

PREPARASI *MULTILAYER P-N-JUNCTION* DI ATAS SUBSTRAT Si(111) UNTUK APLIKASI DETEKTOR *SURFACE BARRIER*

Trimardji Atmono

Pusat Teknologi Akselerator Proses Bahan (PTAPB)-BATAN
Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 YKBB, Yogyakarta 55281

Diterima: 27 Maret 2013

Diperbaiki: 21 Agustus 2013

Disetujui: 18 September 2013

ABSTRAK

PREPARASI *MULTILAYER P-N-JUNCTION* DI ATAS SUBSTRAT Si(111) UNTUK APLIKASI DETEKTOR *SURFACE BARRIER*. Telah dilakukan preparasi *multilayer* Au/SiP/SiB/Si(111)/Au, diikuti dengan pengamatan sifat statis dan sifat dinamis. Deposisi dikerjakan dengan menggunakan teknik *RF Sputtering* dan *DC Magnetron Sputtering*. Sifat statis yang diamati meliputi parameter penting pada aplikasi *multilayer* sebagai detektor partikel alfa, yaitu tahanan maju dan mundur, pengamatan kapasitansi sebagai fungsi dari tegangan terpasang (*reverse bias*), serta perhitungan lebar *depletion layer*. Pengamatan sifat dinamis dilakukan dengan menggunakan rangkaian spektroskopi, yaitu untuk mendeteksi pulsa keluaran yang merupakan karakter spesifik dari detektor *surface barrier*. Telah dipilih *multilayer* yang terbaik Au/SiP/SiB/Si(111)/Au, yang menunjukkan sifat proporsional dengan detektor komersial ORTEC. Parameter *sputtering* yang optimal adalah tegangan 4kV/0.6 A (DC) dan 200W-RF serta tekanan gas argon yang sama, dalam orde 7×10^{-2} mbar, dengan waktu deposisi 30 menit pada proses *RF-sputtering* untuk *multilayer* SiP/SiB serta masing-masing 2 menit dan 5 menit *DC-sputtering* untuk lapisan emas yang berfungsi sebagai jendela terobosan partikel alfa, dan sebagai elektroda. Nilai tahanan maju dan tahanan mundur terukur sebesar masing-masing 1,1 M Ω dan 4,1 M Ω . Diperoleh lebar *depletion layer* sekitar 410 nm pada tegangan *reverse bias* 22 V. Hasil pembuatan prototip detektor *surface barrier* menggunakan *multilayer* Au/SiP/SiB/Si(111)/Au tersebut dapat merespon partikel alfa, memberikan *Full Width Half Maximum (FWHM)* sekitar 42 keV, sehingga mampu membedakan 2 puncak energi pada umumnya dari suatu sumber radioaktif pemancar alfa.

Kata kunci : Lapisan tipis, *pn-junction*, Detektor *Surface barrier*

ABSTRACT

PREPARATION OF PN-JUNCTION MULTILAYER ONTO SUBSTRAT Si(111) FOR THE APPLICATION AS SURFACE BARRIER DETECTOR. Preparation of multilayer Au/SiP/SiB/Si(111)/Au followed by the measurement of static- and dynamic character has been done. The depositions are carried out by using RF- and DC-Sputtering technique. Static character observed were the important parameter for the application as detector for alpha particle, i.e forward- and backward resistance, capacitance (as the function of applying reverse bias voltage), as well as computing the depletion layer. Dynamic character include the detection of output signal by using the spectroscopy, that belongs to the specific character of the detector surface barrier. The best multilayer Au/SiP/SiB/Si(111)/Au has been selected which has shown similar characteristic compared to commercial detector ORTEC. The optimal sputtering parameter, which gave the best multilayer, were the electrode-voltage of 4 kV, current 0.6 A and RF power 200W, as well as argon pressure of 7×10^{-2} mbar for the time deposition of 30 minutes (RF for multilayer SiP/SiB). For the gold deposition (as window and electrode) it was used the DC-sputtering by 2 minutes and 5 minutes for top layer and bottom layer, respectively. It was found that the forward and backward resistance were 1.1 M Ω and 4.1 M Ω respectively. The depletion layer was 410 nm at the reverse bias voltage of 22 V. Prototype surface barrier detector, built using the main component of this Au/SiP/SiB/Si(111)/Au multilayer, has a good response against the α -particle and has a FWHM of 42 keV, which can separate 2 peaks of α -particle radioactive source.

Keywords : Thin film, *pn-junction*, Surface Barrier Detector

PENDAHULUAN

Bahan unggul lapisan tipis telah banyak diaplikasikan pada berbagai bidang, salah satu diantaranya adalah kemampuannya untuk merespon partikel nuklir dan memberikan keluaran berupa sinyal listrik yang terdeteksi dengan menggunakan untai sistem spektroskopi.

Pembuatan komponen utama dari detektor *surface barrier* (sawar muka) sampai saat ini masih konvensional menggunakan bahan silikon masif, dengan harga yang mahal dan memiliki resolusi (FWHM) yang relatif besar sekitar 60 keV. Seiring dengan kenaikan harga material silikon, sehingga tidak mudah untuk memperoleh di pasaran bebas, maka tentu sangat diperlukan penggunaan bahan yang efisien dengan biaya yang murah, serta menghasilkan *performance* yang lebih baik. Diperlukan detektor yang memiliki resolusi yang lebih kecil untuk bisa menampilkan spektrum alfa dengan dua atau lebih puncak energi yang berdekatan.

Penggunaan bahan unggul lapisan tipis (*thin film*) dari bahan dasar silikon untuk pembuatan detektor *surface barrier* tersebut menurut kajian teori [1,2] dapat menghasilkan resolusi yang sama atau bahkan bisa lebih baik. Resolusi 30 keV hingga 40 keV dapat tercapai apabila dikerjakan suatu preparasi yang sesuai, pada kondisi yang spesifik dan ketebalan tertentu yang optimum dari masing-masing lapisan tipis. Sinyal kecil *output* detektor, seperti disebutkan di atas, yang diiringi timbulnya derau akan bisa diperkuat (mereduksi derau) dengan penggunaan *multilayer* Au/SiB/SiP/Si(111)/Au sebagai komponen utamanya. Keuntungan secara komersial adalah penggunaan bahan yang relatif sedikit, dengan material masif (*bulk*) ketebalan 2 mm hingga 3 mm dan diameter 75 mm bisa menghasilkan ratusan lapisan tipis semikonduktor tipe-p dan tipe-n untuk membentuk *p-n junction*. Metoda preparasi yang digunakan adalah teknik *Sputtering* (DC, RF dan *Magnetron*), dengan tingkat kevakuman yang tinggi untuk menghasilkan *multilayer* kemurnian tinggi.

Dengan memanfaatkan teknologi lapisan tipis, serta dipilihnya teknik *sputtering* sebagai metoda preparasi maka biaya pembuatan detektor *surface barrier* tersebut bisa ditekan, jauh dibawah harga pasaran [3].

Bahan utama detektor *surface barrier* dalam penelitian ini adalah *multilayer*-lapisan tipis, dibuat dari sambungan p-n (*p-n junction*) yang terbentuk dengan menghubungkan semikonduktor tipe-p (SiB) dan tipe-n (SiP) yang diharapkan memiliki struktur kristal yang kontinu di atas substrat Si(111).

Secara ringkas terjadi proses yang umum sebagai berikut [2,4] : konsentrasi *hole* dalam tipe-p lebih tinggi dari pada *hole* dalam tipe-n, sehingga terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n. Hal yang sama terjadi

pada elektron yang berdifusi dari tipe n menuju tipe p. Elektron yang meninggalkan muatan ruang positif pada daerah tipe-n akan membangkitkan medan listrik yang berawal dari ruang bermuatan positif dan berakhir pada ruang bermuatan negatif. Medan listrik ini menghambat *hole* untuk berdifusi dari tipe-p menuju tipe-n dan elektron juga terhambat berdifusi dari tipe-n menuju tipe-p. Medan listrik akan semakin kuat apabila semakin banyak pembawa muatan yang berdifusi dan berekombinasi.

Setelah terjadi keseimbangan antara arus difusi dan arus hanyut (*drift*) dari pembawa - pembawa yang disebabkan oleh medan listrik yang berlawanan arahnya maka aliran pembawa muatan tersebut berhenti. Dalam keadaan seimbang pada sambungan p-n terbentuk daerah pengosongan (depleksi). *Depletion layer* ini merupakan daerah aktif detektor. Bila partikel radiasi "masuk" ke dalam "area" ini maka akan terjadi interaksi dengan daerah aktif sehingga menimbulkan pasangan *electron-hole*. Agar semua energi alfa dapat di serap, maka daerah peralihan ini harus lebih besar/lebih panjang dari jangkauan partikel alfa [4,5].

Jumlah pasangan elektron-ion yang terjadi tergantung pada energi partikel yang datang. Medan listrik yang terjadi karena adanya tegangan balik menyebabkan pergerakan elektron ke salah satu terminal dan ion ke terminal yang lain, sehingga menimbulkan penumpukan muatan yang berakibat terjadinya pulsa tegangan yang merupakan pulsa keluaran detektor.

Dengan pemasangan tegangan *reverse bias* akan mengakibatkan melebarnya daerah aktif detektor tersebut dan akan terjadi lebih banyak rekombinasi, sehingga akan memberikan sinyal terdeteksi yang lebih besar. Untuk memperkuat pulsa keluaran digunakan penguat awal (*pre amplifier*) yang berfungsi menyamakan impedansi antara penguat utama (*amplifier*) dengan detektor. Penggunaan *Multichannel Analyzer* (MCA) diperlukan untuk memperoleh spektrum energi alfa. Oleh karena sinyal terdeteksi sangat kecil dalam orde mikro ampere, maka diperlukan ketelitian tinggi dalam pengukuran, untuk menghilangkan derau/*noise* yang timbul. Radiasi berupa partikel alfa yang datang ke detektor diharapkan seluruhnya bisa diserap oleh bahan sistem lapisan tipis untuk diubah menjadi sinyal (pulsa) listrik yang dapat dicacah. Efisiensi sistem deteksi secara keseluruhan dipengaruhi oleh dimensi, efek serapan diri pada sumber, dan sudut ruang, yaitu posisi detektor dan sumber (cuplikan) [5,6].

Pada makalah ini dilaporkan hasil pembuatan *multilayer*-lapisan tipis Au/SiP/SiB/Si(111)/Au dengan optimasi parameter deposisi untuk menghasilkan besaran-besaran penting guna tujuan aplikasi sebagai detektor *surface barrier*, meliputi tahanan maju, tahanan mundur, kapasitansi lebar *depletion layer*. Kemudian dilanjutkan dengan mengintegrasikan lapisan tipis terbaik dengan *housing*, dirangkaikan dengan untai

sistem spektroskopi, guna mendeteksi partikel alfa. Dilakukan optimasi pembuatan *multilayer* dan pembuatan *housing* yang sesuai untuk membentuk suatu prototip detektor *surface barrier*.

METODA PERCOBAAN

Bahan dan perangkat alat penting yang digunakan dalam proses deposisi lapisan tipis antara lain adalah substrat berupa keping silikon, *Si-single crystal (111)* tipe-p, berbentuk lingkaran yang telah dipotong dengan diameter 25 mm, kemudian dietsa dengan larutan CP-4A untuk membersihkan permukaan dari pengotor (*impurity*) dan lemak. Disiapkan bahan target fosfor (P) dan Boron (B) berbentuk lingkaran dengan diameter 1 cm, sebanyak 5 buah, guna membuat semikonduktor tipe-n dan tipe-p dengan metode *DC-sputtering*. Emas (Au) berbentuk keping *wafer* berdiameter 75 mm digunakan sebagai material target pada sistem *sputtering*, untuk melapisi sistem *multilayer* Si/SiP/SiB, berfungsi sebagai jendela, sekaligus jalan masuknya/terobosan partikel alfa. Sebagai *sputter-gas* digunakan gas mulia argon dengan kemurnian 99,999%. *Ultrasonic cleaner* berfungsi untuk membersihkan substrat dari lemak dan debu agar diperoleh *high purity multilayer*.

Instrumentasi

Preparasi lapisan tipis dikerjakan dengan menggunakan metode DC-, RF- dan *Magnetron sputtering*, dengan komponen penting antara lain meliputi pompa vakum *rotary* dan turbo, buatan PFEIFFER-Balzars Instruments, Jerman. Generator RF (pembangkit frekuensi radio), buatan HUTTHINGER Jerman. Tabung *sputtering* berbentuk silinder yang terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 285 mm dan tinggi 200 mm, buatan Pfeiffer-Jerman. Sebagai penyelaras impedansi antara *chamber* plasma dengan sumber RF tegangan tinggi digunakan *match box*, yang pada dasarnya terdiri dari resistor, kapasitor dan induktor, bekerja secara otomatis dengan perantara motor-DC. Dua buah elektroda dipasang di dalam tabung plasma yaitu katoda sebagai *target holder* dan anoda sebagai tempat substrat dengan dialiri air sebagai pendingin. Alat pengukur tekanan, *gauge (pirani dan pening)* buatan Edward High Vacuum UK, digunakan sebagai *vacuum detector*.

Bahan Pembuatan Wadah (*Housing*)

Pembuatan wadah (*housing*) dalam bentuk kapsul dilakukan sendiri dan di Balai Elektro Mekanik dengan bahan yang digunakan dalam pembuatan wadah detektor adalah logam/alumunium dan *teflon, plexyglass*. Komponen utama berupa konektor *microdot* buatan ORTEC dan kabel penghubung dengan nilai impedansi

tertentu. Pembuatan *housing* ini telah mengalami beberapa kali perbaikan dan penyempurnaan untuk memperoleh sinyal terbaik/*low noise*.

Karakterisasi Tipe Konduksi

Karakterisasi tipe konduksi pada semikonduktor tipe-p dan tipe-n dikerjakan dengan menggunakan instrumentasi Probe Empat Titik *Four Point Probe (FPP)* 5000 buatan VECCO.

Pengukuran Tahanan Listrik Sistem Lapisan Au/SiP/SiB/Si(111)Au

Pengukuran tahanan lapisan tipis dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter digital pada *range* Mega Ohm (M Ω). Pada penelitian tersebut diharapkan nilai tahanan mundur dan tahanan maju detektor mempunyai selisih proporsional, mengacu pada detektor alfa komersial buatan ORTEC.

Pengukuran Kapasitansi

Pengamatan karakteristik pengaruh tegangan bias mundur terhadap nilai kapasitansi detektor dikerjakan dengan menggunakan alat ukur *Digital LCR Meter* (model : 4271 B) buatan *Hewlett Packard*, yang beroperasi pada tegangan 220 V AC \pm 10%, fasa tunggal. Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan cara memvariasi tegangan prasikap balik (tegangan bias mundur) yang terpasang pada detektor. LCR Meter tersebut dapat dioperasikan pada tegangan $V_b = 0$ sampai dengan 39,9 V, dengan skala kenaikan tegangan 0,1 volt.

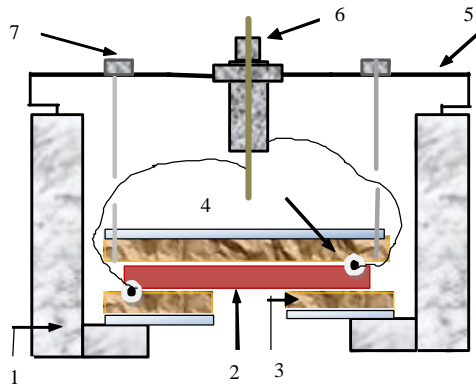
Pengujian

Pengujian respon detektor terhadap radiasi partikel alfa dilakukan dengan menggunakan set alat uji spektroskopi nuklir (Sistem Pencacah Latar Rendah). Untuk memperoleh nilai dari ketebalan lapisan aktif detektor, sebelumnya dilakukan pengukuran nilai kapasitansi C detektor pada berbagai tegangan prasikap balik V_b yang diberikan. Dari hasil pengukuran dapat dihitung lebar lapisan deplesi d (*depletion layer*). Untuk memperoleh grafik $C = C(V_b)$ dan $1/C^2 = f(V_b)$, serta $d = d(V_b)$, dilakukan dengan analisis data menggunakan program komputer (*software*) *Origin 6.1*. Sedangkan pada pengujian instrumentasi spektroskopi alfa digunakan program *Alpha Acquisition and Analysis*, produksi dari ORTEC.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Prototip Detektor *Surface Barrier*

Desain dan konstruksi prototip detektor *surface barrier* terdiri dari beberapa bagian, seperti diperlihatkan



No.	Keterangan
1	Housing (wadah)
2	Lapisan tipis
3	Elektroda Depan
4	Elektroda Belakang
5	Penutup housing
6	Microdot connector
7	Baut

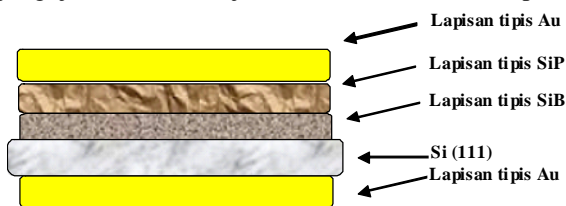
Gambar 1. Tampang lintang detektor surface barrier.

pada Gambar 1, yaitu *Housing* (1) digunakan sebagai wadah detektor dan pada geometri permukaannya dibuat lubang dengan diameter 18 mm, berfungsi sebagai *window* untuk *path/* lintasan partikel alfa. Wadah/*housing* tersebut dibuat dari aluminium dengan penutup (5) dari bahan *plexiglass* dengan bentuk silinder diameter 35 mm, tinggi 13 mm yang dihubungkan dengan *microdot connector* (6). Elektroda terbuat dari bahan *copper plate* (plat tembaga) yang berfungsi sebagai kutub positif ((3) pada lapisan sisi atas serta negatif (4) yang bersifat sebagai konduktor pada lapisan sisi bawah.

Microdot connector (6) berfungsi untuk meneruskan sinyal listrik dari detektor menuju sistem instrumentasi. Baut (7) dari bahan aluminium untuk fungsi mekanik, mengikat elektroda dengan detektor. Sedangkan komponen utama detektor (2) terdiri dari *multilayer* dengan susunan lapisan tipis Au/SiP/SiB/Si(111)/Au, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Pengujian Detektor Secara Statis

Pengukuran secara statis diawali dengan pengamatan tahanan maju dan tahanan mundur detektor. Tahanan maju harus lebih kecil daripada tahanan mundur, karena sambungan p-n hanya akan berfungsi sebagai detektor alfa jika R_{mundur} lebih besar dari R_{maju} . Hasil pengujian tahanan maju dan mundur detektor dapat di



Gambar 2. Susunan multilayer untuk aplikasi detektor surface barrier.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tahanan Maju dan Tahanan Mundur

Bahan	R_{Maju}	R_{Mundur}
Multilayer terbaik: Au/SiP/SiB/(Si111)/Au	1,1 M Ω	4,1 M Ω
Detektor CANBERRA	3,6 M Ω	9,7 M Ω
Detektor ORTEC	1,69 M Ω	2,9 M Ω

lihat dalam Tabel 1, dibandingkan dengan produk komersial dari Ortec dan Canberra. Hasil yang ditampilkan disini merupakan perolehan terbaik dari keseluruhan *multilayer* yang dibuat dalam penelitian ini.

Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil pengukuran tahanan lapisan tipis terbaik Au/SiP/SiB/Si(111)/Au buatan sendiri yang mempunyai tahanan mundur yang lebih besar dari tahanan majunya. Hasil ini sudah mirip/proporsional dengan produk detektor komersial Ortec/Canberra [7,8].

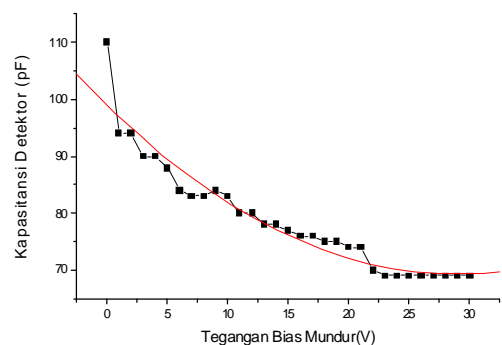
Pengukuran kapasitansi bertujuan untuk menentukan besarnya/ketebalan lapisan deplesi yang terbentuk pada sambungan p-n. Panjang lapisan deplesi dihitung dengan menggunakan Persamaan (1):

$$d = \frac{k\epsilon_0 A}{C} \dots\dots\dots (1)$$

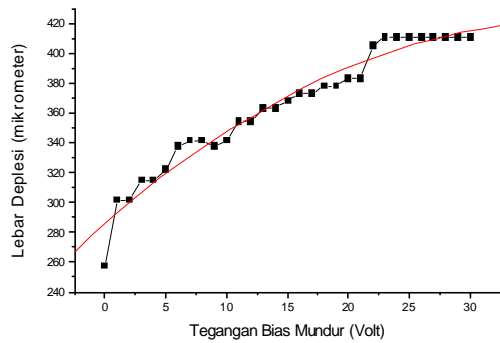
Dimana :

- k = Konstanta dielektrik Silikon (Si) = 12
- ϵ_0 = Konstanta permitivitas Silikon (Si)=8,854 pF/m
- C = Kapasitansi detektor (pF)
- d = Lebar/tebal lapisan deplesi (cm)
- A = Luas daerah aktif detektor

Pada Gambar 3 ditunjukkan besarnya kapasitansi terukur sebagai fungsi dari tegangan bias terpasang, diambil *multilayer* terbaik. Tampak adanya kecenderungan penurunan nilai kapasitansi dengan naiknya tegangan. Hasil perhitungan lebar lapisan deplesi diperlihatkan pada Gambar 4. Lapisan deplesi mencapai harga paling tinggi sekitar 410 μm pada tegangan bias 22V, dapat diambil sebagai daerah operasi detektor.



Gambar 3. Kapasitansi multilayer Au/SiP/SiB/Si(111)/Au sebagai fungsi dari tegangan bias.

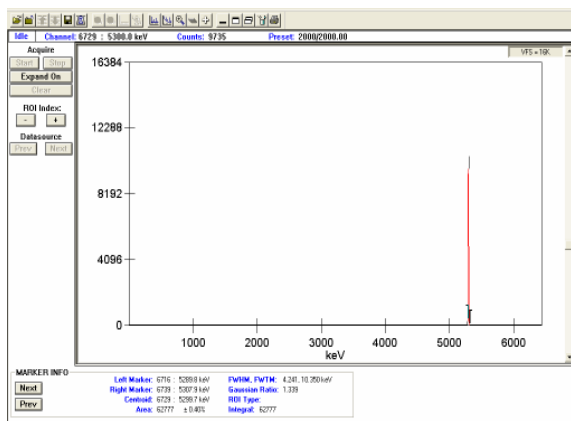


Gambar 4. Lebar lapisan deplesi sebagai fungsi dari tegangan bias.

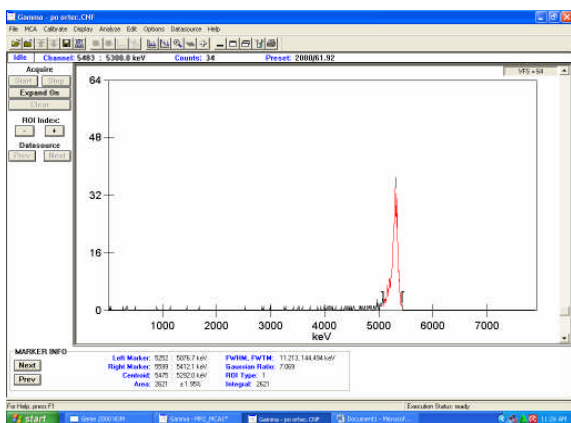
Dari perhitungan *depletion layer* diperoleh nilai rata-rata 241 μm untuk Canberra dan 98 μm untuk ORTEC [8-9].

Pengujian Prototip Detektor Secara Dinamis dengan Sistem Spektroskopi Alpha

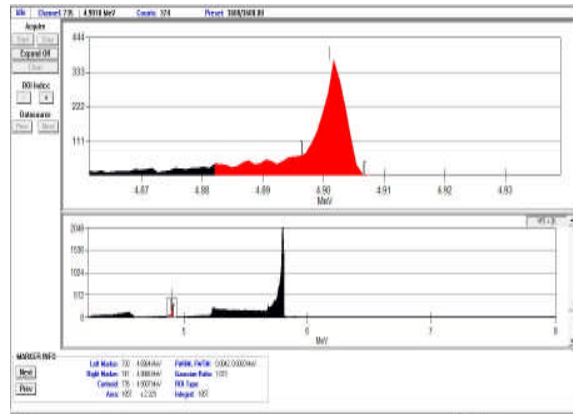
Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem spektroskopi *alfa*, yang mencakup tabung vakum (*vacuum chamber*), *pre-amplifier*, *amplifier*, dan sumber tegangan DC, MCA, serta perlengkapan standar lainnya (*pulser* dan sistem elektronik).



Gambar 5. Hasil pengujian prototip detektor susunan lapisan Au/SiP/SiB/Si(111)/Au dengan menggunakan sumber Po-210 (5,3 MeV).



Gambar 6. Pengamatan tenaga dengan Po-210 dengan menggunakan detektor komersial ORTEC.



Gambar 7. Sinyal keluaran dari Pu-242 (4,901 MeV) dan Cm-244(5,805 MeV).

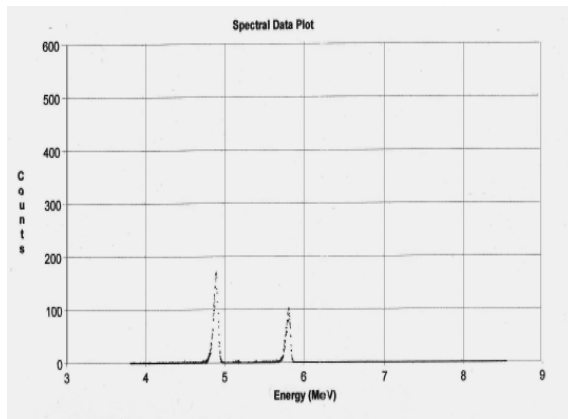
Radiasi alfa yang dipakai pada pengujian ini berasal dari sumber Polonium 210 (Po-210) yang memiliki energi radiasi Alfa sebesar 5,3 MeV. Dari hasil pengamatan pulsa dapat dilihat bahwa nilai FWHM lebih baik dari pada detektor ORTEC, yaitu sebesar 4,241 keV (Gambar 5). Detektor ORTEC mempunyai FWHM sebesar 11,213 keV (Gambar 6).

Untuk pengujian kedua digunakan radiasi alfa yang berasal dari sumber unsur Pu-242 dan Cm-244, masing-masing memiliki tenaga 4,901 MeV dan 5,805 MeV. Hasil yang didapat dari pengujian detektor lapisan tipis tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian tenaga partikel alfa dengan menggunakan detektor ORTEC. Gambar 7 menampilkan hasil pengamatan dengan menggunakan sumber radioaktif Pu-242 dan Cm-244.

Dari Gambar 7 di atas terdapat dua puncak partikel alfa yang terdeteksi (gambar bawah). Puncak pertama merupakan tenaga dari Pu dan puncak kedua merupakan tenaga dari Cm-244. Pada sinyal pertama tenaga partikel alfa yang terbaca sebesar 4,90 MeV dan pada puncak kedua sebesar 5,80 MeV, sama dengan tenaga dari sumber Pu-242 (4,901 MeV) dan Cm-244 (5,805 MeV), seperti diperjelas oleh Gambar 7 bagian atas yang merupakan puncak tenaga dari Pu-242 yang telah bisa terpisahkan.

Noise yang muncul kemungkinan disebabkan karena adanya arus bocor, baik arus bocor permukaan detektor ataupun arus bocor dari *housing* detektor [2,10]. Arus bocor ini bisa terjadi karena adanya kotoran pada permukaan lapisan tipis, kurang rata saat proses pemotongan silikon, serta konstruksi *housing* yang masih harus disempurnakan.

Bentuk pulsa yang belum simetris bisa disebabkan oleh lapisan emas yang kemungkinan belum optimal pada fungsinya sebagai pengumpul muatan. Dari hasil yang telah diperoleh, uji statis dan uji dinamis, dan kemudian dibandingkan dengan detektor komersial dari ORTEC, maka penelitian ini telah menghasilkan prototip detektor *surface barrier*



Gambar 8. Sinyal keluaran dari tenaga partikel alfa dengan menggunakan detektor ORTEC.

yang mampu untuk mendeteksi partikel alfa secara kuantitatif.

Sebagai perbandingan maka dilakukan pula pengujian spektroskopi alfa dengan menggunakan detektor ORTEC, hasil dari pengujian tersebut ditampilkan pada Gambar 8.

KESIMPULAN

Dalam pengujian tenaga partikel alfa, prototip detektor dengan komponen utama *multilayer* susunan lapisan tipis Au/SiP/SiB/Si(111)/Au, telah berhasil mendeteksi adanya partikel alfa yang berasal dari sumber Po-210 dengan energi 5,33 MeV secara tepat. Optimasi parameter *RF sputtering* pada preparasi lapisan tipis telah menghasilkan nilai-nilai besaran yang sesuai untuk aplikasi detektor *surface barrier*. Selisih nilai tahanan maju dan tahanan mundur Au/SiP/SiB/Si(111)/Au cukup

baik secara kuantitatif, proporsional dengan hasil yang diperoleh dari ORTEC. Nilai kapasitansi dan hasil perhitungan lebar *depletion layer* menunjukkan bahwa *multilayer* tersebut sudah mampu mendeteksi partikel alfa yang berasal dari sumber Pu-242 (4,901 MeV) dan Cm-244 (5,805 MeV), walaupun masih disertai *noise* dan bentuk pulsa yang belum simetris, sensitif untuk tenaga rendah. Meskipun mungkin masih belum sempurna misalnya persoalan *performance* dan *reproducible*, tetapi keberhasilan penelitian ini telah ditunjukkan dengan suatu prototip detektor *surface barrier* yang memiliki resolusi yang sebanding dengan detektor buatan pabrik komersial.

DAFTAR ACUAN

- [1]. M. DARAEE, M. HAIJAN, M. RASTGOO and L. LAVANSAPOUR, *Journal Adv. Studies Theory Physics*, **2** (20) (2008) 957-964
- [2]. H. S. KIM, S. H. PARK and J. H. HA, *Journal of the Korean Physical Society*, **52** (6) (2008) 1754-1758
- [3]. T. ATMONO, *Proposal Insentif Raih HKI*, (2011)
- [4]. Patent 2,842,466, *Method of Making P-N Junction Semiconductor Unit*
- [5]. Patent 5,006,483, *Fabrication of P-N Junction Semiconductor Device*
- [6]. Patent US 7,052,927, *PIN Detector Apparatus And Method of Fabrication*
- [7]. Patent 3,163,915, *Method of Fabricating Surface Barrier Detectors*
- [8]. www.ortec-online.com
- [9]. www.canberra-online.com
- [10]. S. N. AHMED, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, Elsevier: Oxford, (2007)