

PERSIAPAN FASILITAS DOPING SILIKON RSG-GAS

Suwanto

PRSG-BATAN

ABSTRAK

“PERSIAPAN FASILITAS DOPING SILIKON RSG-GAS” Fasilitas doping silikon di reaktor RSG-GAS belum dapat digunakan untuk iradiasi target silikon sesuai standar. Oleh sebab itu RSG-GAS sedang melakukan persiapan fasilitas tersebut dengan harapan dapat melayani iradiasi target silikon sebagai bahan semi konduktor yang sesuai standar. Sebagai rujukan yaitu fasilitas doping silikon di reaktor FRM II, Munich, Jerman yang telah mampu menghasilkan bahan semi konduktor sebanyak 10 ton semenjak tahun 2008. Persiapan yang dilakukan antara lain untuk mendapatkan informasi tentang persyaratan sebuah fasilitas doping silikon agar dapat menghasilkan bahan semi konduktor yang berkualitas. Informasi diperoleh dengan mempelajari langsung kegiatan iradiasi target silikon di FRM II. Hasil pengamatan menyimpulkan bahwa fasilitas doping silikon RSG-GAS memungkinkan untuk melayani iradiasi silikon dengan syarat posisi iradiasi fasilitas memiliki penyimpangan distribusi fluks neutron arah aksial $< 5\%$ dan arah radial $< 3\%$, sistem pengendali putaran target, peta posisi profil distribusi fluks neutron sebagai fungsi posisi batang kendali reaktor dan memiliki alat ukur resistivitas.

Kata kunci : Penyiapan fasilitas doping S_i

ABSTRACT

"PREPARATION OF RSG-GAS SILICON DOPING FACILITY" Silicon doping facility at RSG-GAS has not been able to irradiate silicon target according to standard yet. Therefore RSG-GAS is preparing the facility in the hope that it can serve S_i target irradiation for semiconductor materials according to standard. As a reference is silicon doping facility at reactor FRM II, Munich, Germany which has produced semiconductor materials of 10 tons since 2008. The preparations were done among other things to get information about requirements of a silicon doping facility in order to produce semiconductor materials which has a certain quality. The information were obtained by observation of S_i irradiation activity at FRM II. The observation results concluded that RSG-GAS silicon doping facility enable to serve the S_i irradiation with requirements that irradiation position of the facility has deviation of neutron flux distribution in the axial $< 5\%$ and radial $< 3\%$, control system of target rotation, profile positions of neutron flux distribution as a function of control rods positions and availability of resistivity measuring device.

Keywords : Preparation of S_i doping facility

PENDAHULUAN

Hingga saat ini fasilitas doping silikon yang terpasang pada Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) di Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) belum berhasil memproduksi bahan semi konduktor sesuai standar. Bahan semi konduktor tersebut diperoleh melalui proses iradiasi target Silikon (Si) pada fasilitas doping silikon. Oleh sebab itu PRSG berkehendak memperbaiki fasilitas tersebut agar bisa memenuhi layanan iradiasi target Si sesuai standar. Sebelum melakukan perbaikan fasilitas tersebut diperlukan informasi tentang persyaratan fasilitas untuk memproduksi bahan semi konduktor yang berkualitas. Informasi terkait persyaratan tersebut diperoleh dari fasilitas doping silikon di reaktor FRM II, Munich, Jerman yang telah terbukti mampu menghasilkan bahan semi konduktor tipe n sebanyak 10 ton semenjak tahun 2008, dan sebuah perusahaan dari Jepang sebagai pengguna jasa (customer). Persyaratan yang dimaksud adalah untuk menyiapkan informasi tentang persyaratan sebuah fasilitas doping silikon PRSG dimaksudkan untuk menyiapkan informasi tentang persyaratan sebuah fasilitas doping silikon agar dapat menghasilkan bahan semi konduktor yang dapat diterima oleh pasar atau berkualitas.

FRM merupakan singkatan dari Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz. FRM II merupakan kelanjutan dari reaktor FRM I yang sudah tidak dioperasikan lagi. Lokasi FRM II berada di lingkungan Universitas Teknik Muenchen (Technische Universitaet Muenchen).

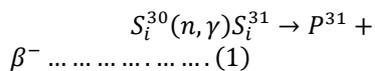
FRM II adalah reaktor riset dengan daya termal 20 MW menggunakan moderator air berat, memiliki teras yang hanya terdiri dari satu elemen bakar, berbentuk silinder berdiameter 24 cm dan tinggi 70 cm, mengandung 8 kg uranium pengayaan tinggi dalam bentuk U₃Si₂, yang mencukupi untuk perioda operasi selama 60 hari. Elemen bakar tersebut diletakkan di dalam

sebuah tangki air berat (D₂O) yang memiliki diameter dalam 2,5 m. Tangki D₂O berada di dalam kolam air ringan (H₂O) sehingga ujung bagian atas tangki D₂O berada pada kedalaman kolam 6,8 m. Fasilitas doping silikon berupa tabung/kanal berada di dalam tangki D₂O tetapi bagian dalam kanal berisi H₂O. Ukuran silicon (ingot) meliputi diameter 127 mm dan tinggi 200 mm dan untuk sekali iradiasi dipasang 2 ingot.

Informasi tentang persyaratan fasilitas doping Si diperoleh melalui diskusi dan pengamatan kegiatan iradiasi target Si di FRM II yang meliputi penanganan persiapan iradiasi, proses selama iradiasi dan penanganan pasca iradiasi. Kegiatan tersebut berlangsung selama 20 hari dari tanggal 18 Nopember sampai dengan 16 Desember 2013

DESKRIPSI

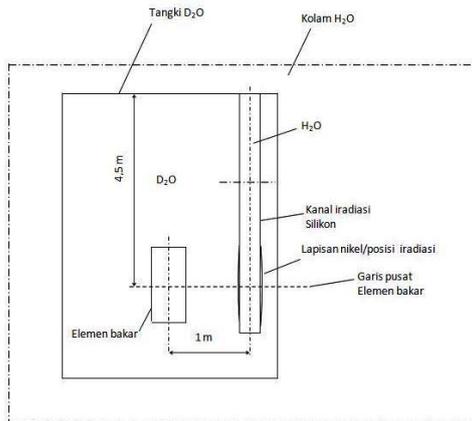
Proses iradiasi Silikon (Si) di dalam reaktor didasarkan pada reaksi nuklir sebagai berikut;



Penangkapan neutron oleh atom Si³⁰ akan merubah atom tersebut menjadi atom Si³¹ yang radioaktif dan mempunyai waktu paroh 2,62 jam. Si³¹ meluruh dengan memancarkan partikel bermuatan negatif (β⁻) sehingga Si³¹ berubah menjadi P³¹ yang stabil. Keuntungan utama dari pendopingan Si menggunakan netron atau disebut *Neutron Transmutation Doping* (NTD) dibandingkan dengan teknik doping Si lainnya adalah akurasi dan homogenitasnya yang tinggi. Untuk tujuan komersial, kedua persyaratan tersebut telah dipenuhi oleh kanal iradiasi silicon FRM II.

Kanal iradiasi silikon tersebut berupa tabung AlMg3 vertikal yang terpasang di dalam tangki D₂O. Melalui eksperimen yang telah berlangsung (kurang/lebih) satu tahun, titik tengah kanal iradiasi fasilitas doping Si dipasang

pada jarak 1 meter dari titik tengah elemen bakar. Sedangkan kanal iradiasi sendiri berisi air ringan (H_2O). Pada posisi iradiasi pada kanal iradiasi silikon dilapisi nikel di sekelilingnya. Sebagai ilustrasi kanal iradiasi silikon dapat dilihat pada Gambar 1 dan kegiatan loading target S_i ditunjukkan pada Gambar 2.

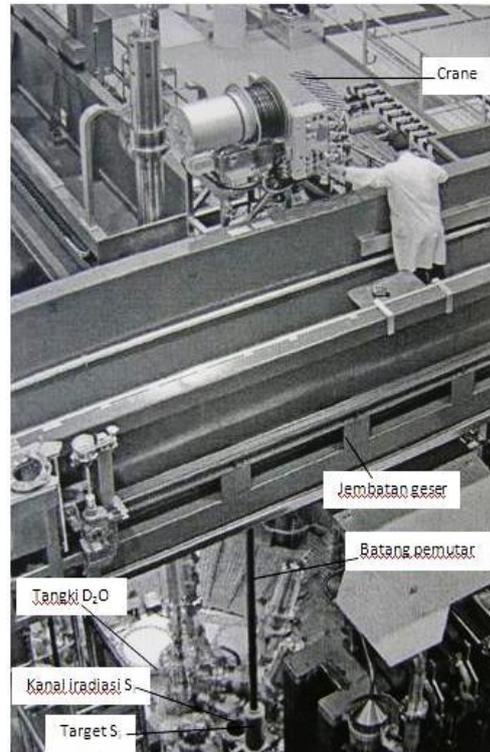


Gambar 1. Skema posisi kanal iradiasi silikon

Besarnya fluks neutron pada posisi iradiasi adalah $1,7 \times 10^{13}$ neutron/cm² detik dengan perbandingan antara fluks neutron termal dengan fluks neutron cepat mencapai 1700. Suhu dalam kanal iradiasi terpanas adalah 80 °C sedangkan suhu pada ingot mencapai 140 °C selama iradiasi berlangsung.

Parameter utama reaktor FRM II adalah :

- Daya termal : 20 MW
- Fluks neutron : 8.10^{14} n/cm²det
- Moderator : D₂O
- Pendingin : Air ringan (H₂O)
- Elemen bakar : Tinggi tabung 133 cm, diameter luar tabung 24 cm, tinggi aktif 70 cm, jumlah berat bahan bakar 8 kg HEU U₃Si₂ alloy berada di dalam 113 plat bahan bakar.



Gambar 2. Loading target silicon (ingot)

Pelaksanaan iradiasi.

Pelaksanaan iradiasi target Si dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

1. Ingot Si yang baru langsung dimasukkan ke dalam gudang untuk pencatatan/identifikasi dan penyimpanan;
2. Menjelang pelaksanaan iradiasi, ingot dipindahkan dari gudang ke dalam gedung reaktor
3. Di dalam gedung reaktor, ingot Si dibersihkan/dicuci menggunakan alkohol.
4. Ingot Si dimasukkan ke dalam rak (*loading basket*) di dalam *storage pool* menggunakan peralatan vakum;
5. Dari *loading basket* ingot Si dipindahkan ke dalam *irradiation basket* menggunakan peralatan vakum;

6. *Irradiation basket* yang berisi ingot Si diangkat menggunakan batang pemutar yang terpasang pada jembatan geser ke kolam reaktor kemudian diarahkan dan dimasukkan ke dalam kanal iradiasi;
7. Setelah *irradiation basket* mencapai posisi iradiasi, motor batang pemutar dioperasikan untuk memutar *irradiation basket* dengan frekuensi 5 s. 7 putaran/menit;
8. Selama iradiasi berlangsung *irradiation basket* dikendalikan secara otomatis mengikuti gerakan profil distribusi fluks aksial sebagai dampak dari penarikan batang kendali, Iradiasi berlangsung selama 2 s.d 3 jam dengan daya reaktor 20 MW;
9. Alur pergerakan ingot Si menuju posisi iradiasi ditunjukkan pada Gambar 3,



Gambar 3. Alur pergerakan Si dari gudang ke posisi iradiasi

Pelaksanaan pembongkaran

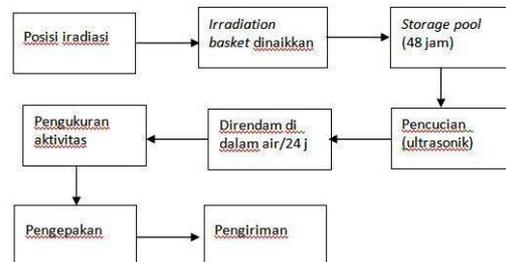
Pelaksanaan pembongkaran target Si dilakukan melalui tahapan sebagai berikut;

1. Setelah lama iradiasi yang telah ditentukan dicapai, maka *irradiation basket* (Si) bergerak secara otomatis ke atas setinggi 4 m dari posisi iradiasi yang disebut sebagai posisi peluruhan (di dalam kanal iradiasi). Posisi ini dipertahankan selama 1 jam untuk

meluruskan aktivitas bahan *irradiation basket* (AIMg3);

2. Target Si dalam *irradiation basket* dikeluarkan dari kanal iradiasi kemudian ditempatkan di dalam rak di dalam *storage pool*. Disini target Si didiamkan selama 48 jam untuk peluruhan aktivitasnya;
3. Target Si dikeluarkan dari *storage pool* kemudian dilakukan pencucian menggunakan mesin ultrasonik selama 20 s.d 30 menit;
4. Target Si dikeluarkan dari mesin cuci ultrasonik kemudian dicuci (drendam) dalam air selama 24 jam;
5. Dilakukan pengukuran kontaminan pada target Si;
6. Jika pengukuran pada no. 5 menghasilkan aktivitas permukaan < 0,090 Bq/g dan kontaminan < 0,900 Bq/cm², maka dilanjutkan dengan pengepakan untuk dikirim ke customer;

Alur pergerakan ingot Si menuju posisi pengiriman ditunjukkan pada Gambar 4,



Gambar 4. Alur pergerakan Si dari posisi iradiasi sampai ke pengiriman

Kualitas hasil doping Si oleh FRM II dapat diterima oleh pihak customer. Informasi resmi dari yang berwenang di FRM II menyatakan, bahwa FRM II tidak melakukan pengukuran resistivitas target Si, baik sebelum maupun sesudah iradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dilihat dari sisi keberhasilan FRM II yang telah sukses melakukan doping silikon maka hal penting yang mendukung keberhasilan tersebut adalah :

1. Fasilitas doping silikon FRM II berada di dalam moderator neutron D₂O sehingga mampu menghasilkan cadmium ratio sampai 1700 yang berarti sangat didominasi oleh fluks neutron termal (neutron termal diperlukan untuk reaksi aktivasi atom-atom silikon)
2. Fasilitas doping silikon FRM II pada posisi iradiasinya memiliki distribusi fluks neutron yang hampir rata baik secara aksial maupun radial. Hal ini terbukti bahwa ketidakrataan resistivitas target aksial < 5 % dan untuk arah radial < 3 %.
3. Fasilitas doping silikon FRM II dilengkapi sistem instrumentasi dan kendali yang memungkinkan target selalu berada pada daerah/posisi iradiasi yang selalu berubah seiring dengan *burn-up* bahan bakar (penarikan batang kendali).
4. Sistem instrumentasi dan kendali tersebut selain mengatur posisi target juga mengendalikan putaran target (jika putaran terhenti maka target diangkat ke posisi peluruhan/setinggi 4 m)
5. Pihak FRM II tidak melakukan pengukuran resistivitas target sebelum maupun setelah iradiasi

Kelima faktor di atas perlu dipertimbangkan untuk memfungsikan fasilitas doping silikon di RSG-GAS. Penulis berusaha mengupas kelima faktor tersebut dalam kaitannya dengan fasilitas doping silikon di RSG-GAS.

Pembahasan

Nilai *cadmium ratio* sebesar 1700 hanya dimiliki oleh reaktor bermoderator D₂O dan untuk reaktor

RSG-GAS (bermoderator air ringan) tentu sangat jauh dari nilai tersebut yaitu ≈ 20 . Berdasarkan persamaan berikut, hal ini tidak menjadi persoalan karena hanya akan berpengaruh pada lama iradiasi (t).

$$t = \frac{A}{\Phi} \left(\frac{1}{\rho_E} - \frac{1}{\rho_A} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- t = Lama iradiasi (jam)
- A = Konstanta iradiasi ($\Omega \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{n}$)
- Φ = Fluks neutron ($\text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{det}^{-1}$)
- ρ_E = Resistivitas setelah iradiasi ($\Omega \cdot \text{cm}$)
- ρ_A = Resistivitas sebelum iradiasi ($\Omega \cdot \text{cm}$)

Namun demikian disarankan agar diusahakan sedapat mungkin untuk memperkecil jumlah neutron cepat pada posisi iradiasi karena neutron cepat akan merusak susunan kristal Si^[3]. Untuk mengurangi jumlah neutron cepat di fasilitas doping Si reaktor RSG-GAS bisa dilakukan dengan cara menjauhkan posisi iradiasi dari teras reaktor. Kalau hal ini tidak memungkinkan maka setelah target diiradiasi kemudian dipanaskan untuk memperbaiki susunan kristal yang rusak.

Untuk mengetahui rata tidaknya distribusi fluks neutron pada posisi iradiasi perlu dilakukan pemetaan fluks neutron secara aksial dan radial. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan proses *doping* dan secara operasional mudah untuk dilakukan.

Perihal sistem instrumentasi dan kendali fasilitas doping silikon, PRSG dapat melakukannya dengan data awal yang harus diketahui, yaitu posisi tengah (sentral) profil distribusi fluks pada awal siklus operasi secara bertahap sampai akhir siklus operasi. Sebagai parameter masukan sistem kendali diperlukan adanya detektor neutron yang terpasang permanen pada sentral profil distribusi fluks neutron. Dengan adanya masukan dari detektor ini, memungkinkan sistem kendali menggerakkan

target (ke atas atau ke bawah) mengikuti sentral profil distribusi fluks aksial. Selain detektor neutron, diperlukan juga parameter putaran target sebagai masukan sistem kendali untuk bertindak mengangkat target sehingga cukup jauh dari posisi iradiasi apabila putaran target terhenti.

Pengukuran resistivitas target S_i sebelum dan sesudah iradiasi untuk reaktor RSG-GAS diperlukan karena hal ini penting untuk mengetahui kesiapan fasilitas doping Si dalam menurunkan resistivitas. Berbeda dengan FRM II yang memang sudah operasional namun masih memerlukan informasi dari pemesan tentang nilai resistivitas awal dan akhir. Sebagai contoh (diperoleh dari informasi lapangan) resistivitas awal = 1000 Ω cm dan resistivitas akhir = 50 Ω cm.

KESIMPULAN

Untuk menyiapkan fasilitas doping silikon di PRSG diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Melakukan pengaturan posisi/jarak fasilitas Si doping terhadap teras reaktor diikuti pengukuran distribusi fluks neutron aksial dan radial pada posisi iradiasi merupakan hal yang sangat menentukan kualitas, sehingga penyimpangan homogenitasnya < 5% untuk arah aksial dan <3% untuk arah radial;
- 2) Menyediakan sistem kendali putaran target sehingga apabila putaran target terhenti ada tindakan otomatis yang menjauhkan target dari posisi iradiasinya;
- 3) Melakukan pemetaan posisi profil distribusi fluks neutron sebagai fungsi posisi batang kendali reaktor selama siklus operasi reaktor;
- 4) Menyediakan alat ukur resistivitas untuk mengetahui sejauh mana penurunan resistivitas target setelah diiradiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) H. GEERSTENBERG, X. LI, I. NEUHAUS, "Silicon Doping At FRM II", TU Muenchen, Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), Lichtenbergstrasse 1, D-85747, Garching – Germany, 2013.
- 2) ANONIM, "Experimental Facilities Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ)", Sponsored by: Federal Ministry of Education and Research, Germany, February 21, 2013.
- 3) IAEA-TECDOC-456, "Silicon Transmutation Doping Techniques And Practices", A Technical Document Issued By The International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988.