (substrate)* silicon seperti dalam table 1.

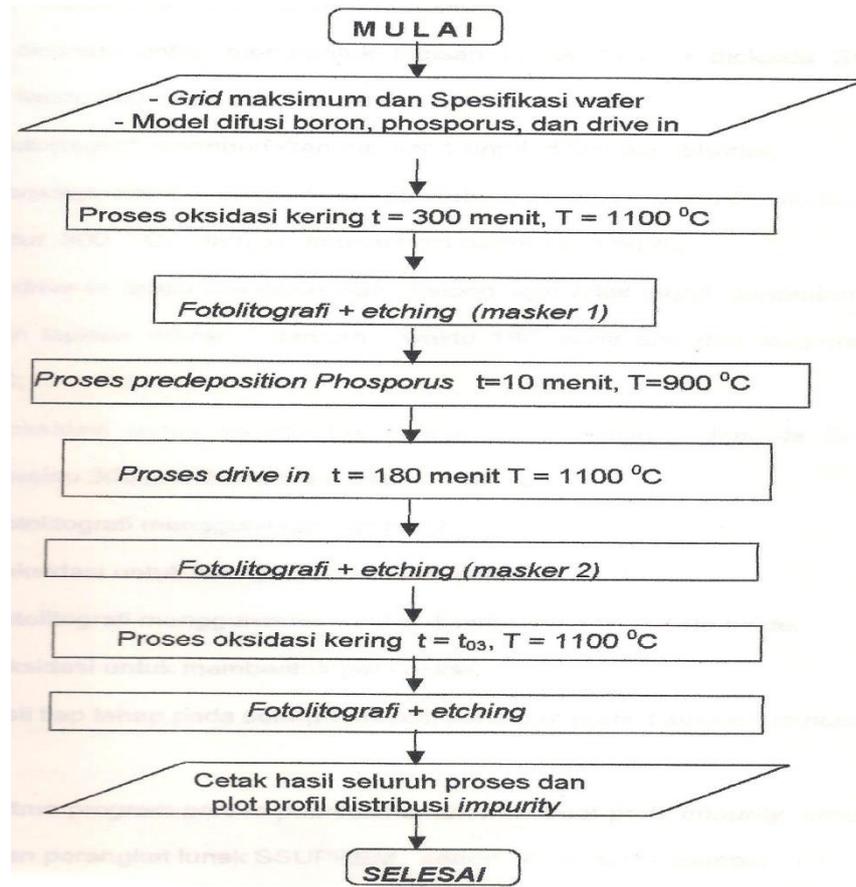
Tabel 1. Spesifikasi *wafer* silicon

Parameter	Spesifikasi pabrik	Terukur
Tipe bahan	P	-
Diameter	3 inch	3 inch
Orientasi	(111)	-
Ketebalan	330 – 432 mikron	342 mikron
resistivitas	1 -10 ohm cm	1,678 ohm cm

Unutk mendapatkan kedalaman kanal n dan kanal n⁺ sebesar 3,4 um, maka harus ditentukan waktu dan temperature yang diperlukan dalam proses difusi, konsentrasi doping (N_0) untuk *source – drain* dibuat lebih besar dari pada kanal n dengan difusi Phosporous, dan kedalaman (x_j) dibuat hampir sama atau mendekati. menggunakan simulasi SSUPREM, Berdasarkan persyaratan, subtract, dopant yang tersedia, serta kemampuan peralatan.

4.2 Diagram Alir

Diagram alir secara garis besar untuk membuat algoritma program dari perangkat lunak ini, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir Program simulasi proses pabrikasi SSUPREM

Pada Gambar 4 dapat dijelaskan sebagai berikut menentukan grid maksimum yang digunakan untuk analisis ($=10$), memasukkan parameter yang merupakan spesifikasi substrat, antara lain orientasi ($=111$), elemen/bahan impurity ($=B$ atau Boron), dan konsentrasi impurity ($=p$), menentukan spesifikasi model untuk difusi boron (MBO1), oksidasi kering (DRY1), model untuk difusi phosphorous (MPH1), proses oksidasi, phosporus dan drive-in.

4.3 Simulasi seluruh proses pada daerah kanal n

Program SSUPREM untuk daerah kanal n dapat dilihat pada Gambar 5.

```

TITLE BCCD (substrate P-TELKOMA) FULL PROCESS
GRID YMAX=10
SUBSTRATE ORNT=111,ELEM=B,CONC=2.2E16
PRINT HEAD=Y,TOTL=N, IDIV=N
MODEL NAME=MBO1, DSXN=1.1324E9, DSXD=5.502E1,ESXD=1.69065, ESXN=3.42565
  
```

```

MODEL NAME=MPH1, DSXN=2.3E10, DSXD=2.31E10,ESXD=3.66, ESXN=3.66
MODEL NAME=DRY1, LRTE=1.1038E5, LREA=2.0,, PRTE=12.87, PREA=1.23
STEP TYPE=OXID, TIME=300,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT Etc (Mask1) → for phosphorus diffusion
STEP TYPE =ETCH, TEMP=25
COMMENT Difusi phosphorus (Type "N channel ") predeposition
STEP TYPE=PDEP, ELEM=P, TEMP=900, TIME=10,CONC=5E20, MODL=MPH1
COMMENT (Type "N channel ") Drive in
STEP TYPE=OXID, TIME=180,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT Etc (Mask2) → for phosphorus diffusion
STEP TYPE =ETCH, TEMP=25
COMMENT (Type "N+ ") Drive in
STEP TYPE=OXID, TIME=15,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT Etc (Mask1) → for Gate Oxide
STEP TYPE =ETCH, TEMP=25
COMMENT GATE OXIDE (600 A)
PLOT WIND=9, TOTL=Y,IDIV=Y
STEP TYPE=OXID, TIME=15,TEMP=1100, MODL=DRY1
END

```

4.4 Simulasi seluruh proses pada daerah Source-drain

Program SSUPREM untuk daerah source-drain dapat dilihat pada Gambar 6

```

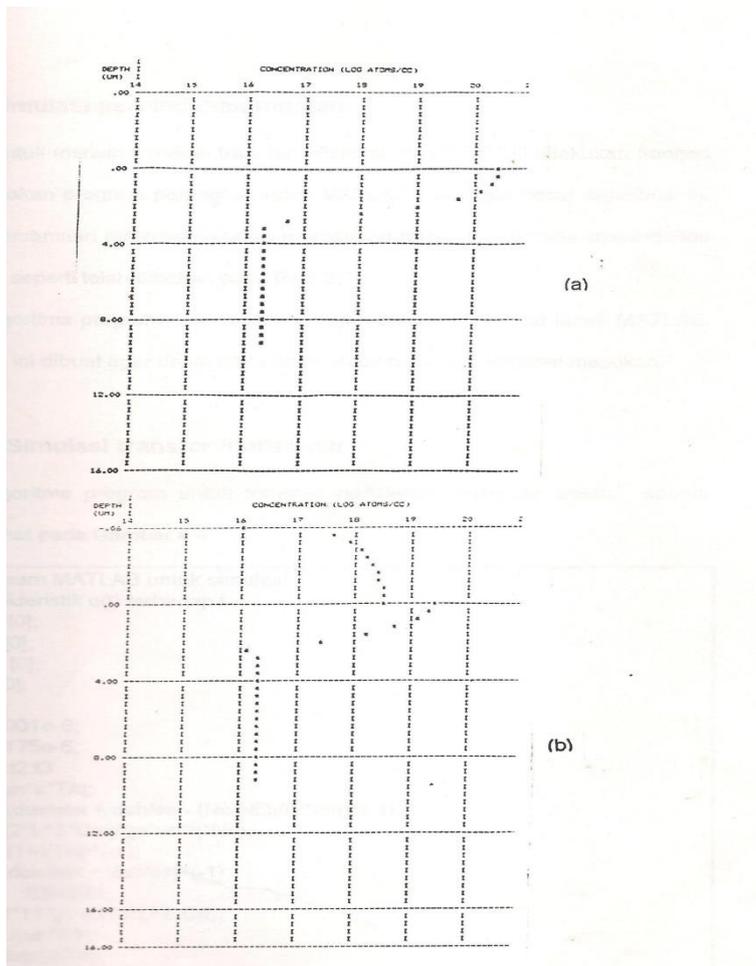
TITLE BCCD (substrate P-TELKOMA) FULL PROCESS
GRID YMAX=10
SUBSTRATE ORNT=111,ELEM=B,CONC=1.0E16
PRINT HEAD=Y,TOTL=N, IDIV=N
MODEL NAME=MBO1, DSXN=1.1324E9, DSXD=5.502E1,ESXD=1.69065, ESXN=3.42565
MODEL NAME=MPH1, DSXN=2.3E10, DSXD=2.31E10,ESXD=3.66, ESXN=3.66
MODEL NAME=DRY1, LRTE=1.1038E5, LREA=2.0,, PRTE=12.87, PREA=1.23
STEP TYPE=OXID, TIME=300,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT (Type "N channel ") Drive in
STEP TYPE=OXID, TIME=180,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT Etc (Mask2) → for phosphorus diffusion
STEP TYPE =ETCH, TEMP=25
COMMENT Difusi phosphorus (Type "N+ ") Predeposisi
STEP TYPE=PDEP,ELEM=P,TEMP=1100,TIME=30,CONC=1.2E21,MODL=MPH1
COMMENT (Type "N+ ") Drive in
STEP TYPE=OXID, TIME=15,TEMP=1100, MODL=DRY1
COMMENT GATE OXIDE (600 A)
STEP TYPE=OXID, TIME=15,TEMP=1100, MODL=DRY1
PLOT WIND=9, TOTL=Y,IDIV=Y
COMMENT Etc (Mask4) → for contact
STEP TYPE=ETCH, ,TEMP=25
END

```

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil simulasi Profil *impurity* pada daerah kanal n dan n+

Profil *impurity* sebagai hasil simulasi proses pabrikan difusi pada daerah kanal n dan difusi *source-drain* (n+) dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Profil *impurity* sebagai hasil simulasi (a) difusi untuk kanal n (b) difusi n+

Pada Gambar 5 dapat dijelaskan untuk sumbu x/horizontal menyatakan konsentrasi *impurity* dan sumbu y/vertical menyatakan kedalaman kanal, sehingga dapat dilihat bahwa konsentrasi *impurity* untuk difusi kanal n didapat sebesar $2,66 \cdot 10^{19}$ Atom/cm³, serta kedalaman kanal n sebesar 3,4 µm, dan konsentrasi *impurity* untuk difusi kanal n+ atau *source-drain* sebesar $2,63 \cdot 10^{20}$ Atom/cm³, serta kedalaman kanal n+ sebesar 3,4 µm. Dari keseluruhan hasil proses simulasi yang terjadi ini, maka ditentukan Temperatur dan waktu yang diperlukan untuk proses pabrikan seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter proses pabrikasi dari simulasi SSUPREM

Proses	Temperatur	Waktu
Proses difusi	1100 ⁰ C	300 menit
Difusi Phospor (n)	900 ⁰ C	10 menit
Predeposisi	1100 ⁰ C	300 menit
Drive - in	1100 ⁰ C	300 menit
Difusi Phospor (n ⁺)	1100 ⁰ C	60 menit
Predeposisi	1100 ⁰ C	15 menit
Drive - in	1100 ⁰ C	15 menit

VI. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi didapat untuk kedalaman kanal n dan n+ sebesar 3,4 μm dan konsentrasi impurity untuk difusi kanal n sebesar $2,66 \cdot 10^{19} \text{ Atom/cm}^3$, serta konsentrasi impurity untuk difusi kanal n+ atau source-drain sebesar $2,63 \cdot 10^{20} \text{ Atom/cm}^3$, hasil simulasi ini dipakai sebagai acuan untuk proses pabrikasi dengan mengikuti proses, temperature dan waktu yang telah ditentukan dalam simulasi.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. Sze.S.M." Physics of Semiconductor Devices", 2ndED,John willey Sons.Inc.Canada,1997.
2. 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
3. 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.
4. Howes, M.J and Morgan, D.V.," Charge-coupled Device and System", John Willey &Sons, 1998
5. Neamen,D.," Semiconductor Physics and Dev.Basic Principles", Richard DI,Inc.,USA, 1992.
6. Rio, dan M.Lida, "Fisika dan teknologi Semikonduktor", Ass.For Int.Technical Promotion, Tokyo, Japan, 1980
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.