

## FABRIKASI DETEKTOR PARTIKEL ALPHA MENGUNAKAN SEMIKONDUKTOR SILIKON TIPE P

Gunarwan Prayitno  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN Kawasan  
PuspiptekSerpong, Gedung 71, Tangerang - 13510

### ABSTRAK

**FABRIKASI DETEKTOR PARTIKEL ALPHA MENGGUNAKAN SEMIKONDUKTOR SILIKON TIPE P,** Pada kegiatan yang lalu telah dilakukan pembuatan detektor tipe gas isian. Radiasi nuklir yang dideteksi adalah alpha, beta, dan gamma. Pada kegiatan kali ini dilakukan penelitian untuk membuat detektor nuklir surface barrier dengan bahan semi konduktor tipe p menggunakan lapisan tipis jendela emas (Au). Metode yang dilakukan adalah dengan cara membuat dua tipe sambungan yang berbeda. Sambungan pertama berupa lapisan doping Li ke dalam semikonduktor silikon. Tipe sambungan ke dua adalah antara LiSi dan Au. Kedua tipe sambungan dilakukan dengan metode RF Sputtering dan DC Magnetron Sputtering. Karakteristik detektor dilihat dari tegangan reverse bias, forward bias, nilai kapasitansi dan pulsa keluaran detektor. Kemudian dilakukan pengukuran daerah sensitif detektor atau daerah aktif. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa detektor Au-SiLi yang dibuat telah berhasil dapat mengeluarkan spektrum energi partikel alpha, namun untuk kesempurnaan pembuatan detektor perlu dilakukan penelitian dan analisis lebih lanjut

Kata kunci : fabrikasi, detektor partikel alpha, semikonduktor silicon tipe p

### ABSTRACT

**FABRICATION OF ALPHA PARTICLE USED SILICON SEMICONDUCTOR TYPE P,** In several years ago, nuclear radiation detector, specially gas filled detector was fabricated. It detected alpha, beta and gamma rays. Recently, the research is focusing to fabricate a surface barrier nuclear detector by using the semiconductor, specially p type coated by the gold (Au) window thin film. The method was done by developing two different types of junction. The first junction is silicon semiconductor layer doped with Li. The second one is junction between SiLi and Au. Both junctions are performed by using RF Sputtering and DC Magnetron Sputtering methods. The detector is characterized by evaluating reverse bias, forward bias, the capacitance and the detector output pulse. The sensitivity of detector field or the active detector field is then measured. Result shows that the Au-SiLi detector is success in emitting the alpha particles spectrum energy. Meanwhile, to increase the quality of the detector fabrication, more detail research and analysis need to be performed.

Key words : fabrication, alpha particle detector, Silicon Semiconductor tipe p

## 1.PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya aplikasi teknologi nuklir di berbagai bidang diperlukan kepastian akan kuantitas radiasi untuk menjamin tercapainya kinerja yang diinginkan. Radiasi merupakan proses yang terjadi dalam waktu yang singkat untuk dapat diamati secara langsung. Untuk dapat mendeteksi radiasi dalam bentuk partikel bermuatan, partikel netral maupun foton diperlukan detektor radiasi atau yang disebut detektor. Pada dasarnya detektor ini akan mengubah besaran fisis menjadi besaran analog, selanjutnya diproses, menjadi informasi yang diinginkan.

Pada kegiatan sebelumnya, tepatnya di PTAPB Yogyakarta, telah dilakukan pembuatan detektor untuk mendeteksi radiasi nuklir (alpha, beta, dan gamma), meski dengan peralatan dan metoda yang dipergunakan sangat sederhana, hasilnya sangat

memuaskan. Untuk lebih mengembangkan kemampuan teknik dalam fabrikasi detektor, maka dalam kegiatan ini akan dilakukan pembuatan detektor radiasi nuklir dengan bahan semikonduktor tipe p. Beberapa alasan penggunaan bahan ini adalah karena lebih efisien dalam pemakaian, dan tidak memerlukan tegangan tinggi.

## 2. TEORI

Secara fisis proses produksi pasangan ion positif dan ion negatif di dalam detektor radiasi nuklir ( $\alpha$ ,  $\beta$ , gamma) tipe gas isian terjadi melalui ionisasi. Energi radiasi yang masuk ke dalam detektor, akan kehilangan energinya melalui tumbukan dengan atom-atom gas isian sehingga terjadi pasangan ion. Dengan adanya tegangan tinggi yang diberikan antara elektroda positif dan elektroda negatif, maka pasangan ion yang terbentuk akan tertarik sesuai dengan kutub-kutub muatan. Artinya ion positif akan tertarik ke elektroda negatif dan ion negatif akan tertarik ke elektroda positif. Pada akhirnya pulsa keluaran detektor akan sebanding dengan energi radiasi yang datang.

Prinsipnya, apabila energi radiasi yang akan dideteksi lebih besar dari *energy gap* bahan semikonduktor, maka akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Tidak semua energi radiasi terdeposit dalam memproduksi pasangan ion tetapi juga terdeposit dalam bentuk kenaikan temperatur semikonduktor. Energi yang diperlukan untuk membentuk pasangan ion di bahan semikonduktor berkisar antara 1,1 – 3,6 eV. Sedangkan untuk detektor tipe gas isian, untuk memproduksi pasangan ion dibutuhkan energi sekitar 30 eV. Dengan demikian detektor solid state dengan kerapatan tinggi dan *energy gap* yang kecilnya akan mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan detektor gas isian karena mempunyai resolusi yang lebih baik. Lapisan n dibuat dengan cara mendifusikan atom lithium ke dalam semikonduktor tipe p yang dilakukan dengan evaporasi. Pembuatan kontak detektor dan jendela detektor dilakukan setelah proses difusi.

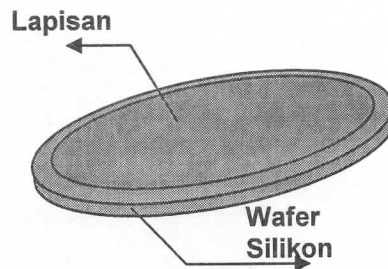
## 3. TATA KERJA

### 3.1. Bahan

Bahan detektor nuklir semikonduktor yang akan dibuat adalah semikonduktor silikon tipe p yang mempunyai mayoritas *hole* sebagai pembawa muatan atau *carrier*. Bahan semikonduktor silikon yang diperlukan mempunyai diameter 8 cm yang disesuaikan dengan alat pelapisan permukaan semikonduktor. Bahan dengan ukuran diameter ini juga tersedia di pasaran. Bahan jadi ini siap untuk dilapisi dengan bahan pelapis permukaan semikonduktor. Bahan pelapis yang akan digunakan adalah emas, karena emas mempunyai jumlah proton lebih besar dari elektron. Sehingga kelebihan proton tersebut akan mengkompensasi *hole* yang ada pada kristal silikon.

Yang dimaksud dengan bahan yang telah jadi (siap proses pelapisan) adalah kedua permukaan semikonduktor sudah seperti cermin (kaca). Dengan permukaan seperti kaca berarti memperkecil arus bocor akibat permukaan. Perlakuan bahan yang siap proses hendaknya bebas debu, bebas sentuhan jari tangan, dan dalam kondisi kelembaban udara laboratorium yang perlu dijaga, sebaiknya rendah di bawah kelembaban normal. Hal ini untuk mencegah oksidasi akibat uap air yang ada di udara berlebih pada permukaan silikon. Silikon siap proses hendaknya disimpan pada toples vakum, dengan kevakuman sekitar  $10^{-3}$  torr. Lama penyimpanan tidak bergantung pada waktu. Hindari sentuhan dengan benda keras pada permukaan semikonduktor. Goresan pada permukaan dapat menyebabkan arus bocor permukaan. Bila goresan ini terjadi, proses untuk menjadikan permukaan seperti cermin dilakukan dengan metode pengikisan goresan dengan proses *Lapping* menggunakan bahan  $Al_2O_3$  (berbagai ukuran dari 600 sampai 1500 micron). Pengikisan ini dilakukan secara bertahap dari

ukuran besar sampai kecil dan berulang. Proses *etching* menggunakan bahan HF, HNO<sub>3</sub>, dan CH<sub>3</sub>COOH dengan perbandingan 3 : 1 : 3 dilakukan beberapa kali yang bertujuan untuk pengikisan permukaan lebih sempurna sehingga membuat permukaan yang cacat akibat goresan hilang hingga seperti permukaan kaca. Gambar 1 di bawah tampak prespektif permukaan yang telah dilapisi oleh emas.



Gambar 1. Lapisan emas pada permukaan silikon

Selain tersebut di atas bahan yang dipergunakan untuk lapisan tipis (disposisi) adalah :

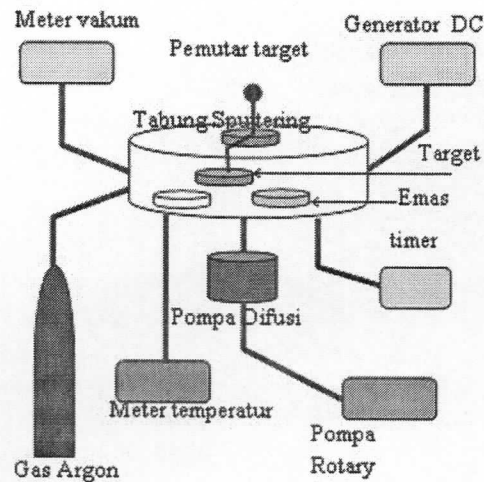
- a. Larutan alkohol (sebagai pencuci)
- b. Keping wafer silikon berdiameter 8 cm, tipe p
- c. Emas murni 99 %
- d. Gas Argon 99,99 %

### 3.2. Peralatan

Sarana peralatan yang akan dipakai dalam fabrikasi atau pembuatan detektor semikonduktor partikel alpha sebagai berikut :

- a. Sistem vakum yang terdiri dari dua pompa vakum, yaitu vakum rendah (pompa rotari) dan vakum tinggi (pompa difusi/turbo)
- b. Generator DC, pembangkit tegangan DC
- c. Tabung *sputtering*, tempat terjadi proses disposisi emas
- d. Dua buah elektroda, tempat meletakkan target emas dan silikon
- e. Pengukur tekanan vakum
- f. Pengukur temperature silikon
- g. *Ultrasonic cleaner*
- h. Pinset, pemegang silikon
- i. *Timer*, pencatat waktu pemanasan dan saat proses sputtering waktu disposisi emas
- j. Wadah sampel untuk wafer silikon setelah proses disposisi

Untuk lebih jelasnya. sistem peralatan tempat terjadinya proses disposisi emas dalam tabung *sputtering*, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem peralatan proses *sputtering* emas pada silikon

### 3.3. Metoda Pelapisan

Pelapisan permukaan detektor semikonduktor bahan siap proses menggunakan metode *sputtering*. Pada prinsipnya fabrikasi detektor semikonduktor tipe *surface barrier* adalah membuat lapisan tipis atau sambungan lapisan tipis p-n. Metode ini menggunakan gas sebagai bahan untuk membantu penembakan sejumlah elektron bebas pada silikon dan disubstitusi dengan proton yang ada pada bahan pelapis (emas). Emas sebagai bahan pelapis diletakkan pada tempat yang diberi tegangan positif tinggi dan panas tinggi sehingga terjadi eksitasi proton, proton tersebut ditarik dengan perbedaan tegangan tersebut antara dua elektroda.

### 3.4. Prosedur Fabrikasi

Prosedur fabrikasi meliputi beberapa tahapan diantaranya, persiapan bahan silikon, proses etching, persiapan sistim alat, proses disposisi lapisan tipis, pengujian sambungan tipis p-n, pembuatan wadah wafer silikon, dan pengujian karakteristik detektor. Pengujian mencakup pengukuran tegangan *forward bias*, dan *reverse bias*, pengukuran kapasitansi, dan pengujian dengan sumber alpha.

#### a). Persiapan Bahan

Wafer silikon yang dibeli di pasaran berbentuk lingkaran. Bila diameter lingkaran telah sesuai dengan wadah di mana akan ditempatkan, maka tidak perlu dilakukan pemotongan atau pengecilan diameter. Pencucian wafer silikon dilakukan dengan alkohol dalam bak *ultrasonic cleaner* selama 45 menit, setelah itu dikeringkan dengan gas  $O_2$ . Pada proses ini hindari wafer silikon bersentuhan dengan jari tangan (menghindari menempelnya lemak, minyak, lapisan oksida ataupun kontaminan anorganik) dan benda keras (menghindari terjadi goresan pada permukaan Kristal silikon). Lakukan penyimpanan wafer silikon pada toples vakum dengan kevakuman  $10^{-3}$  torr, tujuannya supaya tidak teroksidasi dengan udara.

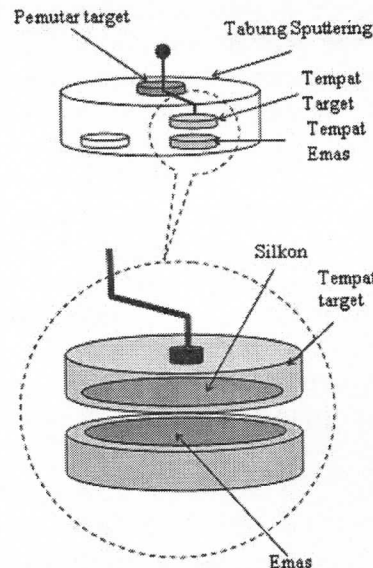
#### b). Proses Etching

Tujuan proses ini adalah untuk mengurangi kekerasan saat terjadi reaksi pada permukaan wafer. Larutan yang dipakai dalam proses *etching* adalah  $CP4$ , bahan  $HF$ ,  $HNO_3$ , dan  $CH_3COOH$ . Proses ini dilakukan selama 3-4 menit. Keringkan dengan gas  $O_2$ , dan simpan pada posisi seperti menyimpan piring pada rak piring, tetapi berada pada toples vakum. Penjepit polyethelene dipergunakan selama proses fabrikasi

detektor *solid state*. Tutup hidung digunakan untuk mencegah kontaminasi udara dari pernafasan. Kelembaban ruang laboratorium harus tetap diperhatikan.

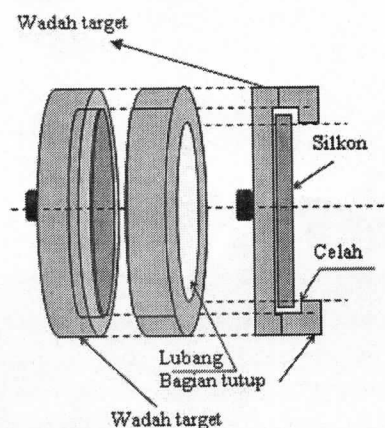
c). Persiapan Peralatan *Sputtering*

Pastikan semua peralatan dan kabel-kabel konektor terpasang dengan benar, seperti pada Gambar 2. Setelah sistim peralatan proses *sputtering* terpasang baik dan benar, kabel utama dihubungkan ke sumber tegangan PLN. Langkah pertama dilakukan pengetesan tabung vakum, untuk memastikan tidak ada kebocoran. Tahap berikutnya peralatan *sputtering* dimatikan, dan buka tabung vakum. Kemudian letakkan wafer silikon pada tempat yang sudah ditentukan, yaitu pada bagian pemutar (tempat target), seperti tampak pada Gambar 2. Sisi permukaan yang menghadap ke bawah atau menghadap tempat kedudukan emas harus tepat di atas lempengan target emas (satu sumbu). Bagian sisi permukaan lain (bagian belakang) harus tertutup rapat dan dipastikan tidak ada celah yang memungkinkan partikel-partikel proton hasil eksitasi tidak dapat masuk lewat celah di antara letak target dengan target (lihat tanda panah pada Gambar 3).



Gambar 3. Peletakan target silikon dan target emas pada tempatnya.

Bentuk tempat kedudukan target silikon tampak pada Gambar 4 (tampak lintang).



Gambar 4. Tampak lintang kedudukan target silikon

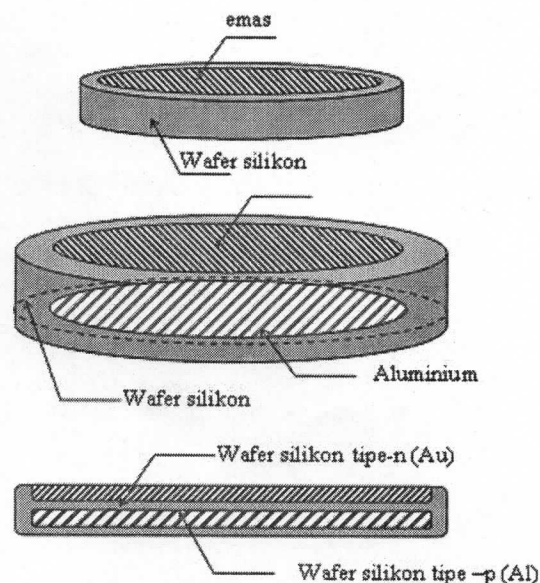


Gambar 4 menjelaskan tempat terjadinya kemungkinan kebocoran saat pelapisan emas. Untuk mengatasi hal ini disarankan untuk memperbaiki wadah wafer silikon antara tempat peletakan dan tutup setelah diletakkan. Artinya perlu dipikirkan bahan yang tahan akan vakum tinggi ( $10^{-6}$  torr) dan temperatur tinggi ( $\pm 300$  °C). Setelah wafer silikon terpasang pada tempatnya, kemudian ruang atau tabung *sputtering* ditutup. Dan pastikan semua alat yang terpasang seperti Gambar 2 terpasang dengan baik dan benar.

d). Proses Disposisi Lapisan Tipis

Wafer silikon diletakkan pada tempatnya (elektroda positif), dan lithium diletakkan pada tempatnya (elektroda negatif). Kemudian nyalakan peralatan secara bertahap. Tahap pertama adalah pemvakuman hingga diperoleh kevakuman mencapai  $10^{-5}$  torr. Selama pemvakuman jangan lupa mengalirkan sistim pendingin untuk pompa difusi. Kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua, yaitu pemanasan wafer silikon hingga temperatur mencapai  $200$  °C. Setelah itu, gas argon dibuka sehingga tekanan menjadi  $3 \times 10^{-2}$  torr. Tahap ketiga, alat DC *magnetron sputtering* dinyalakan untuk memberikan tegangan dan arus DC pada wafer silikon. Pemberian arus DC dilakukan secara bertahap hingga terjadi plasma (discharge) dari emas. Proses ini dapat dilihat dari jendela pengontrol yang ada pada bagian kiri dan atas alat DC *magnetron sputtering*. Yang perlu diperhatikan saat disposisi lapisan emas adalah arus pada katoda, tegangan DC dan tekanan gas argon. Lama proses biasanya berkisar 2 – 4 menit. Tahap ke empat, setelah proses disposisi lapisan tipis pada wafer silikon tercapai, kemudian dilanjutkan dengan mematikan semua sistim alat dan menunggu proses pendinginan hingga temperatur kamar. Kemudian wafer silikon diambil. Hindari sentuhan dengan benda keras dan tangan saat mengambil wafer.

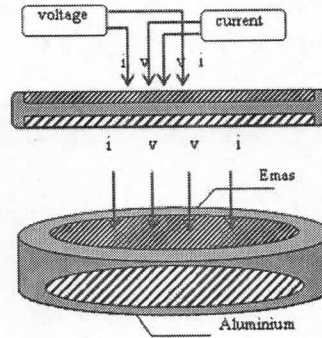
Setelah proses pelapisan emas selesai dilanjutkan dengan pelapisan aluminium sebagai kontak detektor di sisi permukaan wafer yang lain. Pelapisan ini dilakukan dengan metoda dan prosedur yang sama saat pelapisan emas. Akan terjadi bentuk lapisan seperti terlihat di Gambar 5.



Gambar 5. Penampang lintang wafer silikon yang telah terlapis oleh Aluminium dan Emas

e). Pengujian Sambungan Tipis p-n

Pengujian konduksi sambungan dilakukan dengan menggunakan alat instrumentasi *Four Point Probe*. Dari pengujian ini dapat diperoleh informasi homogenitas pelapisan yang terjadi pada lapisan permukaan wafer silikon seperti tampak pada Gambar 6.

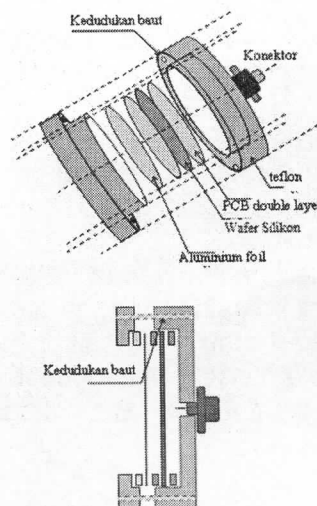


Gambar 6. Pengukuran resistivitas dengan *four point probe*

Dari hasil pengukuran dihasilkan resistivitas  $0,584 \times 10^4$  ( $\Omega/m^2$ ). Dari pengukuran *forward bias*, pada sambungan Au-Si (n) didapatkan  $5,85 M\Omega$  dan *reverse bias* didapat  $198,6 M\Omega$ . Sedangkan untuk sambungan Al-Si (p), untuk *forward bias* didapat  $0,542 M\Omega$  dan untuk *reverse bias* didapat  $1,365 M\Omega$ . Bila dibandingkan dengan Canberra, untuk *forward bias* CANBERRA =  $1,25 M\Omega$  dan ORTEC =  $0,24 M\Omega$ , kondisi *reverse bias* CANBERRA =  $180,5 M\Omega$  dan ORTEC =  $2,81 M\Omega$ . Detektor semikonduktor dikatakan baik jika *reverse bias* lebih besar 5 kali dari *forward bias* besar. Dengan melihat hasil yang diperoleh di atas dapat disimpulkan detektor yang dibuat dapat dikatakan cukup baik.

f). Pembuatan Wadah Wafer Silikon

Detektor semikonduktor yang telah di- buat diletakan dalam wadah (*housing detector*), terbuat dari bahan *polyethelene* atau Teflon dan sejenisnya. Pembuatan dilakukan dengan memperhatikan, diameter wafer silikon, letak kontaktor elektroda positif dan negatif, seperti tampak pada Gambar 7. Pengambilan kontak dari kedua elektroda dengan menggunakan PCB *double layer*.



Gambar 7. Wadah (*housing*) detektor

4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

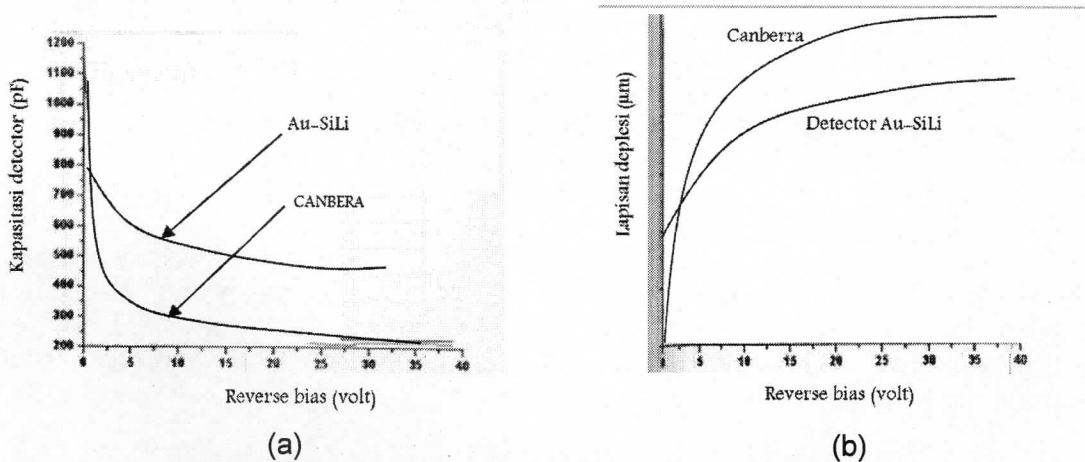
4.1. Pengukuran Kapasitansi

Pengukuran kapasitansi detektor *surface barrier* menggunakan alat ukur digital LCR, dilakukan dengan memberikan tegangan *reverse bias* secara bertahap. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisa sehingga akan didapat lebar lapisan tipis atau daerah aktif detektor (*intrinsic*). Analisa ini menggunakan persamaan berikut, [6]

$$d = \frac{k\mu_0 A}{C} \dots\dots\dots(1)$$

- Keterangan: k = konstanta dielektrik silikon  
 $\mu_0$  = konstanta permitivitas silikon  
 C = kapasitansi detektor  
 d = lebar daerah aktif detektor  
 A = luas wafer silikon

Semakin lebar daerah aktif detektor, dapat dikatakan detektor tersebut semakin baik. Hasil perbandingan secara grafis detektor yang dibuat dengan detektor referensi CANBERA, terlihat dalam Gambar 8.a..



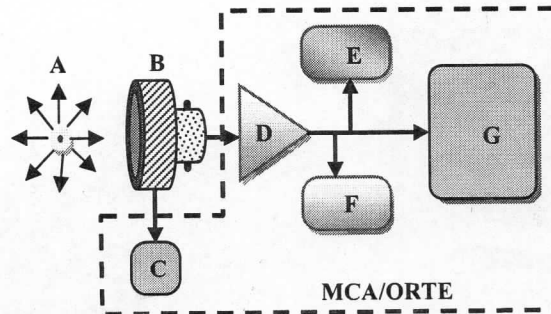
Gambar 8 (a). Hubungan antara *reverse bias* dengan kapasitansi detector (Au-SiLi)  
 (b). Grafik hubungan antara *reverse bias* dengan lapisan *depleksi*

Gambar 8.b. menunjukkan *reverse bias* vs lebar daerah aktif (*intrinsic*). Semakin lebar daerah aktif detektor, dapat dikatakan detektor tersebut semakin baik.

4.2. Pengujian Dengan Sumber Alpha

Setelah detector diletakkan dalam wadah detektor dan terpasang dengan baik dan benar, dan dipastikan semua kontaktor dengan elektroda tersambung dengan baik dan benar, selanjutnya hubungkan atau integrasikan dengan sistim alat *spektroskopi energy* nuklir, (MCA/ORTEC) dalam sistim alat ini telah terintegrasi didalamnya semua yang diperlukan dalam pengujian detektor. Blok diagram sistim pengujian detektor ditunjukkan dalam Gambar 10.



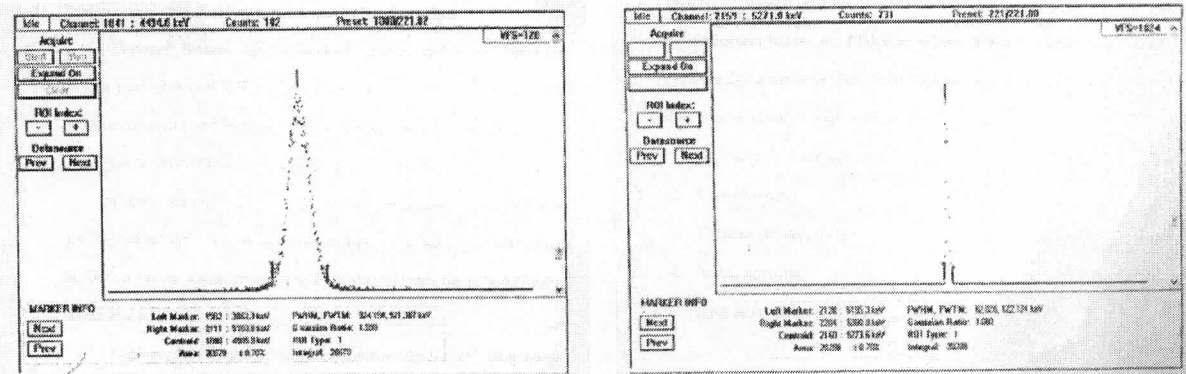


Gambar 10. Sistem perangkat uji detektor alpha

Keterangan:

- A = sumber radiasi *alpha*
- B = detektor
- C = sumber tegangan
- D = amplifier
- E = pencacah (*counter*)
- F = pencatat waktu (*timer*)
- G = layar tampilan

Melalui *MCA/ORTEK*, dan mengatur tegangan yang diperlukan oleh detektor semikonduktor, peletakan sumber dipastikan dengan benar, dan diletakan pada tempat yang telah tersedia. Lanjutkan dengan mengaktifkan alat tersebut. Waktu pencacahan diset selama 102 detik untuk detektor Au-Si dan 731 detik untuk detektor *ORTEC*. *Spectrum energi alpha* yang diperoleh terlihat dalam gambar 11a dan 11b.

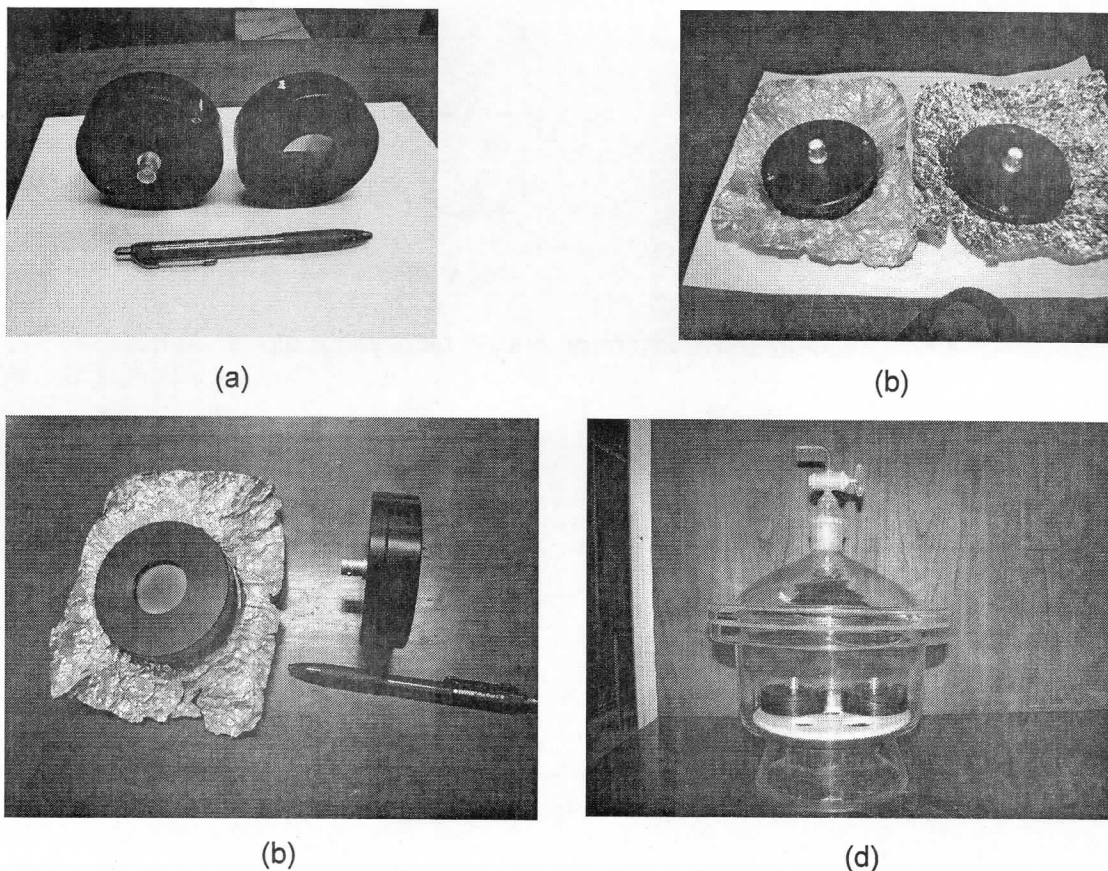


(a)

(b)

Gambar 11.(a). Spektrum energi Alpha dengan MCA, detektor Au-Si  
(b). Spektrum energi Alpha dengan MCA, detektor ORTEC

Hasil fabrikasi detektor semikonduktor partikel *alpha* ditampilkan seperti dalam Gambar 12a, b, c dan d. Dimensi detektor dapat dilihat dari perbandingan dengan pulpen di sebelah.



Gambar 12. (a). Detektor semikonduktor partikel *alpha*  
(b). Pembungkusan detektor semikonduktor dengan aluminium foil  
(c). Dimensi ketebalan detektor yang dibuat dibandingkan dengan pulpen  
(d). Penyimpanan detektor dalam tabung vakum  $10^{-3}$  torr.

#### 4.3. Analisa Hasil Pengujian

Setelah selesai pembuatan detektor, dilanjutkan dengan pengujian. Dalam pengujian, diukur tegangan maju dan mundur, menghitung daerah deplesi dan kapasitansi. Hasil pengukuran *reverse bias* ditampilkan dalam kurva Gambar 8 dan 9. Dapat dilihat bahwa tegangan *reverse bias* pada beberapa variasi tegangan yang diberikan, menunjukkan kenaikan yang hampir konstan, ( $\pm 4/5x$ ). Untuk hasil yang baik *reverse bias* sebaiknya mencapai  $10x$  atau  $20x$  lebih besar. Artinya kenaikan resistivitas cukup signifikan. Bila nilai resistivitas yang dihasilkan tinggi, maka detektor mempunyai *stopping power* yang besar, hal ini berdampak pada nilai resolusi detektor. Hasil pengujian spektrum alpha (Gambar 10a dan 10b) menunjukkan bahwa detektor Au-SiLi yang dibuat telah dapat membentuk spektrum energi alpha yang menyerupai spektrum energi yang dibuat oleh detektor ORTEC. Ini berarti bahwa detektor semikonduktor yang dibuat dapat dikatakan berhasil. Pada kegiatan ini dicoba suatu metoda baru dari sistim pelapisan permukaan detektor *surface barrier*. Ternyata proses pelapisan berhasil dengan baik. Walaupun dilakukan dengan metode, sarana dan prasarana laboratorium yang sangat sederhana. Untuk menghasilkan detektor semikonduktor yang lebih berkualitas, dan dapat bersaing dengan produk luar negeri, perlu perbaikan laboratorium selain kondisi kelembaban laboratorium yang perlu dijaga.

## 5. KESIMPULAN

Fabrikasi detektor solid state yang dibuat telah berhasil. Namun untuk meningkatkan mutu dan kualitas detektor perlu dikaji ulang masalah sarana dan prasarana laboratorium. Pengujian-pengujian yang terlihat dalam grafik, terlihat jauh dari grafik referensi dari detektor standar yang dipakai. Hal ini dikarenakan adanya pengotoran permukaan wafer silikon. Pengotoran disebabkan oleh kelembaban, debu yang ada di Laboratorium, cacat Kristal, dan pembuatan kontaktor detektor (tipe standar). Faktor utama penyebab ketidak homogenya doping unsur, dalam mengkompensasi kristal silikon adalah perlengkapan laboratorium yang dipakai sudah cukup tua sehingga perlu diperbaharui dan dilengkapi. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa detektor semi konduktor Au-SiLi yang telah dibuat menunjukkan kecenderungan performen yang diinginkan. Variasi tegangan *reverse bias* terhadap kapasitansi dan lebar *depletion* yang diberikan telah memberikan variasi perubahan tegangan yang serupa dengan formasi ORTEC. Begitu pula detektor Au-SiLi menunjukkan spekturm alpha yang serupa dengan ORTEC.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. William J. Price, 1964, *Nuclear Radiation Detection*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York USA.
- [2]. MAli Omar, 1975, *Elemtary Solid State Physics*Addison-Wesley Publishing Company, Amsterdam.
- [3]. S.M. Sze, 1985, *Semiconductor Drvices Physics and Technology*, John Wiley & Sons, New York.
- [4]. Glenn F. Knoll, 1985, *Radiation Detection and Measurment*, John Wiley & Sons, New York.
- [5]. Gunarwan Prayitno, Nopember 2010, *Jurnal Perangkat Nuklir*, Volume 04, Nomor 08, Serpong.
- [6]. Sandor Deme, 1971, *Semicondoctor Detectors For Nuclear Radiation Measurment*, Adam Hilger LTD, London.