

PERHITUNGAN HARGA KONSTANTA FASILITAS SILIKON DOPING DI REAKTOR SERBA GUNA G.A SIWABESSY

Sutrisno, Sunarko, Asnul Sufmawan dan Kawkab Mustofa
Staf Bidang Operasi Reaktor, PRSG-BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN HARGA KONSTANTA FASILITAS SILIKON DOPING DI REAKTOR SERBA GUNA G.A SIWABESSY. Fasilitas Silikon Doping atau fasilitas *neutron transmutation doping* (NTD) adalah salah satu fasilitas yang terdapat di RSG-GA Siwabessy. Fasilitas ini dilengkapi dengan kapsul, panjang 400 mm dan diameter 178 mm yang diputar bebas di dalam tabung penyangga kapsul dengan kecepatan 15 rpm diputar oleh motor penggerak. Pada saat ini fasilitas silikon doping telah dimodifikasi, dan akan digunakan untuk produksi bahan semikonduktor tipe-n. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan harga konstanta (k) fasilitas NTD. Perhitungan harga konstanta (k) telah dilakukan pada daya 15 MW. Hasil perhitungan diperoleh harga $k = 4,68532 \cdot 10^{17} \text{ n}\cdot\Omega/\text{cm} \pm 10,298 \cdot 10^{15} \text{ n}\cdot\Omega/\text{cm}$. Hasil ini dapat digunakan untuk referensi penentuan waktu iradiasi silikon ingot di RSG GA Siwabessy.

Kata kunci: silikon doping, silikon ingot

ABSTRACT

CALCULATION OF SILICON DOPING FACILITY CONSTANT AT THE MULTIPURPOSE REACTOR GA SIWABESSY. Silicon Doping facility or facility of neutron transmutation doping (NTD) is one of the facilities available at the RSG-GA Siwabessy. The facility is equipped with a capsule, length 400 mm and 178 mm in diameter that rotated freely in the tube supporting capsule with 15 rpm speed by motor. By now the silicon doping facility has been modified, and will be utilized to the production of n-type semiconductor. Therefore the constants (k) of NTD facilities of should be determined. The calculation of constant (k) has been conducted at the power of 15 MW, and the result is $k = 4,68532 \cdot 10^{17} \text{ n}\cdot\Omega/\text{cm} \pm 10,298 \cdot 10^{15} \text{ n}\cdot\Omega/\text{cm}$. This results can be used as reference for irradiation time of silicon ingots in the RSG GASiwabessy.

Keywords: doped silicon, silicon ingots

PENDAHULUAN

Fasilitas silikon doping atau fasilitas *neutron transmutation doping* adalah salah satu fasilitas yang terdapat di RSG GA Siwabessy Serpong. Fasilitas ini dipergunakan untuk mengiradiasi kristal silikon agar terbentuk bahan dopant sehingga kristal tersebut menjadi bahan semi konduktor tipe-n. Fasilitas silikon doping terpasang di luar teras reaktor RSG-GAS (Gambar 1) terdiri dari sebuah kapsul silikon yang berputar bebas di dalam tabung penyangga kapsul (support tube) dengan kecepatan 15 rpm. Gerak putar ini dimaksudkan agar silikon yang sedang diiradiasi memperoleh distribusi neutron yang homogen pada arah radial. Untuk menghomogenkan fluks neutron pada arah aksial maka pada dinding penyangga tabung kapsul dilengkapi dengan filter *stainless steel* yang mempunyai ketebalan bervariasi sesuai dengan besarnya ketidak rataan fluks setempat¹⁾.

Ukuran silikon ingot yang dapat diiradiasi pada fasilitas adalah sepanjang 400 mm dengan diameter maksimum 178 mm. pengaruh reaktivitas fasilitas silikon doping dapat diabaikan karena menurut perhitungan interatom besarnya pengaruh reaktivitas adalah - 0,002 %, harga ini jauh lebih kecil dari batas pengaruh reaktivitas yang diijinkan untuk eksperimen tunggal yaitu - 0,5%. Dalam rangka peningkatan pemanfaatan fasilitas silikon doping pada RSG GA Siwabessy maka telah dilakukan iradiasi silikon. Iradiasi silikon ini lebih banyak ditekankan pada pengujian kinerja fasilitas silikon doping (NTD) pasca modifikasi.

Makalah ini digunakan sebagai pengukuran awal untuk mengetahui harga konstanta (k) fasilitas silikon doping di fasilitas NTD RSG GAS dengan daya reaktor 15 MW, yang digunakan untuk referensi penentuan waktu iradiasi.

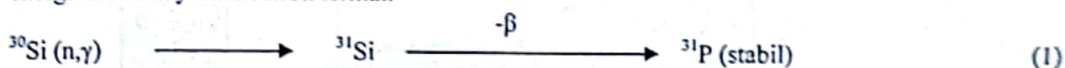
TEORI

Prinsip dasar Neutron transmutasi doping (NTD).

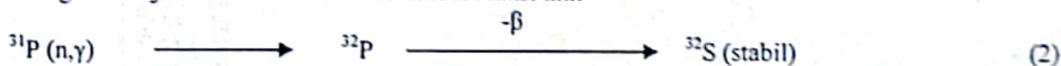
Neutron yang digunakan dalam pengiradian *sample* silikon berasal dari aktivitas reaksi fisi di dalam reaktor nuklir. Neutron hasil reaksi fisi tersebut memiliki energi yang tinggi yaitu sekitar 2 MeV. Neutron dengan energi tinggi sering disebut dengan neutron cepat. Sistem didalam reaktor riset mengatur perlambatan neutron cepat yang dihasilkan, dengan menggunakan bahan dengan massa atom yang ringan yaitu air (H_2O). Perlambatan neutron dengan air tersebut menyebabkan energi neutron mengalami penurunan. Neutron hasil perlambatan tersebut diklasifikasikan berdasarkan energinya menjadi tiga jenis yaitu neutron cepat (dengan energy 0,1 MeV - 0,5 MeV), neutron epitermal (0,2eV - 0,1 MeV) dan neutron termal (dibawah 0,2 eV). Berdasarkan tiga jenis neutron tersebut, neutron yang bermanfaat untuk proses reaksi transmutasi pada *sample* silikon di dalam fasilitas NTD adalah neutron dengan tingkat energi terendah yaitu neutron termal.

Reaksi transmutasi merupakan salah satu efek dari interaksi neutron terhadap materi dipengaruhi oleh fluks neutron termal ($n/cm^2.dt$) yang berasal dari reaktor nuklir dan tampang lintang bahan terhadap iradiasi neutron atau *cross section* ($barns=10^{-24}$). Tampang lintang bahan silikon adalah 0,108 barns, dengan kata lain silikon mempunyai kebolehjadian untuk menyerap radiasi neutron yaitu sebesar $0,108.10^{-14} cm^2$. Kebolehjadian tersebut merupakan nilai yang sangat kecil yaitu sekitar 1/25 kali lebih kecil dibandingkan tampang lintang isotop ^{238}U ($\sigma = 2,75$ barns).

Silikon terdiri dari tiga jenis isotop yaitu: ^{28}Si (92,2%), ^{29}Si (4,7%), ^{30}Si (3,09%)¹⁾. Dengan adanya hamburan neutron termal maka atom ^{30}Si akan tertransmisi ke dalam isotop ^{31}Si yang tidak stabil dan akan meluruh dengan waktu paruh 2,26 jam. Oleh emisi partikel β , akan membentuk ^{31}P yang stabil. Pembentukan atom fosfor tersebut didasarkan pada reaksi inti dengan neutron termal sebagai berikut:

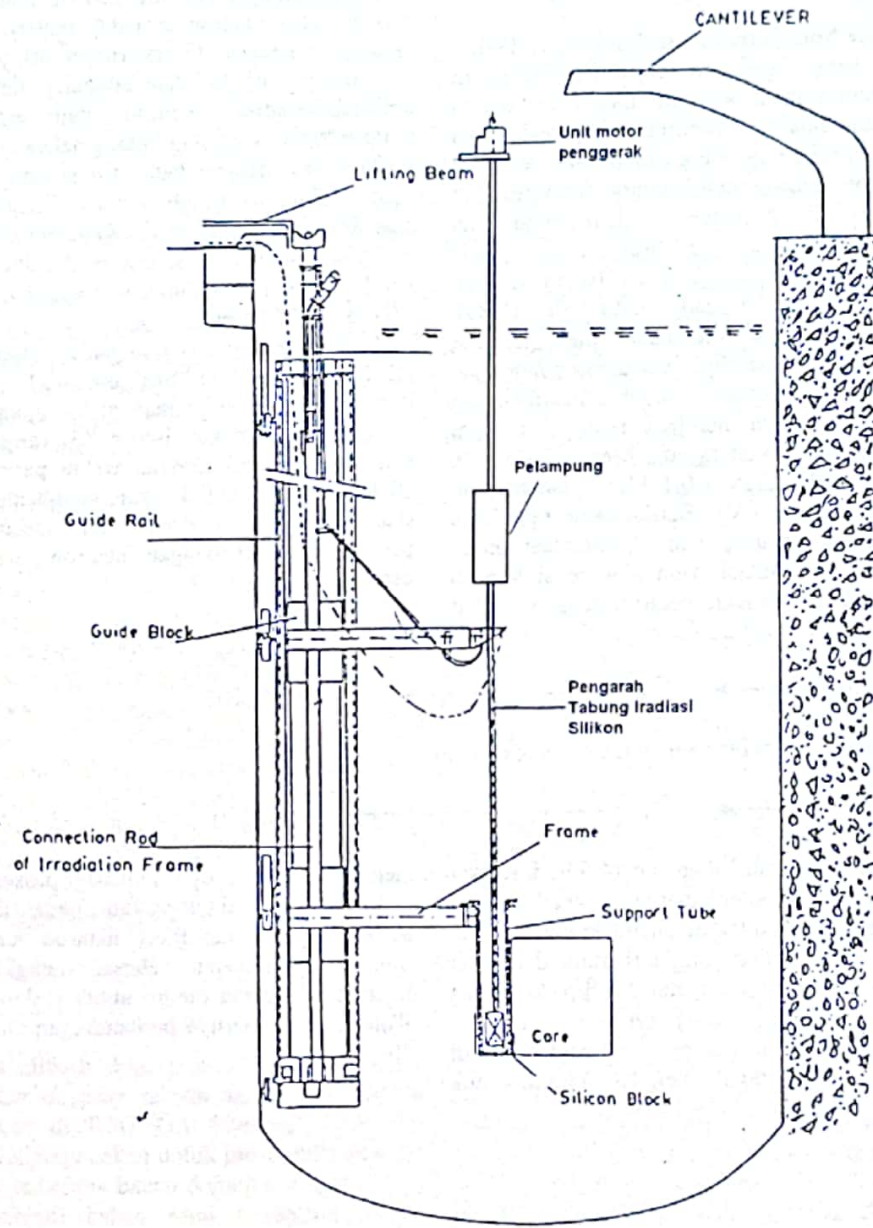


Sebagai kelanjutan dari reaksi di atas timbul reaksi inti:



Dengan waktu paruh ^{32}P adalah 14,6 hari. Reaksi lanjut tersebut kebolehjadiannya kecil tetapi merupakan efek yang tidak dikehendaki karena akan mengurangi atom fosfor yang terbentuk dan akan menghasilkan radionuklida pemancar β pada silikon hasil NTD. Disamping reaksi inti dengan neutron termal seperti tersebut di atas, neutron cepat di dalam susunan kristalnya. Oleh karena itu, untuk

mendapatkan hasil optimum bagi proses NTD maka fasilitas NTD ditempatkan pada daerah yang perbandingan antar fluks neutron termal dengan fluks neutron cepat sebesar mungkin. Menurut Interatom¹⁾, secara umum untuk reaktor jenis *Light Water Pool*, besarnya perbandingan O_{th}/O_f adalah 20.



Gambar 1. Fasilitas Silikon Doping RSG GASiwabessy

Atom fosfor yang terbentuk akan berlaku sebagai atom dopant. Atom dopant ini akan mengakibatkan perubahan tahanan atau daya hantar listrik silikon ingot, perubahan tahanan di dalam silikon dapat dihitung berdasarkan besarnya fluence yang mengenai sasaran. Menurut Crick²⁾ dkk, untuk silikon type-n maka hubungan antara fluks, waktu dan perubahan tahanan silikon ingot dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho_{Eh,t} = k \cdot \left(\frac{1}{\rho E} - \frac{1}{\rho S} \right) n / cm^2 \quad \dots(3)$$

Atau

$$k = \frac{\phi_{th} E}{\left(\frac{1}{\rho E} - \frac{1}{\rho S} \right)} n \Omega / cm^2$$

$$k = \frac{\phi_{th} \cdot t \cdot \rho E \cdot \rho S}{\rho S - \rho E} n \Omega / cm^2$$

di mana

k = konstanta

ϕ_{th} = fluks neutron termal rata-rata ($n/(cm^2 \cdot detik)$)

t = waktu iradiasi (detik)

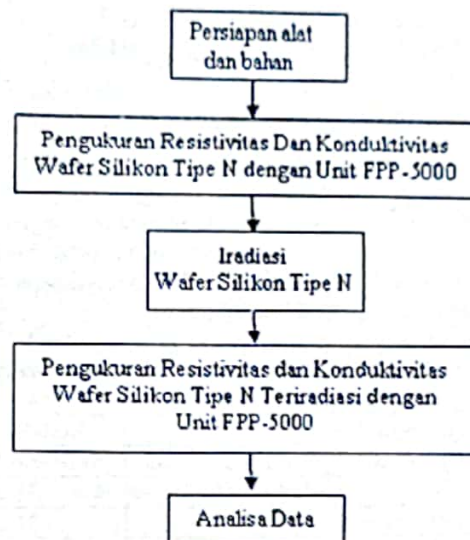
ρE = tahanan akhir ($\Omega \cdot cm$)

ρ_s = tahanan awal (Ω cm)

Besarnya harga k (konstanta) didapatkan dari hasil eksperimen, yang dipengaruhi oleh tampang lintang penyerapan dan karakteristik inerm dari bahan yang diiradiasi. Harga konstanta tersebut dapat dihitung dengan memantau besarnya fluence dan tahanan sebelum iradiasi maupun paska iradiasi.

Langkah awal penelitian dilakukan dengan menyediakan material silikon padat yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu dua *ingot waver* (piringan tipis) yaitu ingot A dan B. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu iradiasi material silikon di dalam fasilitas NTD, seperti terlihat pada Gambar 2.

TATA KERJA



Gambar 2. Skema penelitian

Langkah-langkah tersebut dipaparkan pada uraian sebagai berikut:

Iradiasi Material Silikon didalam fasilitas NTD

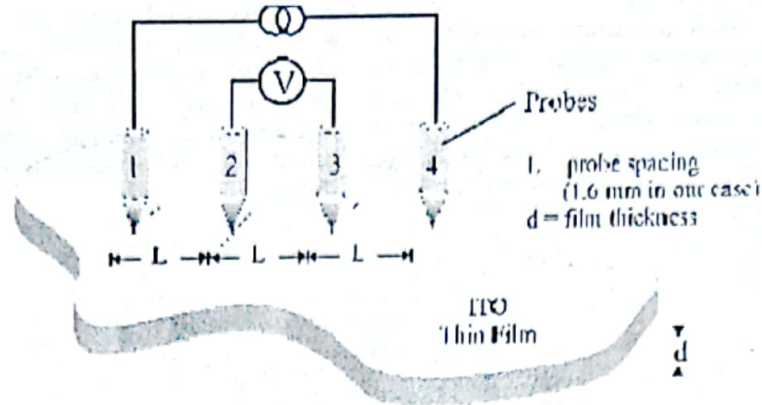
Proses iradiasi silikon dilakukan pada fasilitas NTD yang tersedia di RSG GAS. *Ingot waver* (piringan tipis) silikon dibersihkan dengan menggunakan etanol sebelum proses iradiasi, pembersihan ditujukan untuk meminimalisir kontaminan dari lingkungan yang menempel pada permukaan *ingot. silicon Ingot* kemudian dimasukan kedalam tabung dengan bahan aluminium yang digunakan sebagai wadah dalam proses iradiasi. Tabung silikon berputar pada arah radial selama proses iradiasi. Putaran berfungsi agar iradiasi neutron dapat terpapar secara merata pada *ingot waver* (piringan tipis) silikon. Iradiasi dilakukan sebelas hari pada daya operasi reaktor 15 MW dengan fluks neutron $\approx 10^{12}$ n/cm²s. Setelah proses iradiasi selesai Tabung silikon yang berisi *ingot waver* (piringan tipis) hasil iradiasi dipindahkan pada kolam penampungan (*storage pool*). *Ingot waver* (piringan tipis) dидiamkan sampai pancaran radiasi gamma yang terpancar hasil aktivasi neutron

berada dalam batas aman untuk diangkat ke permukaan kolam.

Pengukuran Resistivitas

Pengukuran resistivitas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan resistivitas sebelum dan sesudah iradiasi pada setiap sample yang digunakan yaitu *ingot waver* (piringan tipis) A dan B. Sebelum pengukuran resistivitas pada *sample*, dilakukan pemberian perlakuan panas berupa *annealing* dengan suhu 700°C selama satu jam. *Annealing* ditujukan untuk memperbaiki struktur kristal silikon pada *sample*, yang diindikasikan rusak akibat hamburan elastis neutron cepat yang terjadi pada atom silikon.

Langkah berikutnya yaitu dilakukan pencucian *sample* dengan menggunakan TCE (*Tri Chlor Etilen*) dengan alat pencuci ultrasonik. Pencucian dilakukan untuk menghilangkan partikel halus yang menempel di permukaan *sample* silikon. Pengukuran resistivitas *sample* silikon dilakukan dengan menggunakan *four point probe* (FPP). Skema alat FPP dapat dilihat pada Gambar 3 berikut



Gambar 3. Skema alat *four point probe*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut diperoleh data sebagai hasil iradiasi yang telah dilakukan terhadap *sample waver* A dan

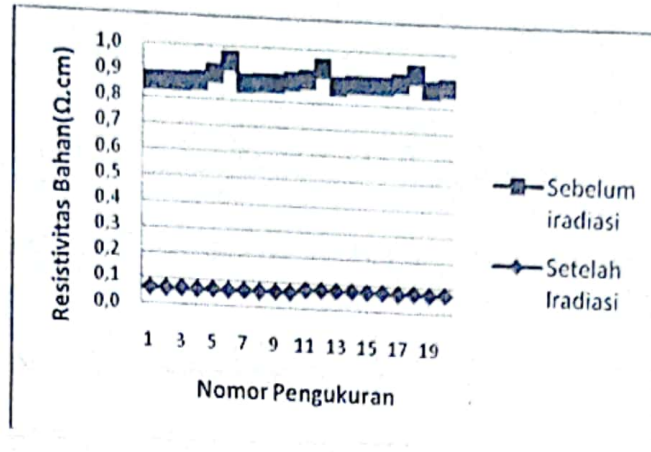
B selama sebelas hari di dalam fasilitas NTD untuk keperluan pengukuran awal harga konstanta (k) terlihat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengukuran nilai resistivitas bahan sebelum dan sesudah iradiasi pada *waver* A dan B

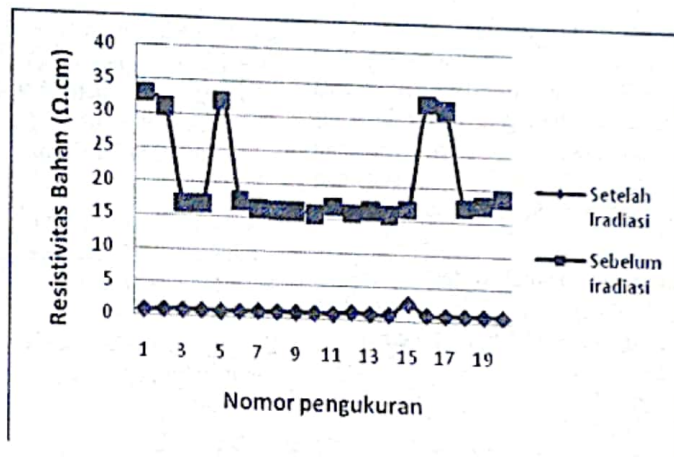
Nomor pengukuran	Resistivitas bahan <i>waver</i> A ($\Omega \cdot \text{cm}$)		Resistivitas bahan <i>waver</i> B ($\Omega \cdot \text{cm}$)	
	Sebelum Iradiasi	Setelah Iradiasi	Sebelum Iradiasi	Setelah Iradiasi
1	0.796	0.0616	33.00	0.806
2	0.798	0.0618	31.00	0.903
3	0.797	0.0618	16.75	0.901
4	0.804	0.0620	16.75	0.897
5	0.832	0.0623	32.00	0.808
6	0.883	0.0622	17.35	0.833
7	0.798	0.0621	16.24	0.901
8	0.803	0.0621	16.00	0.885
9	0.804	0.0618	16.03	0.884
10	0.814	0.0617	15.69	0.870
11	0.812	0.0733	16.87	0.844
12	0.856	0.0737	15.93	0.905
13	0.793	0.0737	16.43	0.937
14	0.800	0.0735	15.87	0.900
15	0.800	0.0741	16.64	0.856
16	0.800	0.0723	32.40	0.888
17	0.814	0.0723	31.60	0.846
18	0.847	0.0724	17.06	0.883
19	0.792	0.0703	17.56	0.889
20	0.801	0.0719	18.60	0.852
Rata-rata	0.812	0.0673	20.489	0.874

Data hasil pengukuran Resistivitas bahan tersebut menunjukkan iradiasi *sample* silikon di dalam fasilitas NTD menyebabkan penurunan nilai resistivitas bahan. Perbedaan besar nilai penurunan resistivitas antara *waver* A dan B disebabkan karena perbedaan resistivitas awal yang terukur. Perbedaan

tersebut juga diindikasikan karena perbedaan letak penyimpanan *waver* pada tabung silicon saat proses pengiradiansian yaitu *waver* A diletakan pada bagian paling bawah tabung dan *waver* B diletakan pada posisi lebih atas beda satu ring setebal 4 cm.



Gambar 4. Grafik resistivitas wafer A



Gambar 5. Grafik resistivitas wafer B

Selain menunjukan penurunan resistivitas yang cukup besar dari hasil iradiasi, grafik dari Gambar 4 dan Gambar 5 juga menunjukan nilai resistivitas bahan yang terukur adalah lebih homogen dibandingkan resistivitas awal bahan sebelum iradiasi. Kehomogenan nilai resistivitas hasil iradiasi disebabkan oleh pemanasan terhadap *sample* pada suhu 700°C selama satu jam, yang dilakukan sebelum pengukuran resistivitas setelah bahan diiradiasi.

Dari Tabel 1. Hasil Pengukuran nilai resistivitas bahan sebelum dan sesudah iradiasi pada waver A dan B diukur sebanyak 20 kali sehingga setiap harga resistivitas sebelum iradiasi maupun setelah iradiasi mempunyai harga simpangan sehingga harga

konstanta (k) mempunyai harga *Error Propagation* yang besarnya

$$k = \bar{k} \pm \Delta k$$

$$\Delta k = \frac{\Delta k_1 + \Delta k_2}{2}, \text{ dimana}$$

$$\bar{k} = \frac{0. t. \overline{\rho E} \cdot \overline{\rho S}}{\overline{\rho S} - \overline{\rho E}}$$

$$\Delta k = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial \rho E} \Delta \rho E\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial \rho S} \Delta \rho S\right)^2}$$

$$\frac{\partial k}{\partial \rho E} = \frac{0. t. \rho S \cdot (\rho S - \rho E) - (-) \cdot 0. t. \rho E \cdot \rho S}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\frac{\partial k}{\partial \rho S} = \frac{0. t. \rho S^2 - 0. t. \rho S \cdot \rho E + 0. t. \rho E \cdot \rho S}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho E} = \frac{0.t.\rho S^2}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho S} = \frac{0.t.\rho E.(\rho S - \rho E) - 1.0.t.\rho E.\rho S}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho S} = \frac{0.t.\rho E.\rho S - 0.t.\rho E^2 - 0.t.\rho S.\rho E}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho S} = -\frac{0.t.\rho E^2}{(\rho S - \rho E)^2}$$

$$\text{Jadi } \Delta k = \sqrt{\left(\frac{0.t.\rho S^2}{(\rho S - \rho E)^2} \Delta \rho E\right)^2 + \left(-\frac{0.t.\rho E^2}{(\rho S - \rho E)^2} \Delta \rho S\right)^2}$$

Dengan data-data fluks neutron termal (ϕ_{th}) pada daya 15 MW = 1.10^{12} n/cm².detik², waktu iradiasi (t) 11 hari = 950.400 detik, dan dengan data pada Tabel 1 maka dapat dihitung untuk wafer A, ρ_E (tahanan akhir) = 0,067(Ω cm) dan ρ_S (tahanan awal) = 0,812 (Ω cm). Untuk wafer B, ρ_E (tahanan akhir) = 0,874(Ω cm) dan ρ_S (tahanan awal) = 20,489 (Ω cm).

Maka harga k_1 rata-rata (\bar{k}_1) untuk wafer A = $(\phi.t) / (1/\rho_E - 1/\rho_S) = 1.10^{12}$ n/cm².detik * 950.400 detik / ((1/0,067(Ω cm))-1/0,812(Ω cm)) = 6.94034E+16 n. Ω /cm

dan harga k_2 rata-rata (\bar{k}_2) untuk wafer

B = $(\phi.t) / (1/\rho_E - 1/\rho_S) = 1.10^{12}$ n/cm².detik * 950.400 detik / ((1/0,874 (Ω cm))-1/20,489 (Ω cm)) = 8.67661E+17 n. Ω /cm

Rerata harga konstanta (\bar{k}) = (6.94034E+16 n. Ω /cm + 8.67661E+17 n. Ω /cm) / 2 = 4.68532E+17 n. Ω /cm

Dengan menggunakan rumus-rumus di atas maka dapat dihitung harga simpangan pengukuran dari wafer A,

$$\Delta \rho E = \left\{ \frac{\sum(\rho E_i - \bar{\rho E}_n)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,0056 \Omega.Cm$$

$$\Delta \rho S = \left\{ \frac{\sum(\rho S_i - \bar{\rho S}_n)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,0241 \Omega.Cm$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho E} = \frac{0.t.\rho S^2}{(\rho S - \rho E)^2} = \frac{1.10^{12} \cdot 950.400 \cdot 0.812^2}{(0.812 - 0.067)^2} = \frac{626.64.10^{15}}{0.555} = 1129,081.10^{15} \Omega.cm$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho S} = -\frac{0.t.\rho E^2}{(\rho S - \rho E)^2} = -\frac{1.10^{12} \cdot 950.400 \cdot 0.067^2}{(0.812 - 0.067)^2} = -\frac{4.205.10^{15}}{0.555} = -7,757.10^{15} \Omega.cm$$

Jadi

$$\Delta k = \sqrt{(1129,081.10^{15} \cdot 0,0056)^2 + (-7,757.10^{15} \cdot 0,0241)^2}$$

$$\Delta k = \sqrt{39,978.10^{30} + 0,0349.10^{30}}$$

$$\Delta k = 6.3256.10^{15} n.\Omega/cm$$

Untuk wafer A diperoleh konstanta k = (6,9403.10¹⁶ ± 6,3256.10¹⁵) n. Ω /cm

• Untuk wafer B,

$$\Delta \rho E = \left\{ \frac{\sum(\rho E_i - \bar{\rho E}_n)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}} = 0,0343 \Omega.Cm$$

$$\Delta \rho_s = \left\{ \frac{\sum (\rho_{s_i} - \bar{\rho}_s)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}} = 6,86 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\frac{\frac{\partial R}{\partial \rho_s}}{\frac{\partial R}{\partial \rho_s}} = \frac{\frac{\partial \rho_s}{(\rho_s - \rho_s)^2}}{\frac{\partial \rho_s}{(\rho_s - \rho_s)^2}} = \frac{1,10^{12} \cdot 950 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 49^2}{(20 \cdot 49 - 0 \cdot 574)^2} = \frac{299016 \cdot 07 \cdot 10^{15}}{254 \cdot 79} = 1036,98 \cdot 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\frac{\frac{\partial R}{\partial \rho_s}}{\frac{\partial R}{\partial \rho_s}} = - \frac{\frac{\partial \rho_s}{(\rho_s - \rho_s)^2}}{\frac{\partial \rho_s}{(\rho_s - \rho_s)^2}} = - \frac{1,10^{12} \cdot 950 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 0 \cdot 574^2}{(20 \cdot 49 - 0 \cdot 574)^2} = - \frac{725 \cdot 997 \cdot 10^{15}}{254 \cdot 79} = -1,89 \cdot 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$$

Jadi

$$\Delta k = \sqrt{(1036,98 \cdot 10^{15} \cdot 0,0343)^2 + (-1,89 \cdot 10^{15} \cdot 6,86)^2}$$

$$\Delta k = \sqrt{168,1016 \cdot 10^{30} + 35,568 \cdot 10^{30}}$$

$$\Delta k = 14,27 \cdot 10^{15} \text{ n}\Omega/\text{cm}$$

Untuk wafer B diperoleh konstanta $k = (8,67661 \cdot 10^{17} \pm 14,27 \cdot 10^{15}) \text{ n}\Omega/\text{cm}$, sehingga

$$\Delta k = \frac{6,3256 \cdot 10^{15} + 14,27 \cdot 10^{15}}{2} = 10,298 \cdot 10^{15} \text{ n}\Omega/\text{cm}$$

KESIMPULAN

Dari uraian dan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa harga konstanta fasilitas silikon doping diperoleh $k = 4,68532 \cdot 10^{17} \text{ n}\Omega/\text{cm} \pm 10,298 \cdot 10^{15} \text{ n}\Omega/\text{cm}$ harga konstanta tersebut dapat digunakan sebagai referensi penentuan waktu iradiasi silikon ingot di RSG GA Siwabessy.

PUSTAKA RUJUKAN

- [1] INTERATOM. *Neutron Physical Aspects of Design and Operation of the Silicon Doping Facility*. 54. 07698. 8 .1988.
- [2] NW, CRICK 1987: *Silicon irradiation in the Harwell Reactor, International symposium on the utilization of multipurpose research reactor and related international cooperation, Grenoble, France, 19-22 Oct. 1987*
- [3] SARWANI, 1990. *Iradiasi Silikon di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, Prosidings Seminar Pendayagunaan Reaktor Nuklir Untuk Kesejahteraan Masyarakat*. Bandung : BATAN.
- [4] KUNTORO DAN HASTOWO H, *Experience with Neutron Transmutation Doping Facility Operation at the RSG-GAS Reactor*, IAEA Technical Reports Series No. 455, Vienna .2007.

DISKUSI

1. Nama Penanya : Indrawanto
Pertanyaan :
Untuk apa harga constant dicari?

Jawaban :

Harga konstanta berguna untuk mencantumkan waktu iradiasi silicon dari resistivity awal ke resistivity akhir yang diinginkan

2. Nama Penanya : Hari Prijanto
Pertanyaan :
Bagaimana referensi nilai konstanta?

Jawaban :

Sekitar pada tahun 2001 fas silicon doping pernah digunakan untuk mengiradiasi silicon dari jepang (skin etsu) hanya meminta harga fluence, kalau ϕ diketahui maka waktu iradiasi dapat dihitung.