

RANCANG BANGUN DETEKTOR SOLID STATE

Gunarwan Prayitno, Ahmad Rifai

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN,
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 71, Tangerang - 15310

Abstrak

Telah banyak detektor pendeteksi radiasi partikel bermuatan dibuat oleh industri, khususnya yang berkecimpung dalam pengembangan peralatan dan komponen deteksi. Perkembangan dan penelitian lebih lanjut akan dibuat detektor solid state dengan bahan silikon. Untuk dapat mendeteksi partikel bermuatan (radiasi), diperlukan pengolahan bahan silikon menjadi bahan detektor. Metode yang dipakai untuk menjadikan silikon menjadi bahan detektor adalah evaporasi lithium. Setelah terbentuk daerah intrinsik dilakukan proses pemasangan kontaktor, dilanjutkan dengan pengujian.

Kata kunci : solid state, evaporasi, radiasi, G-M counter

Abstract

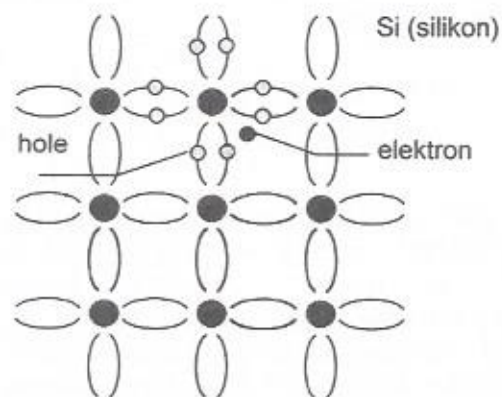
Much has been charged particle detector radiation detector made by the industry, especially those engaged in the development of detection equipment and components. The development and further research will be made solid state detector with silicon material. To be able to detect charged particles (radiation), required the processing of silicon material into the detector material. The method used to make silicon detector material is a lithium evaporations. Having formed an intrinsic region contactor installation process, and with testing.

Key Words : solid states, evaporations, radiation, G-M counter

1. Pendahuluan

Rancang bangun detektor solid state merupakan pengembangan dari detektor tipe gas isian, yang selama ini telah dibuat di PTAPB-BATAN Yogyakarta. Telah banyak setektor tipe solid state dibuat oleh industri dari luar negeri, khususnya yang bergerak dalam pengembangan komponen elektronik. Dilatar belakangi oleh tugas utama dari PRPN dan latar belakang keilmuan peneliti, akan dicoba memfabrikasi detektor solid state dari bahan silikon. Sebenarnya tidak hanya dari bahan silikon saja detektor solid state dapat dibuat, dari bahan semikonduktor lainyapun bisa, asalkan tergolong dalam bahan semikonduktor, menurut tabel periodik elemen. Ikatan dalam kristal silikon adalah kovalen dengan mayoritas hole. Untuk mengkompensasi hole tersebut kita substitusikan atom yang mempunyai kelebihan elektron. Dalam

hal ini bahan yang dipergunakan untuk mengkompensasi hole adalah bahan lithium. Secara sekematis dapat dilihat pada Gambar 1.

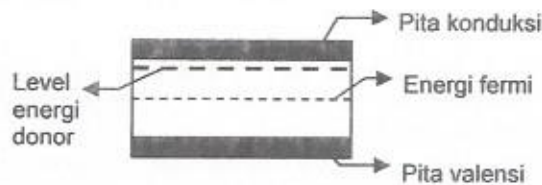


Gambar 1. Ikatan kristal bahan silikon

Untuk mengkompensasi hole dengan metode drift.

2. Teori

Telah dijelaskan bahwa ikatan kristal silikon adalah kovalen, kristal silikon dengan mayoritas hole. Semua hole terikat oleh kristal tetangganya. Namun ada sebuah elektron bebas yang tidak mempunyai ikatan. Dengan mayoritas hole maka letak level energi ada dibawah level energi fermi, berada pada pita valensi. Sebelum di doping dengan elektron lithium bahan silikon masih bersifat isolator. Dengan cara mensubtitusikan elektron kedalam ikatan kristal silikon, artinya kita menaikkan level pita energi, mendekati level pita konduksi. Yang tadinya level pita energi letaknya dibawah energi fermi, dengan mayoritas hole. Setelah substitusi elektron dari atom lithium level energi berpindah keatas level energi fermi, mendekati level pita konduksi. Lihat Gambar 2.



Gambar 2. Perpindahan letak level energi donor elektron lithium

Tujuan mendoping silikon dengan lithium untuk mengkompensasi jumlah hole dengan elektron donor dari lithium. Sehingga akan mengakibatkan konsentrasi donor (elektron) akan sama dengan konsentrasi aseptor (hole), melalui persamaan ;

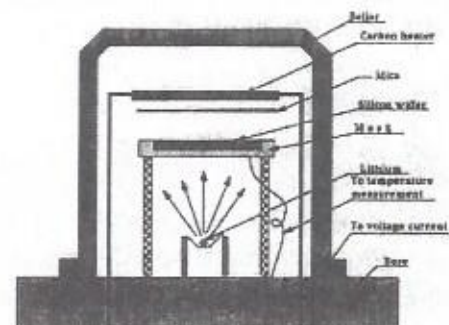
$$\begin{aligned} n &\approx N_D - N_A \\ p &\approx N_A - N_D \end{aligned} \dots\dots(1)$$

Dengan N_D adalah konsentrasi donor, N_A konsentrasi aseptor, n adalah elektron dan p adalah hole. Bila terjadi keseimbangan antara donor dan aseptor maka perkalian antara minoritas carrier dan mayoritas carrier akan sama dengan muatan intrinsik (n_i) carrier, dengan persamaan;

$$n \cdot p = n_i^2 \dots\dots\dots (2)$$

3. Metode

Untuk mengkompensasi hole dalam kristal silikon dengan mensubtitusikan sejumlah elektron lithium ke dalam kristal silikon. Dengan cara mengvaporasikan lithium ke salah satu permukaan wafer silikon. Evaporasi lithium dilakukan dalam ruang vakum dengan tekanan vakum $\pm 10^{-4}$ torr. Selama pemvakuman wafer silikon dipanaskan sampai dengan ± 320 °C. Setelah wafer silikon mencapai temperatur yang ditetapkan, panaskan lithium hingga menguap. Proses pengontrolan tekanan vakum, temperatur silikon, dan pemanasan lithium dilakukan diluar tabung evaporasi, Melalui peralatan penunjang. Bila evaporasi lithium telah selesai matikan semua alat kontrol. Biarkan temperatur silikon mencapai temperatur kamar. Selama pendinginan hingga temperatur kamar, elektron atom lithium berdifusi ke dalam kristal silikon. Dalam Gambar 3. Diperlihatkan proses evaporasi lithium pada tabung evaporasi. Dilanjutkan dengan Gambar 4. Yang memperlihatkan bagaimana proses difusi sejumlah donor elektron lithium ke dalam kristal silikon.



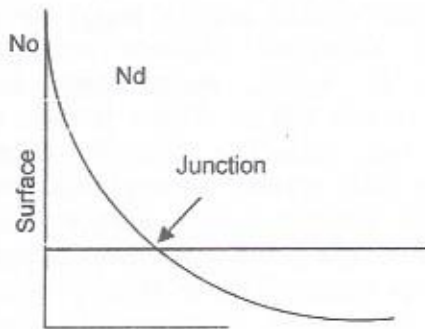
Gambar 3. Tabung vakum evaporasi lithium

$$j = (e \cdot n \cdot v_D^n + e \cdot p \cdot v_D^p) = E / \rho \dots\dots (3)$$

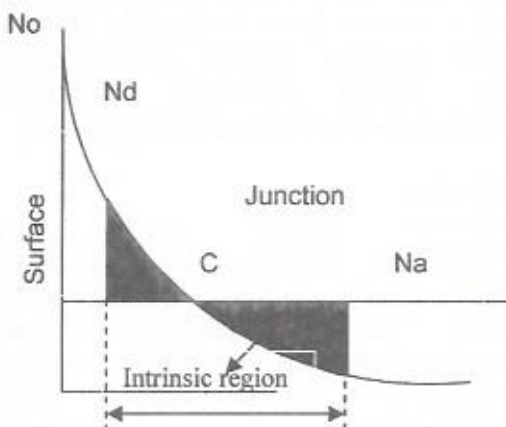
E merupakan muatan elektron, n kerapatan elektron dan p kerapatan hole, E medan listrik, ρ resistivity. Sehingga nilai resistivity dapat ditentukan dengan mengubah persamaan diatas menjadi ;

$$\rho = \frac{1}{e(\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p)} \dots\dots (4)$$

μ_n dan μ_p adalah mobilitas elektron dan hole.



Gambar 4a. Sebelum proses difusi



Gambar 4b. Sesudah proses difusi

Gambar 4a menunjukkan sebelum terjadi proses difusi dan gambar 4b menunjukkan setelah proses difusi. gambar yang diarsie menunjukkan daerah intrinsik. Dimana jumlah elektron dan hole mencapai jumlah yang sama. N_0 jumlah elektron kondisi awal, N_d jumlah elektro donor, dan N_a elektron septor dan titik c menunjukkan titik kontak lapisan p dan palisan n.

Setelah proses difusi dilanjutkan dengan proses drift. Yaitu dengan memberikan wafer silikon tegangan, arus dan temperatur. Ketiga variabel ini secara periodik dinaikkan dengan sekala tertentu. Ketiga variabel dikontrol oleh sebuah alat ploter grafik. Bila ketiga garis grafik variabel bertemu disatu titik, artinya proses drift selesai.

Setelah proses drift selesai dilanjutkan dengan evaporasi aluminium pada permukaan silikon yang lainnya.

Fungsinya sebagai kontaktor. Setelah selesai evaporasi aluminium diteruskan dengan pemasangan kontaktor dengan selotip tembaga, kemudian sebagai tahap akhir adalah evaporasi emas pada permukaan silikon yang ada lihtium dan selotip tembaga. Pastikan bahwa selotip tembaga terevaporasi dengan emas, dan pastikan terjadi kontak dengan baik antara selotip dengan emas. Fungsi lapisan emas sebagai jendela detektor.

4. Pembahasan

Bentuk fisik detektor yang akan dibuat berbentuk lingkaran, diameter 2 inch, ketebalan 0.5 mm, dan akan di tempatkan pada holder yang telah terintegrasi dengan konektor. Proses pembuatan holder detektor dengan bubutan. Terbuat dari bahan fiber glass atau polyethelene. Bila bahan wafer silikon dalam bentuk metah atau masih kasar , akibat pemotongan. Maka perlu beberapa proses yang dilakukan. Ketika partikel bermuatan masuk kedalam daerah sensitif bahan semikonduktor atau dapat dikatakan masuk daerah Intrinsic, maka akan terbentuk pasangan ion yaitu elektron dan hole. Elektron dan hole tersebut akan tertarik sesuai ke elektroda yang bersesuaian, hole akan tertarik ke kutup negatif elektroda dan elektron akan tertarik ke kutup positif elektrode. Sebagai akibatnya akan timbul arus keluaran, mempunyai orde yang sangat kecil. Walaupun kecil tetapi masih diatas arus akibat noise. Arus inilah yang dideteksi melalui alat instrumen deteksi, besar kecil arus yang terdeteksi sebandng dengan energi pertikel bermuatan yang hilang. Pada proses fabrikasi detektor solid state dengan bahan silikon, berarti kita membuat suatu daerah sensitif atau daerah intrinsic. Untuk dapat menarik kedua muatan ion yang terbentuk menggunakan supplai tegangan balik (*reverse bias*) pada sambungan p-n. Dengan demikian daerah intrinsic terletak diantara p-n, sehingga terjadi lapisan baru yang terdiri dari lapisan p-i-n, dimana i adalah daerah intrinsic. Gambar 4.

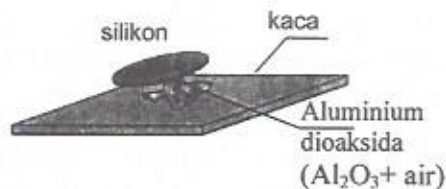


Gambar 4. Lapisan Intrinsik yang terjadi pada solid state semikonduktor

Detektor solid state yang akan dibuat terbuat dari bahan silikon tipe P (FZ 111), untuk mendeteksi radiasi sinar gamma dan beroperasi pada tegangan yang relatif tidak terlalu tinggi, temperatur kamar, dan tampilan energi radiasi gamma melalui tampilan grafik spektrum energi.

a.lapping

Langkah pertama wafer silikon dengan bentuk yang masih kasar akibat pemotongan dari pabrik harus diperhalus permukaannya, untuk itu lakukan metode lapping. Gambar 5.



Gambar 5. Proses lapping wafer silikon

Pengerjaan lapping diatas permukaan kaca setebal 1 cm. Dilakukan dengan membuat putaran searah jarum jam. Jangan membalik putaran. Ini akan mengakibatkan cacat permukaan.

Lapping adalah suatu metode penghalusan permukaan silikon akibat proses pemotongan kristal silikon dengan menggunakan bahan bubuk kimia (Al_2O_3) Aluminium Dioksid. Proses lapping dilakukan sebelum proses evaporasi lithium. Permukaan silikon akibat pemotongan kristal akan mempunyai permukaan yang masih kasar. tujuan dari proses ini untuk menghaluskan permukaan silikon hingga menyerupai cermin. Proses lapping menggunakan serbuk kimia Al_2O_3 dengan ukuran 400 -

1500 mikron. Dilakukan diatas permukaan kaca berukuran 50 x 50 cm tebal 1 cm. Lapping dilakukan bertahap dari nomor rendah sampai tinggi. setiap tahapan aluminium dioksida dicampur dengan air suling, setiap pergantian nomor serbuk silikon dicuci dengan air suling dan diperiksa apakah terjadi goresan saat proses lapping. Bila tidak lanjutkan dengan nomor serbuk yang lebih halus, bila terdapat goresan lakukan sekali lagi sampai tidak terdapat goresan. Begitu seterusnya dengan cara yang sama, dan setiap pergantian nomor serbuk kaca diganti dengan yang berlainan. Cara menghaluskan dengan cara membuat putaran searah. Setelah proses lapping selesai silikon dicuci dalam mesin ultrasonik, dilanjutkan dengan proses etching. Lihat gambar 5.

b.Etching

Etching adalah suatu cara penghalusan permukaan bahan silikon setelah proses lapping, menggunakan larutan kimia, dilakukan dengan menggunakan gelas ukuran dari bahan polyethylene. Larutan kimia yang dipergunakan merupakan campuran dari $HF + HNO_3 + CH_3COOH$ dengan perbandingan 1 : 3 : 1. Dilakukan secara berulang-ulang, lima sampai enam kali. Lamanya waktu setiap melakukan etching adalah 5 sampai 10 menit. Saat melakukan etching akan terjadi panas akibat reaksi ketiga larutan tersebut. Untuk menghindari panas, lakukan pendinginan dengan es batu disekitar gelas ukur yang ada silikon. Tujuannya supaya tidak terjadi reaksi yang terlalu cepat. Setelah proses etching selesai dilanjutkan dengan pencucian silikon dengan larutan $HF + water$ Dionized (air suling). Pencucian ini dilakukan beberapa kali, setiap kali mencuci lamanya 1,5 menit.

Tujuan metode ini mengkilis permukaan silikon hingga seperti permukaan cermin. Gunakan alat bantu seperti gelas ukur terbuat dari bahan polyethelene, Gambar 6.

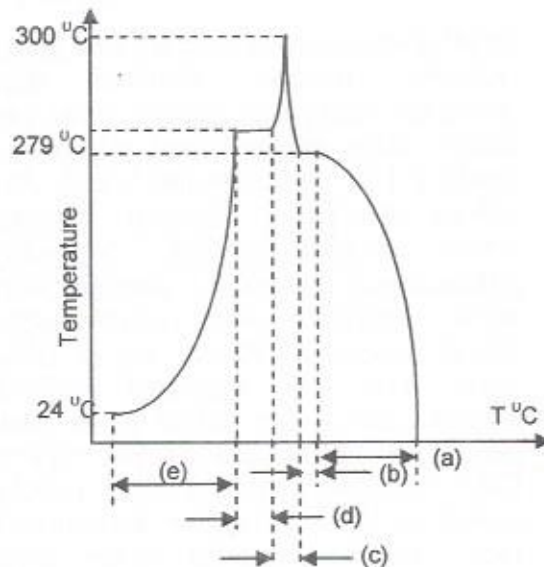


Gambar 6. Gelas ukur sebagai alat bantu proses etching.

Setelah permukaan wafer halus dan tanpa cacat goresan, lanjutkan dengan proses etching, atau penghalusan permukaan dengan larutan CP4 dengan perbandingan 1 : 3 : 1 (HF : HNO₃ : CH₃COOH).

c. Evaporasi dan Difusi

Evaporasi adalah suatu metode pelapisan tipis pada permukaan silikon dengan cara penguapan dan pemanasan dalam ruang vakum. Lapisan tipis lithium yang terbentuk merupakan bagian dari Nd (konsentrasi donor) dan silikon yang dievaporasi merupakan lapisan Na (konsentrasi acceptor). Evaporasi dilakukan pada ruang vakum dengan kevakuman 10⁻⁶ Torr, selama waktu pemvakuman, saat yang bersamaan silikon dipanaskan hingga 279 °C - 300 °C. Setelah silikon mencapai temperatur tersebut, panaskan bahan lithium yang diletakan pada tempatnya dengan memberikan arus DC secara bertahap, melalui transformator DC hingga mencapai titik menguap. Bahan lithium diletakan pada suatu tempat yang dihubungkan dengan arus DC. Tempat meletakkan lithium mempunyai titik lebur yang tinggi, dibandingkan dengan titik lebur lithium. Sehingga pada saat lithium dipanaskan hingga titik lebur dan menguap, tempat tersebut tidak akan melebur dan menguap, biasanya digunakan bahan tungsten. Setelah proses evaporasi lithium, selesai, instrumen pemanas dimatikan (off), silikon di dinginkan hingga temperatur kamar, tetap dalam kondisi vakum. Temperatur kamar tercapai barulah silikon dapat di keluarkan dari ruang vakum. Lihat gambar proses pemanasan silikon.



Gambar 6. grafik pemanasan lithium selama Li evaporasi (a). Pemanasan wafer Si, (b). temp. dijaga tetap selama 5 menit sebelum evaporasi, (c), buka penutup bahan lithium, (d), proses difusi, (e), pendinginan wafer sampai temp. Kamar.

Pada grafik tertera huruf-huruf yang merupakan penggalan grafik dimana setiap penggalan merupakan langkah proses jalannya pemanasan silikon. Penggalan grafik A merupakan waktu yang di perlukan untuk memanaskan silikon. B merupakan waktu untuk menjaga temperatur konstan saat akan di evaporasi, biasanya 5 menit. C waktu yang dibutuhkan untuk buka dan tutup saat penguapan lithium. D waktu difusi permukaan silikon. Lonjakan temperatur hingga 300 OC akibat dari tambahan panas saat lithium menguap. Lanjutkan dengan proses difusi, wafer silikon diletakan dalam ruang pemanas diberi kontrol , tegangan, dan arus. Atur kenaikan tegangan untuk setiap periode tertentu. Setelah proses drift selesai wafer silikon dievaporasi dengan aluminium pada permukaan yang tidak ada lithumnya Lanjutkan dengan evaporasi emas (window) pada permukaan yang ada lithium. Setelah wafer silikon di evaporasi dilanjutkan dengan proses difusi, tujuan proses ini adalah untuk mengkompensasi elektron bebas pada ikatan atom kristal silikon, dengan metode yang dilakukan yaitu, wafer silikon diletakan pada ruang furnaces, lalu dipanaskan, diberi tegangan dan arus. Ketiga inputan atau variabel

tersebut dihubungkan secara seri dengan recorder, dengan demikian dapat diketahui kedalaman proses difusi pada silikon wafer. Proses difusi memerlukan waktu 2-3 minggu. Setelah proses difusi selesai dilanjutkan dengan evaporasi emas sebagai jendela, selanjutnya pemasangan kontaktor. Kondisi teknis waktu evaporasi emas sama dengan proses evaporasi lithium, hanya bahan yang akan di evaporasi berbeda. Pemasangan wafer silikon pada holder yang telah terintegrasi dengan konektor BNC merupakan tahap akhir sebelum masuk ke tahap pengujian detektor solid state. Letak evaporasi emas diatas permukaan lithium yang telah mengalami proses difusi. setelah proses difusi selesai lakukan evaporasi emas pada permukaan yang ada lapisan lithium. Fungsinya sebagai window detektor solid state.



Gambar 6. Tampak hasil evaporasi pada kedua sisi permukaan silikon wafer

d.Pemasangan Kontaktor

Setelah sebagian lithium masuk ke dalam wafer silikon, kemudian dilakukan pemasangan kontaktor dengan sejenis *copper shielding tape* atau kabel tembaga, yang ditempelkan pada permukaan yang akan dievaporasi dengan emas. Pastikan kontak terevaporasi dengan emas, dan pastikan terjadi kontak dengan baik antara kabel lontak dengan lapisan evaporasi emas.

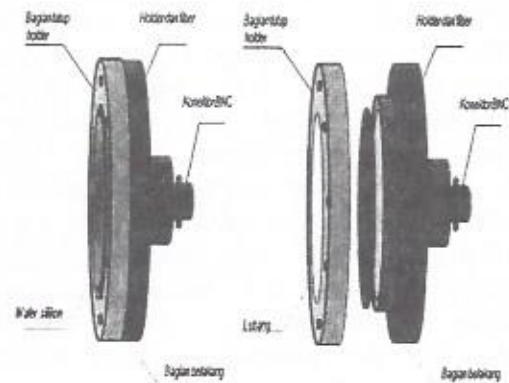


Gambar 3. Letak kabel kontaktor pada silikon wafer setelah evaporasi emas.

Kabel kontaktor selanjutnya akan dihubungkan dengan konektor BNC yang berada pada *holder*. Lakukan pengecekan sekali lagi apakah benar terjadi kontak antara antara kabel kontaktor dengan konektor BNC.

e.Pemasangan Holder Detektor

Setelah proses pemasangan kabel kontaktor selesai dilanjutkan dengan pemasangan wafer silikon yang sudah ada kontaktor dengan kedudukan *holder* wafer silikon. Tempat kedudukan wafer silikon yang terdapat kontk BNC sidebut bagian belakang dan yang lain disebut bagian tutup *holder*. Pada bagian tutup diberi lubang untuk jendela, yang nantinya akan ditutup oleh aluminium foil.



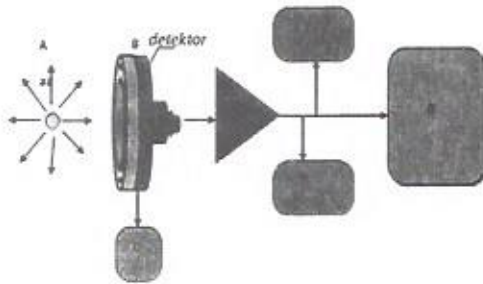
Gambar 4. Kedudukan wafer silikon pada holder

Kedudukan wafer silikon (*holder*) terbuat dari bahan lunak, seperti fiber atau polyethelene yang berbentuk batangan masif atau pejal. Pemotongan dan dimensi tergantung pada ukuran silikon wafer yang telah diproses. Kedudukan silikon wafer (*holder*) melalui proses pembubutan. Pada bagian belakang holder diberi konektor BNC standart, fungsinya untuk pemberian tegangan input operasi detektor.

5. Pengujian Detektor

Ketika partikel bermuatan masuk kedalam daerah sensitif atau daerah intrinsik, maka akan terbentuk pasangan ion yaitu elektron dan hole. Elektron dan hole tersebut akan tertarik sesuai ke elektroda yang bersesuaian, hole akan tertarik ke kutub negatif elektroda dan elektron akan tertarik ke kutub positif elektrode. Terjadilah pulsa output, kemudian dideteksi dengan perangkat deteksi.

Pengujian dilakukan dengan cara sederhana. Yaitu dengan meletakkan detektor solid state didekat sumber radiasi, kemudian output dari detektor dihubungkan ke rangkaian pengujian. Rangkaian pengujian detektor dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian pengujian detektor solid state. a. sumber radiasi, b. detektor, c. Sumber tegangan, d. penguat, e. pencacah, f. timer, osilloscope

6. Kesimpulan

Rancangan detektor semikonduktor solid state yang akan dibuat atau difabrikasi akan mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Diameter silikon = 4,8 cm
Tebal silikon = 0,5 mm
Diameter total dengan holder = 5,6 cm
Tebal total dengan holder = 1,5 cm
Berat total silikon dan holder = 30 gm

7. Daftar Pustaka

1. Sandor Deme., *Semiconductor Detectors For Nuclear Radiation measurment*, Muszaki Konyvkiado, Budapest, 1971.
2. William J. Price, *Nuclear Radiation Detection*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York USA, 1964.

3.M.Ali Omar, *Elementary Solid State Physics*, Addison-Wesley Publishing Company, Amsterdam, 1975.

4.S.M. Sze, *Semiconductor Drvices Physics and Technology*, John Wiley &