

PROSES PELAPISAN LOGAM Al DAN Au DENGAN SEMIKONDUKTOR PADA PEMBUATAN DETEKTOR SAWAR MUKA

Agus Baskoro, Sudjatmoko
Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PROSES PELAPISAN LOGAM Al DAN Au DENGAN SEMIKONDUKTOR PADA PEMBUATAN DETEKTOR SAWAR MUKA. Diambil dua jenis logam Au dan Al sebagai jendela terobosan radiasi dan satu jenis logam Al sebagai kontak belakang pada pembuatan detektor sawar muka dengan cara kontak logam-semikonduktor. Sebagai bahan semikonduktor diambil silikon tipe P yang punya dua lapis atom pengotor (impurity) kaya dan miskin. Dalam makalah ini dijelaskan mekanisme kontak logam dengan semikonduktor yang mungkin terjadi dan disampaikan hasil pengukuran pengaruh tegangan bias balik terhadap nomor kanal puncak dan resolusi detektor yang dibuat. Dari hasil penelitian yang dilakukan, untuk kontak depan semikonduktor diambil dari logam Al ketebalan $(40 \pm 25) \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dan kontak belakang dari logam Al ketebalan $(40 \pm 25) \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dihasilkan karakter V-I kontak bersifat penyearah dengan ketebalan deplesi $35 \mu\text{m}$, sedang untuk kontak depan dari logam Au ketebalan $(40 \pm 25) \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dan kontak belakang dari logam Al ketebalan $(40 \pm 25) \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dihasilkan karakter V-I kontak juga bersifat penyearah dengan ketebalan deplesi $62 \mu\text{m}$.

ABSTRACT

Al AND Au BACKING CONTACT PROCESS USING SEMICONDUCTOR ON SURFACE BARRIER DETECTOR FABRICATION. The Au and Al were used a radiation window and the Al metal was used as backing contact in Surface Barrier fabrication with used metal-semiconductor contacts methode. As semiconductor material was taked P type silicon wafer that have two slice impurity number. This paper discribes mechanism of interface contact between metal and silicon, and measurement result of the influence reverse bias voltage to variety canal number and detector resolution. From the results of measurement can be drawn conclutions that contacts characteristic follows V-I rectifier, and has depletion depth $35 \mu\text{m}$ for Al-Si-Al contact and depletion depth $62 \mu\text{m}$ for Au-Si-Al contact.

PENDAHULUAN

Detektor sawar muka (surface barrier detector) merupakan detektor semikonduktor yang beroperasinya seperti pada pencacah ionisasi. Dalam pencacah ionisasi sebagai daerah aktif yang mengubah gejala radiasi menjadi gejala listrik adalah gas isian, sedang pada semikonduktor detektor adalah lapisan deplesi. Pada sistem pencacah radiasi selanjutnya sinyal listrik yang ditimbulkan oleh detektor radiasi akan ditampilkan oleh sistem penampil elektronik secara analog atau digital.

Pada penelitian ini akan dipelajari mekanisme sambungan logam-semikonduktor dalam pembuatan detektor sawar muka dengan cara kontak logam-semikonduktor, daerah aktif detektor terbentuk karena bagian semi-konduktor yang miskin atom pengotor (impurity) kontak langsung dengan logam sehingga timbul sifat penyearahan (schottky diode). Sedang sebagai kontak belakang (ohmig contact) akan terbentuk bila bagian semikonduktor yang kaya

akan atom pengotor kontak langsung dengan logam [1].

Biasanya pada pembuatan detektor sawar muka diambil logam Al sebagai kontak belakang [2], sehingga pada penelitian ini hanya diambil satu macam jenis logam Al sebagai kontak belakang. Sedang sebagai pembentuk lapisan deplesi sekaligus sebagai jendela terobosan radiasi akan diambil dua jenis logam yang berbeda yaitu Al dan Au, sebagai perbandingan apakah karakteristik detektor yang dihasilkan akan berbeda.

Proses pembuatan detektor sawar muka yang dilakukan melalui tahapan : pemotongan keping silikon (bahan sudah tersedia dibeli dari ESPI part number K4696 dan lot number P872), pencucian keping silikon secara kimiawi, pengetsaan keping silikon dengan larutan CP_4A , pelapisan logam sebagai kontak belakang, penempatan keping silikon pada kapsulnya, pelapisan logam sebagai jendela terobosan radiasi.

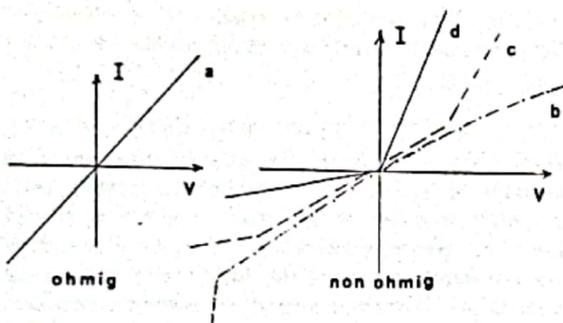
Selanjutnya diuji karakter detektor yang telah terbuat, untuk mendeteksi radiasi α .

MEKANISME KONTAK LOGAM - SEMIKONDUKTOR DAN TATAKERJA:

Mekanisme Pembentukan Depleksi (Daerah Aktif Detektor)

Dapat dibedakan pengertian kontak sambungan (contact and junction). Sambungan adalah perpaduan dua substansi di mana terdapat kontinuitas struktur kisi (lattice structure). Sedangkan kontak terjadi jika dua jenis substansi dipadukan, pada kontak akan terjadi diskontinuitas struktur kisi [3].

Pertanyaan yang mungkin timbul adalah apakah kontak yang terjadi bersifat *ohmig* atau *rectify*? Ada beberapa jenis kontak *ohmig* dan *non ohmig* yang bisa dilihat pada kurva volt-ampere Gambar 1.



Gambar 1. Kurva volt-ampere kontak dua substansi

Kurva d sangat berguna sebagai penyearah (rectify), tetapi mungkin tidak diinginkan dalam sirkuit elektrik. Dalam beberapa hal mungkin kontak *ohmig* lebih diinginkan.

Kontak yang terjadi antara logam dengan semikonduktor akan mengganggu densitas pembawa muatan dalam semikonduktor.

Kesenjangan potensial antar permukaan kontak dua logam juga bisa terjadi. Jika terjadi kontak penyearah antara logam dengan semikonduktor maka akan terbentuk lapisan pengosongan (depletion layer) yang bisa dimanfaatkan sebagai daerah aktif detektor [4].

Mekanisme terjadinya kontak penyearah [5] adalah karena perbedaan tenaga Fermi (dimana tenaga Fermi semikonduktor lebih besar dari tenaga Fermi logam) maka elektron berpindah dari semikonduktor ke logam sampai tingkatan Fermi mereka menjadi nol. Hasilnya jumlah elektron dalam semikonduktor

menurun, sehingga semikonduktornya menjadi bermuatan positif. Muatan-muatan positif mengionisasikan donor yang menempati suatu lebar tertentu dari semikonduktor terhadap bidang pertemuan logam semikonduktor. Elektron lebih memasuki logam tetapi jumlahnya dapat diabaikan dibandingkan dengan elektron-elektron dari logam itu sendiri. Bila tingkatan Ferminya telah rata maka terjadi dua daerah di dalam semikonduktor itu sendiri, yaitu: daerah muatan ruang yang berada dekat permukaan semikonduktor di mana hanya terdapat donor yang diionisasikan dan daerah netral dimana terdapat jumlah muatan positif dan negatif sama. Medan listrik yang terjadi arahnya dari semikonduktor menuju logam dalam daerah muatan ruang yang disebabkan oleh muatan positif, menghalangi arus elektron yang berasal dari daerah netral ke logam. Medan listrik ini menaikkan tegangan daerah muatan ruang. Ini disebut tegangan *barrier* karena ia menghalangi aliran elektron-elektron bebas. Tegangan *barrier* ini memberikan berbagai fungsi seperti sifat rektifikasi. *Barrier* ini disebut *barrier Schottky*, dan dari sifat penyearahannya disebut diode Schottky.

Dari mekanisme tersebut di atas dapat dijabarkan secara matematis didapatkan tebal lapisan depleksi yang terbentuk [6,7].

$$d = \left[\frac{2 k \epsilon_0 V}{\rho_a} \right]^{1/2} \quad (1)$$

d = tebal lapisan depleksi (cm); k = konstanta dielektrik, untuk silikon sebesar 12; V = tegangan sawar, untuk Si sebesar 0,7 volt; ρ_a = rapat muatan akseptor; ϵ_0 = konstanta permisivitas, untuk Si = 0,08854 pF/cm.

Besar kapasitas detektor $C_d = dQ/dV$

$$Q = A (2 \rho_d k \epsilon_0 V)^{1/2} \quad (2)$$

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (2) menghasilkan:

$$d = \frac{k \epsilon_0 A}{C} \text{ cm} = \frac{1,0625}{C} A \text{ cm} \quad (3)$$

A = luas daerah aktif detektor (cm²) dan C = kapasitansi detektor dalam piko farad. Sedang menurut referensi [5,8] arus bocor diode sebagai fungsi tegangan bias adalah: untuk tegangan bias maju:

$$I_f = N_c e^{-\phi_m/kT} (e^{qV/kT} - 1) \quad (4)$$

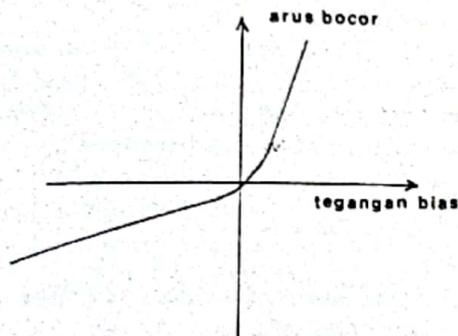
untuk tegangan bias balik :

$$I_f = -N_c e^{-\Phi_m/kT} (e^{-qV/kT} - 1) \quad (5)$$

$$N_c = 2 \left(\frac{2 m_n k T}{h^2} \right)^{3/2}$$

m_n = massa efektif elektron; k = konstanta Boltzman; T = suhu absolut; h = konstanta Planck; Φ_m = fungsi kerja logam.

Persamaan (4 dan 5) digambarkan pada Gambar 2

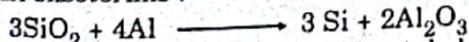


Gambar 2. Karakteristik V-I diode Schottky

Mekanisme Pembentukan Kontak Ohmig

Mekanisme terjadinya kontak ohmig adalah bila semikonduktor yang kaya atom impurity P^+ atau N^+ dilapisi dengan logam sehingga ion-ion dalam semikonduktor di sekitar kontak akan dinetralisir oleh muatan negatif dari logam dengan demikian tidak ada medan listrik yang menghalangi gerakan pembawa muatan atau tidak ada penyearahan [1].

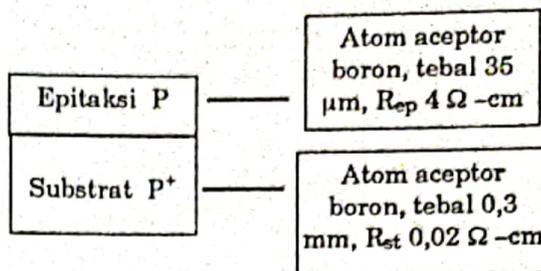
Pemilihan jenis logam Al sebagai kontak belakang didasarkan pada sifat logam Al yang tidak bisa menembus ke dalam semikonduktor (non injecting), sehingga atom-atom Al tidak memberikan kontribusi arus pembawa minoritas [3]. Selain itu karena dalam penyimpanan bahan silikon teroksidasi sehingga terbentuk lapisan SiO_2 , jika dalam proses etsa kurang sempurna sehingga masih tersisa SiO_2 pada permukaan keping Si, maka sifat korosif Al akan menguntungkan, karena akan terjadi reaksi eksotermis :



sehingga akan terjadi bidang kontak logam-semikonduktor dengan lamanya waktu akan menjadi semakin baik [6].

TATA KERJA, HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai bahan dasar pembuatan detektor sawar muka digunakan silikon tipe P dibeli dari ESPI dengan spesifikasi seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Keping silikon berbentuk silindris dengan diameter 1 cm.

Pada proses pembuatan detektor sawar muka, segera setelah proses etsa yang menggunakan larutan CP_4A , bagian substrat keping silikon dilapisi logam Al sebagai kontak belakang (ohmig contact), sedang bagian muka epitaksi dilapisi logam Al atau Au sebagai jendela terobosan radiasi dan sebagai pembentuk lapisan aktif detektor (depletion layer).

Ketebalan logam pelapis

Pelapisan logam dilakukan secara evaporasi dalam ruang vakum 10^{-5} mbar, di mana perangkat sistem pelapis logam ini dikonstruksi sendiri oleh teknisi PPNY-BATAN, sedang besar ketebalan logam pelapis yang menempel pada keping silikon ditentukan secara empiris [7].

Besar ketebalan lapisan Al sebagai kontak belakang adalah $(40 \pm 25) \mu g/cm^2$.

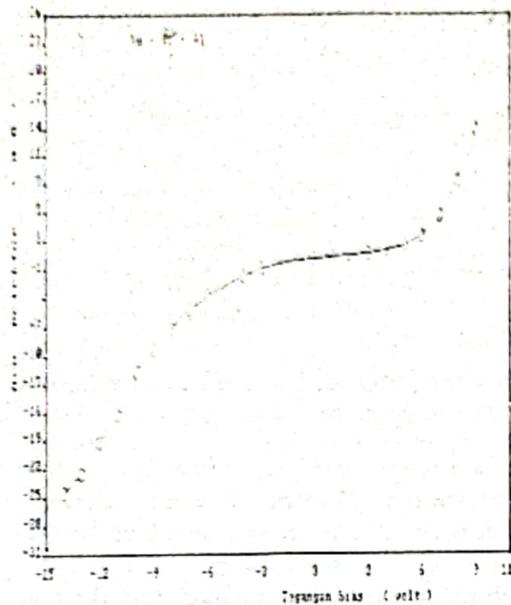
Karakteristik V-I dari detektor yang dibuat

Proses penyearahan meliputi pengertian karakteristik tegangan - arus tidak simetris terhadap tegangan, yaitu $|I(+V)| \gg |I(-V)|$ di mana proses penyearahan ini terjadi di sekitar bidang kontak logam-semikonduktor [8].

Gambar 4 dan 5 menggambarkan kurva tegangan arus dari detektor sawar muka yang dibuat dengan jendela Au dan Al.

Pada gambar-gambar tersebut terlihat bahwa pemasangan tegangan prasikap maju pada detektor dengan jendela Au tidak menimbulkan arus yang besar sampai pada nilai tegangan sebesar 7 volt, peningkatan arus mulai berarti nilai tegangan 9 volt. Hal yang agak berbeda terjadi pada detektor yang dibuat dengan jendela Al. Pemasangan tegangan prasikap maju menimbulkan arus yang relatif besar. Sedangkan pada prasikap balik arus bertahan

sampai pada suatu nilai tegangan tertentu kenaikan arus mulai berarti.



Gambar 4. Kurva V-I dari detektor yang dibuat dengan jendela Au

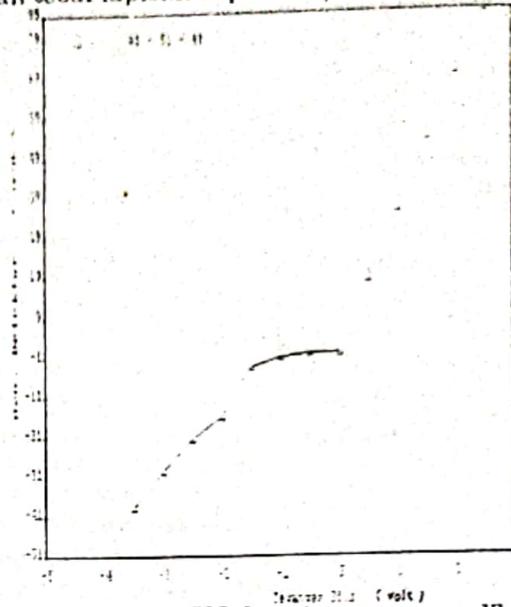
Tebal lapisan deplesi yang terbentuk

Tebal lapisan deplesi dihitung dengan persamaan 3) dengan mengukur langsung kapasitansi detektor.

Untuk detektor sawar muka yang dibuat dengan jendela Al dan kontak belakang dari Al, terukur kapasitansi 0,3 nF sehingga didapatkan tebal lapisan deplesi 36 μ m.

Sedang untuk detektor sawar muka yang dibuat dengan jendela Au dan kontak belakang Al,

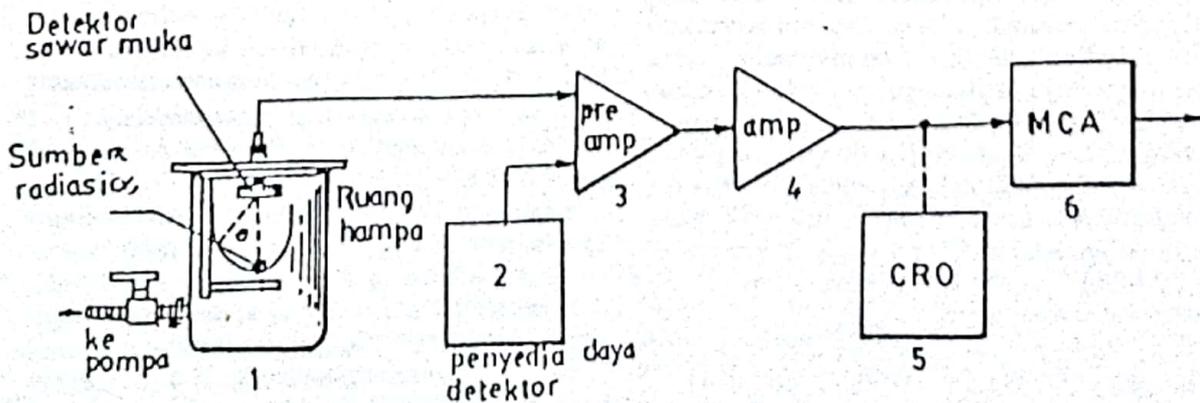
terukur kapasitansi 0,17 nF sehingga didapatkan tebal lapisan deplesi 62 μ m.



Gambar 5. Kurva V-I dari detektor yang dibuat dari jendela Al

Pengaruh Tegangan Bias Detektor Terhadap Perubahan Nomor Kanal dan Resolusi Tenaga Radiasi α

Untuk mendapatkan lebar lapisan aktif detektor yang lebih besar, detektor harus dipasang pada tegangan bias balik, dalam hal ini logam jendela dipasang pada tegangan positif dan logam kontak belakang pada katup negatif. Dengan melebarnya lapisan aktif ini maka fraksi energi partikel yang dipindahkan ke detektor akan semakin besar. Jika lebar lapisan aktif ini lebih besar dari jangkauan partikel, maka semua energi partikel dapat dipindahkan ke detektor. Peningkatan tegangan bias balik detektor akan



Gambar 6. Pencacah radiasi α menggunakan detektor sawar muka

menyebabkan medan listrik yang timbul membesar. Untuk medan listrik yang lebih besar elektron-hole yang ditimbulkan oleh partikel radiasi α akan lebih banyak karena partikel juga dipercepat dalam medan tersebut [9].

Untuk menunjukkan gejala fisika tersebut, detektor yang telah dibuat dengan jendela Au dan jendela Al digunakan untuk mendeteksi radiasi α dari sumber Am^{241} , dengan menggunakan sistem rangkaian pencacah radiasi pada Gambar 6.

Dapat dimengerti jika pertambahan tegangan bias balik detektor akan menyebabkan kenaikan nomor kanal MCA. Tabel 1 dan 2 adalah hasil pengukuran yang memperlihatkan perubahan nomor kanal terhadap tegangan untuk detektor dengan jendela Au dan jendela Al.

Tabel 1 menunjukkan harga yang berfluktuasi, sedangkan Tabel 2 memperlihatkan kecenderungan naik lalu turun lagi.

Tabel 2. Pengaruh tegangan bias balik terhadap perubahan nomor kanal puncak dan resolusi detektor dengan

Volt	Nomor kanal	Resolusi (%)
2	168	26,01
0	168	31,12
-1	171	27,35
-2	173	25,09
-3	173	25,09
-4	172	26,59
-5	166	37,50

Pada kedua detektor tersebut, perubahan nomor kanal puncak selain disebabkan oleh melebarnya lapisan aktif juga banyak dipengaruhi oleh derau dalam sistem deteksi. Karena suatu pulsa yang ditimbulkan oleh partikel radiasi jika dibentuk di atas basis yang bukan nol maka tinggi pulsa tidak proporsional lagi dengan energi partikel radiasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Millman Jacob, Ph.D and Christos C. H., Elektronika terpadu jilid 1, Erlangga, Jakarta (1986).
2. Anderson, L.P. and Berg. S., Mechanism of Al contacts in surface barrier detector, Nuclear Instruments and Methods (1973) 108.
3. Andersson, L.P., Hyder, A. and Missa M., Semiconductor contacts to silicon surface barrier detector, Nuclear Instruments and Methods (1974) 118.

Tabel 1. Data pengaruh tegangan bias balik terhadap nomor kanal puncak dan resolusi detektor sawar muka dengan

Volt	Nomor Kanal	Resolusi (%)
8	956	29,80
6	956	29,50
4	970	29,79
2	952	29,58
0	223	30,56
-1	222	30,68
-2	220	29,48
-3	222	29,11
-4	219	30,65
-5	225	29,60
-6	220	30,44
-7	218	30,60
-8	219	31,19
-9	219	31,43
-10	218	30,94
-11	224	30,86
-12	221	31,84
-13	224	32,62
-14	222	32,76
-15	220	34,24
-16	219	34,91

KESIMPULAN

Dari studi literatur dan dari pengalaman pembuatan detektor sawar muka dengan cara kontak logam-semikonduktor dapat disimpulkan bahwa logam Al cocok sebagai kontak belakang (ohmic contact) sedang untuk kontak depan sebagai pembentuk daerah aktif detektor (depletion layer) logam Au dan Al bisa digunakan. Hanya karena kontak depan juga berfungsi sebagai jendela terobosan radiasi yang kontak langsung dengan udara, karena logam Al juga bersifat korosif maka Au lebih cocok sebagai kontak depan.

4. Andersson, L.P., Hyder, A. and Berg, S., Minority carrier injection and resistance modulation in silicon surface barrier diodes, Nuclear Instruments and Methods (1974) 114.
5. Ir. Reka Rio S. dan Dr Masamori Iida, Fisika dan teknologi semikonduktor, Assosiation for International Technical Promotion, Tokyo, Japan (1980).
6. Niels J. H., Encapsulated surface barrier particle detectors, Argone National Laboratory, March (1962).
7. Agus Baskoro, Sudjatmoko, Pembuatan detektor sawar muka dengan cara sambungan logam-semikonduktor, Proceeding KIM-LIPI, Jakarta (1992).
8. Berg, S. and Anderson, L.P., Voltage dependent reverse current in high resistivity silicon surface barrier diodes, Nuclear Instruments and Methods (1974) 114.
9. Nicholas Tsoufalnidis, Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere Publisher Corporation, New York (1983).

DISKUSI

Guntur D S:

Saya tadi melihat pada gambar hubungan energi dengan jumlah cacah, adanya pergeseran energi

- a. Bisakah diterangkan apa sebenarnya penyebab pergeseran energi tadi?
- b. Bisakah besarnya pergeseran energi tadi dihitung atau diduga?

Agus Baskoro:

- a. Pergeseran energi yang ditunjukkan oleh perubahan nomor kanal pada layar MCA, disebabkan karena tenaga partikel radiasi tidak tunggal dan dari letak sumber radiasi digeser sehingga sudut datang radiasi berbeda.

- b. pergeseran energi bisa dihitung dari hubungan: $\Delta E = t \cdot \frac{dE}{dx} \left(\frac{1}{\cos \delta} - 1 \right)$

ΔE = pergeseran energi; t = tebal lapisan mati; $\frac{dE}{dx}$ = *stopping power* lapisan mati; δ = sudut datang radiasi.

Iyos Subki:

Bagaimana respons energi dari detektor sawar muka yang saudara kembangkan?

Agus Baskoro:

Karena lapisan deplesi yang terbentuk dari pembuatan ketebalannya cukup tipis untuk dapat menghentikan partikel α , maka hanya partikel α yang berenergi rendah saja yang dicacah secara sempurna oleh detektor.

Gunandjar:

1. Mengapa dipilih logam Au dan Al, apa bedanya mohon dijelaskan.
2. Apakah ada logam lain yang dapat digunakan?

Agus Baskoro:

1. Logam Au tidak korosif dan *stopping power*nya kecil cocok untuk membuat jendela detektor. Logam Al cocok untuk kontak belakang karena mengikat oksida yang terikat pada Si, $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} \longrightarrow 3\text{Si} + 2\text{Al}_2\text{O}_3$ sehingga dengan lamanya waktu kontakannya akan semakin baik.
2. Masih ada logam lain untuk jendela yaitu In, Sn. Sedang untuk latar belakang Ba dan Sb.