

PENGARUH RADIASI NEUTRON CEPAT 14 MeV PADA KOMPONEN ELEKTRONIKA DIODA SEMIKONDUKTOR

Darsono, Agus Santoso, Irianto

Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta, Kotak Pos 1008, Yogyakarta

ABSTRAK

PENGARUH RADIASI NEUTRON CEPAT 14 MeV PADA KOMPONEN ELEKTRONIKA DIODA SEMIKONDUKTOR. Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh yang ditimbulkan oleh radiasi neutron cepat 14 MeV pada komponen elektronika khususnya dioda semikonduktor yang ada di pasaran. Metode pengamatannya dengan cara membandingkan watak volt-ampere dioda sebelum dan sesudah diradiasi untuk berbagai fluens neutron. Pengaruh yang terjadi berupa perubahan watak dioda yaitu kenaikan arus yang mengalir dari dioda pada keadaan bias maju. Fluens neutron minimum yang dibutuhkan untuk membentuk perubahan pada dioda masing-masing adalah $2,8 \times 10^{12}$ n/cm² untuk dioda silikon BZX29C6V8 dan 1N935 dan $1,6 \times 10^{12}$ n/cm² untuk dioda germanium OA.

ABSTRACTS

FAST NEUTRON 14 MeV IRRADIATION EFFECT ON SEMICONDUCTOR DIODE OF ELECTRONIC COMPONENTS. Effects of fast neutron 14 MeV irradiation on electronic components especially semiconductor diode commercially available in the market have been investigated. The investigation was done by comparing volt-ampere of diode characteristic before and after irradiation for various neutron fluence. The effect occurred is in the form of the change of the diode characteristic which is the increased current that flows at forward bias. Minimum neutron fluence required to induce some effects on diode was found to be 2.8×10^{12} n/cm² for BZX29C6V8 and 1N935 silicon diode and 1.6×10^{12} n/cm² for OA germanium diode.

PENDAHULUAN

Pengaruh radiasi terhadap material adalah fenomena yang sangat menarik untuk diteliti. Riset mengenai hal ini sudah dimulai di negara-negara maju dan sekarang masih berlanjut [1,2]. Aplikasi riset ini sangat berguna dalam pengembangan ilmu struktur material suatu zat mampat [2]. Riset efek radiasi terutama radiasi ion dan neutron cepat terhadap logam, semikonduktor, dan isolator merupakan hal penting dalam mendisain komponen reaktor pembiak cepat dan fusi [1].

Riset mengenai efek neutron cepat pada komponen elektronik semikonduktor sangat bermanfaat karena beberapa instrumen elektronik digunakan dalam medan neutron dari sebuah reaktor fusi. Perubahan karakteristik elektronik tergantung dari jenis komponen yang digunakan [3]. Beberapa parameter fisis efek radiasi seperti perubahan sifat elektrik dan mekanik bahan dapat dipelajari dengan menggunakan generator neutron. Untuk membatasi masalah pada penelitian ini

dilakukan riset efek neutron cepat 14 MeV terhadap komponen elektronik diode semikonduktor yang ada di pasaran sebagai langkah awal riset ini. Diode dipilih karena dioda merupakan komponen elektronik semikonduktor yang paling sederhana. Disamping itu data efek radiasi neutron cepat terhadap dioda yang ada di pasaran belum ada.

Pada riset ini dua macam bahan dioda semikonduktor yaitu silikon dan germanium untuk berbagai jenis dioda diteliti. Sumber neutron cepat dihasilkan dari generator neutron di PPNY-BATAN yang menyediakan fluks neutron sampai orde 10^9 pada energi 14 MeV. Metode penelitian yang digunakan dengan cara membandingkan watak volt-ampere dioda sebelum dan sesudah diradiasi neutron untuk berbagai fluens neutron. Adapun tujuan penelitian ialah untuk mendapatkan fluens neutron minimum agar terjadi efek terhadap watak volt-ampere diode.

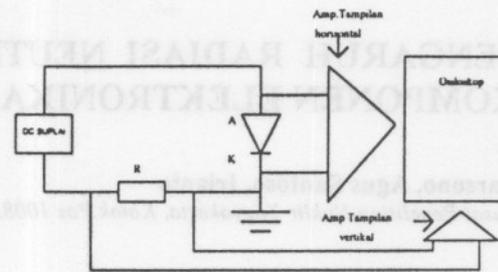
TATA KERJA

a) Bahan dan alat

1. Disiapkan cuplikan dioda silikon jenis BZX29C6V8, 1N935 dan 1N4001 masing-masing 10 buah juga cuplikan germanium OA dan GP20 masing-masing 10 buah
2. Generator neutron buatan SAMES-PERANCIS
3. Detektor neutron cepat ZnS(Ag) + B₂O₃
4. Kurva tracer 7CT1N
5. Osiloskop Tektronik 7904
6. Kamera Polaroid

b) Metode percobaan

Masing-masing dioda sebelum diradiasi diabadikan gambar watak volt-ampernya pada keadaan tegangan bias maju dengan menggunakan kurva tracer 7CT1N yang dirakitkan pada osiloskop tektronik 7904. Skema percobaan dapat dilihat pada gambar 1. Cuplikan dioda semikonduktor diletakkan pada pin-pin saluran kolektor dan emiter. Anoda dari dioda diletakkan pada kolektor sedangkan katoda pada emiter untuk mendapatkan bias maju. Dengan memutar COLLECTOR/DRAIN VOLTS pada kurva tracer dapat dilihat watak volt-ampernya dioda pada tampilan osiloskop. Watak volt-ampernya yang tertampil pada layar osiloskop kemudian dipotret menggunakan kamera polaroid. Kondisi tombol-tombol kurva tracer untuk semua pengujian watak volt-ampere dioda sebelum dan sesudah diradiasi neutron dibuat pada keadaan yang sama. Hal ini dilakukan untuk memudahkan analisis dalam metode komparasi sehingga dapat diketahui perubahan yang terjadi pada dioda yang telah diradiasi. Kemudian dioda diradiasi untuk berbagai fluen pada fluks neutron orde 10^8 n/cm².detik dengan menggunakan neutron cepat 14 MeV dari generator neutron buatan SAMES-PERANCIS. Cuplikan dioda diletakkan pada permukaan pelindung sasaran tritium generator neutron pada saat yang bersamaan fluks neutronnya diukur dengan detektor neutron ZnS(Ag) + B₂O₃ untuk mengetahui fluen neutronnya. Fluen neutron ialah fluks neutron dikalikan waktu pemaparan neutron. Jadi satuannya ialah n/cm². Untuk menentukan fluen minimum agar terjadi efek



Gambar 1: Skema pengujian watak volt-ampere dioda

terhadap watak volt-ampere dioda mula-mula cuplikan dioda diradiasi neutron dengan waktu pemaparan 2 jam kemudian diuji watak volt-ampernya. Jika tidak terjadi efek kemudian diradiasi neutron lagi dengan waktu pemaparan yang lebih lama sampai terjadi efek. Setelah terjadi efek kemudian dicari fluen terendah dengan memvariasi waktu pemaparan. Agar detektor neutron ZnS(Ag) + B₂O₃ dapat digunakan untuk mengukur fluks neutron maka dikalibrasi dengan metode aktivasi lempeng aluminium.

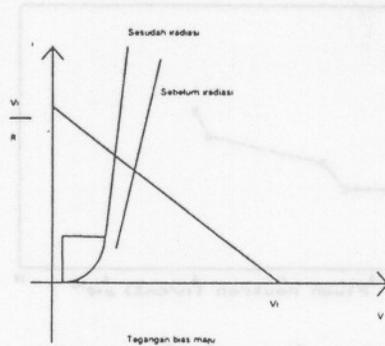
Untuk menganalisa kurva watak volt-ampere diode dipergunakan metode garis beban untuk mengetahui berapa tegangan masuk pada dioda untuk keluaran arus tertentu yang benar [4]. Persambungan p-n dipandang sebagai elemen rangkaian dioda dasar yang terdiri dari dioda itu sendiri dalam keadaan seri dengan tahanan R dan suatu sumber tegangan masuk V_i . Rangkaian ini dianalisis untuk memperoleh arus i dan tegangan dioda V apabila tegangan masukan V_i . Menurut hukum Kirchoff pada gambar 1 maka

$$V = V_i - iR. \quad (1)$$

Persamaan linier ini disebut garis beban yang melalui titik-titik di $I = 0$; $V = V_i$ dan $I = -V_i/R$; $V = 0$. Kemiringan garis ditentukan oleh R. Nilai negatif dari kemiringan berharga sama dengan $1/R$. Titik perpotongan garis beban dengan kurva watak dioda memberikan harga arus i yang akan mengalir dalam rangkaian apabila tegangan sesaatnya V_i . Titik perpotongan ini digunakan sebagai titik pengamatan perubahan watak dioda akibat radiasi neutron seperti diperlihatkan pada skema metode garis beban pada gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Agar detektor neutron ZnS(Ag) + B₂O₃ dapat digunakan untuk mengukur fluks neutron maka detektor ini dikalibrasi dengan



Gambar 2 : Skema metode garis beban

menggunakan metode aktivasi lempeng aluminium. Pada kalibrasi ini lempeng aluminium diaktivasi neutron dari generator neutron dan pada saat yang bersamaan detektor neutron ZnS(Ag) + B₂O₃ digunakan untuk mencacah neutron dari generator neutron. Hasil kalibrasinya terlihat pada tabel 1. Alasan

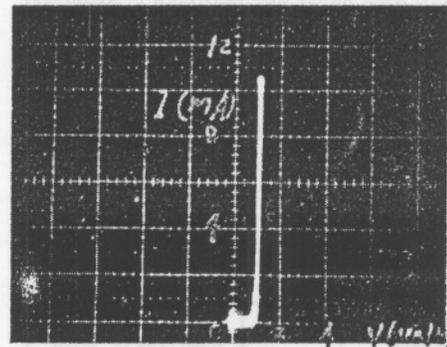
Tabel 1 : Data kalibrasi detektor ZnS(Ag) + B₂O₃ dengan metode aktivasi lempeng Al

No	Fluks neutron lempeng Al (n/cm ² .detik)	Cps [ZnS(Ag) + B ₂ O ₃]
1	2,4 x 10 ⁸	156,8
2	1,8 x 10 ⁸	119,0
3	4,6 x 10 ⁷	30,1
4	1,8 x 10 ⁸	117,6
5	2,0 x 10 ⁷	13,1

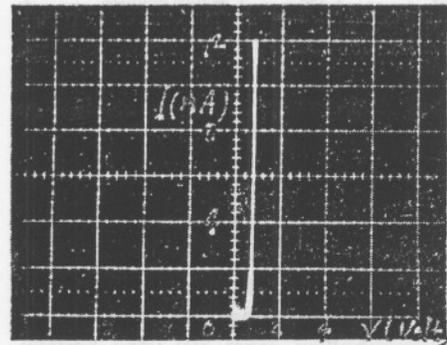
menggunakan ZnS(Ag) + B₂O₃ sebagai detektor fluks neutron ialah karena jika menggunakan lempeng aluminium sebagai detektor fluks neutron untuk waktu iradiasi yang lama (> 1 jam) tidak akan mencerminkan harga fluks neutron yang sesungguhnya, ingat bahwa waktu paroh aluminium reaksi (n,p) ialah 9,45 menit sehingga akan terjadi saturasi. Sedangkan jika menggunakan reaksi (n,α) tampang lintangnya kecil disamping akurasinya rendah. Alasan lain ialah untuk kepraktisan dalam melakukan percobaan. Biasanya faktor kalibrasi detektor neutron ZnS(Ag) + B₂O₃ adalah 1530590,6 (n/cm².detik)/cps. Hasil pengukuran fluks neutron diatas mempunyai ketelitian 95%.

Hasil percobaan pengaruh radiasi neutron cepat terhadap dioda semikonduktor

memperlihatkan bahwa irradiasi neutron cepat dapat menyebabkan perubahan watak volt-ampere dioda seperti pada contoh gambar 3 dan 4 dari dioda silikon sebelum dan sesudah diradiasi. Adapun ringkasan hasil percobaan pengaruh radiasi neutron cepat terhadap dioda dari 5 jenis cuplikan dioda dapat dilihat pada tabel 2. Cuplikan dioda silikon BZX29C6V8 dan 1N935 dan dioda OA germanium mengalami perubahan watak volt-ampernya. Dari analisis garis beban ternyata perubahan yang terjadi berupa kenaikan arus relatif terhadap harga arus dioda sebelum



Gambar 3 : Dioda Silikon BZX29C6V8 sebelum diradiasi neutron cepat



Gambar 4: Dioda Silikon BZX29C6V8 setelah diradiasi neutron cepat pada fluen 6 x 10¹² n/cm²

diradiasi seperti terlihat pada gambar 5, 6, dan 7. Dari gambar 5, 6, dan 7 dapat ditentukan bahwa fluen minimum yang diperlukan agar terjadi perubahan dioda silikon BZX29C6V8 dan 1N935 ialah orde 2,8 x 10¹² n/cm² sedangkan untuk dioda OA germanium ialah orde 1,5 x 10¹² n/cm². Penembakan neutron pada dioda 1N4001 dan

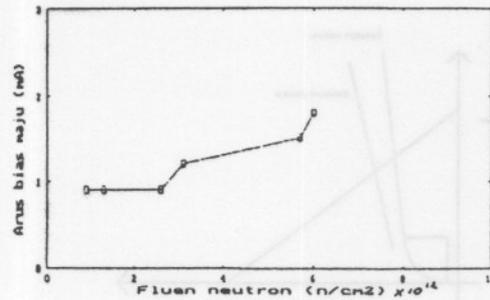
GP20 belum menampakan perubahan. Kemungkinan fluen neutron untuk orde 9×10^{12} belum cukup menimbulkan pengaruh pada watak dioda ini. Untuk itu perlu diteliti ulang untuk fluen yang lebih besar dari 10^{13} n/cm^2 .

Perubahan watak volt-ampere dioda yang teramati pada penelitian ini kemungkinan diakibatkan dari cacat kisi yang ditimbulkan oleh akumulasi fluen neutron. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam semikonduktor elektron dan hole dapat terjebak pada cacat kisi sehingga merubah struktur kemagnetan, konduktivitas, serapan optik dll.[2]. Hal ini dapat terjadi karena tingkat energi yang ditempati oleh cacat kisi merubah konsentrasi elektron bebas dalam bahan. Cacat kisi dapat disebabkan berbagai hal seperti dislokasi, masuknya atom pengotor, maupun penembakan oleh partikel inti. Penembakan partikel inti pada

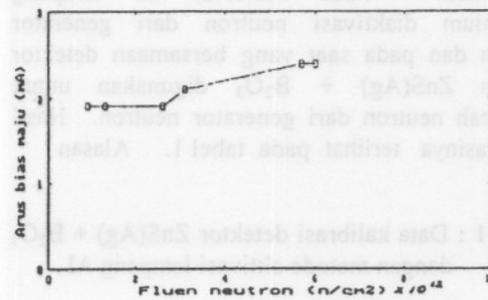
Tabel 2 : Ringkasan hasil percobaan pengaruh neutron cepat terhadap dioda semikonduktor

No	Cuplikan dioda	Bahan	Efek neutron pada fluen orde 10^{13} n/cm^2
1	BZX29C6V8	Si	nampak
2	1N935	Si	nampak
3	1N4001	Si	belum nampak
4	OA	Ge	nampak
5	GP20	Ge	belum nampak

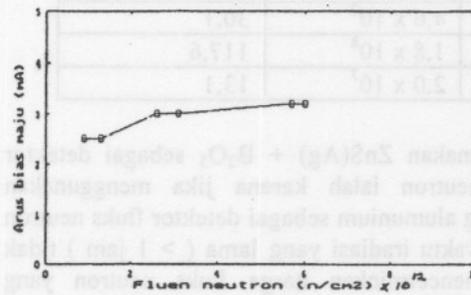
bahan mempunyai sifat yang khas yaitu tergantung pada energi partikel dan interaksi partikel dengan bahan. Inilah penjelasan mengapa fluen minimum untuk dioda silikon berbeda dengan dioda germanium. Pada dasarnya interaksi neutron pada bahan merupakan penyebab pembentukan atom asing hasil transmudasi atom atau perpindahan atom dari letak normal pada kisi. Perpindahan atom akan menimbulkan cacat kisi yang berlaku sebagai perangkap-perangkap elektron. Menurut Billington dan Crawford [5] cacat yang dihasilkan pada semikonduktor dapat dikaitkan dengan penempatan pasangan lowongan *interstitial* pada tingkat energi dalam pita larangan sehingga merubah konsentrasi pembawa dan mobilitasnya. Sebagian tingkat energi dari cacat ditempati oleh elektron atau donor dan sebagian yang lain akan kosong berlaku sebagai aseptor tergantung pada konsentrasi mula-mula pembawa muatan dan bahan semikonduktor.



Gambar 5 : Pengaruh fluen neutron cepat terhadap arus bias maju dari dioda Silikon BZX29C6V8



Gambar 6 : Pengaruh fluen neutron cepat terhadap arus bias maju dari dioda Silikon 1N935



Gambar 7 : Pengaruh fluen neutron cepat terhadap arus bias maju dari dioda Germanium OA

KESIMPULAN

Pengaruh radiasi neutron cepat 14 MeV pada komponen elektronika dioda semikonduktor dapat merubah watak volt-ampere dioda. Pengaruh yang terjadi dalam penelitian ini berupa kenaikan arus yang mengalir pada watak volt-ampere dari dioda pada keadaan bias maju. Fluon neutron

minimum yang dibutuhkan untuk membentuk perubahan pada dioda masing-masing adalah $1,8 \times 10^{12}$ n/cm² untuk dioda silikon BZX29C6V8 dan 1N935 dan $1,6 \times 10^{12}$ n/cm² untuk dioda germanium OA. Sedangkan untuk dioda silikon 1N4001 dan germanium GP20 pada fluen 9×10^{12} n/cm² belum menampakkan perubahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada sdr. Suraji dan Agus Tri Purwanto staf kelompok fisika Nuklir PPNY atas bantuannya dalam pengoprasian generator neutron sehingga terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. CSIKAI, J., Utilization of Intense Neutron Generators in Science and Technology, Nucl. Instr. & Meth. A280 (1989), p.233 - 250
2. LEHMAN, C.H.R., Interaction of Radiation in Solids and Elementary Defect Production, North Holland Company, (1977).
3. BATISTI, S., et.al., Radiation Damage to Electronic Components, Nucl. Instr. & Meth. A136, (1976) p.1451 - 472
4. MILLMAN, J., and HALKIAS, J., Integrated Electronic, Barmawi, M., dan Tjoa, M.O., terjemahan, Elektronika Terpadu, Erlangga, Jakarta, (1984)
5. BILLINGTON, D.D., and CRAWFORD, J.H., Radiation Damage in Solids, Princenton Press., New Jersey, (1961)

TANYA JAWAB

Sutadji S.

- Mengapa $V_{breakdown}$ tidak/belum diamati ?

Darsono

- Kami belum meneliti masalah $V_{breakdown}$, kami akan tumpang saran saudara untuk penelitian lebih lanjut

Amir Rusli

- Alasan apa yang menyebabkan Fluen minimum yang dibutuhkan untuk dioda silikon BZX29C6V8 dan 1N935 sama, pada komposisi bahan sangat berbeda.

- Langkah-langkah yang diambil untuk memperpanjang umur komponen (dioda) yang bekerja di lingkungan fluen neutron tinggi
- Saya kira penelitian perlu dilanjutkan untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih jelas

Darsono

- Dua dioda ini mempunyai bahan sama yaitu silikon, sedangkan interaksi neutron cepat dengan bahan bersifat khas yaitu efek yang terjadi tergantung bahan dan energi neutron. Jadi mungkin karena bahan sama menghasilkan fluen yang sama. Tapi kalau kita lihat dioda 1N4001 pada fluen orde 10^{13} n/cm² belum berubah. Jadi kami kira perlu pengkajian teori lebih jauh.
- Dicari bahan dioda yang tahan radiasi neutron oleh karena itu perlu penelitian ini dilanjutkan
- Benar, saya setuju

M. Syamsa A.

- Mengapa tidak mencoba penelitian pada dioda tipe biner seperti GaAs (Galium Arsenat) atau InP (Indium Phosphor) yang lebih tahan terhadap radiasi daripada semikonduktor silikon atau germanium

Darsono

- Seperti kami sampaikan pada pendahuluan presentasi, bahwa penelitian ini merupakan penelitian awal. Jadi kami mencoba dengan dioda yang mudah kena efek neutron. Selanjutnya kami meneliti dioda jenis lain dan komponen elektronik lainnya.

Djen Djen

- Dari kesimpulan terlihat bahwa neutron cepat mampu mengubah watak dioda. Apakah disini dianalisis perubahan watak dioda secara kualitatif sehingga diketahui batas berfungsi tidaknya dioda tersebut

Darsono

- Dari data $V-I$ cuplikan dioda masih berfungsi

Widdi Usada

- Tampaknya dioda setelah dikenai neutron makin peka (tegangan forward lebih kecil). Apakah dapat disimpulkan diode tersebut lebih peka ?
- Berapa lama penguraian neutron terhadap dioda

Darsono

- Tidak, karena dioda yang digunakan disini merupakan dioda penyearah
- Lebih besar dari 3 jam untuk $\Phi = 10^8$ n/cm².s