



THE EFFECT OF Ge CONTENT ON THE OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF a-SiGe:H THIN FILMS

Mursal, Irhamni, dan T. Winata

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Syiah Kuala,
Darussalam – Banda Aceh

Abstract. The effect of Ge content on the optical and electrical properties of Si-Ge-H thin films deposited by HWC-PECVD had been investigated. The Si-Ge-H films were grown on Corning glass 7059 substrate using 10% diluted GeH₄ and SiH₄ gas mixture, respectively. The GeH₄ gas flow rate was varied from 2.5 to 12.5 sccm, while the flow rate of SiH₄ was kept constant at 70 sccm. The results showed that the deposition rate of Si-Ge-H thin films increases with the increasing of GeH₄ gas flow rate. Besides, the Ge content in the film also increased, and the optical band gap decreased. The dark conductivity of Si-Ge-H films was relatively constant, whereas the photo's conductivity decreased with increasing of Ge content.

Keywords: Si-Ge-H, Ge content, optical band gap, conductivity.

I. PENDAHULUAN

Silikon germanium amorf terhidrogenasi (a-SiGe:H) telah digunakan secara luas sebagai lapisan penyerap optik bagian bawah pada sel surya *multijunction* [1-3]. Hal ini disebabkan material ini memiliki celah pita optik (*optical bandgap*) yang relatif sempit (1,1 – 1,6 eV), sehingga mampu menyerap foton dengan panjang gelombang pada daerah cahaya tampak (400 – 800 nm). Disamping itu, celah pita optik lapisan tipis a-SiGe:H dapat dengan mudah dikontrol (dipersempit) dengan menambahkan atom Ge [4 – 6].

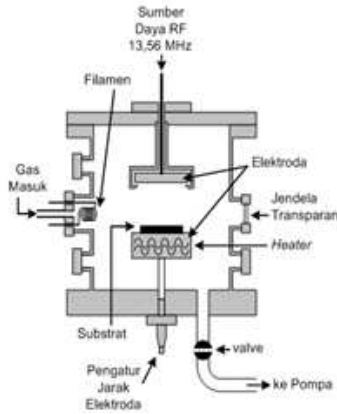
Masalah utama pada karakteristik paduan a-SiGe:H adalah terjadinya degradasi sifat-sifat fotoelektronik dengan bertambahnya kandungan Ge. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan atom H untuk berikatan dengan atom Si daripada atom Ge, sehingga jumlah ikatan lepas (*dangling bond*) pada atom Ge dua orde lebih besar dibandingkan dengan jumlah ikatan lepas pada atom Si [7]. Disamping itu, penambahan atom Ge pada paduan a-SiGe:H juga akan menyebabkan terbentuknya *cluster* Ge-Ge. Kedua hal tersebut akan sangat mempengaruhi sifat optoelektronik dari a-SiGe:H.

Pada kondisi tertentu, meningkatnya kandungan Ge dan atau menurunnya kandungan hidrogen, akan menurunkan lebar celah pita optik (*optical bandgap*, E_{opt}) lapisan a-SiGe:H. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian untuk mendapatkan lapisan tipis a-SiGe:H dengan nilai E_{opt} optimum, dan memiliki karakteristik yang baik. Disamping itu, metode dan parameter penumbuhan juga ikut mempengaruhi

karakteristik a-SiGe:H. Salah satu parameter penting dalam proses penumbuhan lapisan tipis adalah laju aliran gas. Laju aliran gas menentukan lamanya gas berada dalam reaktor dan lamanya gas melintasi filamen, terutama pada sistem reaktor *hot wire cell plasma enhanced chemical vapor deposition* (HWC-PECVD). Hal ini dapat mempengaruhi konsentrasi hidrogen dalam reaktor dan proses desosiasi gas SiH₄ dan GeH₄. Dalam tulisan ini, akan dipaparkan hasil kajian mengenai pengaruh variasi kandungan atom Ge terhadap karakteristik lapisan tipis a-SiGe:H yang dideposisi dengan teknik HWC-PECVD.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental di laboratorium. Proses deposisi lapisan tipis silikon germanium amorf terhidrogenasi (a-SiGe:H) dilakukan dengan menggunakan reaktor *hot wire cell plasma enhanced chemical deposition* (HWC-PECVD). Reaktor HWC-PECVD merupakan pengembangan dari reaktor PECVD, dengan menambahkan filamen panas (*hot wire*) ke dalam *chamber* dan ditempatkan pada masukan gas (*gas inlet*) [8]. Dengan demikian akan dihasilkan atom hidrogen yang lebih banyak sebagai hasil dekomposisi gas sumber [9]. Skema reaktor HWC-PECVD diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema reaktor HWC-PECVD.

Reaktor ini dilengkapi dengan pembangkit frekuensi radio (*generator rf*), yang berfungsi untuk mendekomposisi gas sumber, sehingga menghasilkan plasma di antara elektroda rf dan elektroda substrat. Gas silane (SiH_4) dan germane (GeH_4), masing-masing 10% dalam gas hidrogen (H_2) digunakan sebagai gas sumber. Untuk mengetahui pengaruh persentase kandungan Ge terhadap karakteristik a-SiGe:H, dilakukan deposisi lapisan a-SiGe:H dengan kondisi parameter seperti diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi parameter penumbuhan.

| Parameter deposisi | Kondisi |
|---------------------|-----------------|
| Temperatur filamen | 800 °C |
| Temperatur substrat | 200 °C |
| Tekanan deposisi | 400 mTorr |
| Daya rf | 50 watt |
| Laju aliran gas : | |
| SiH_4 | 70 sccm |
| GeH_4 | 2,5 – 12,5 sccm |

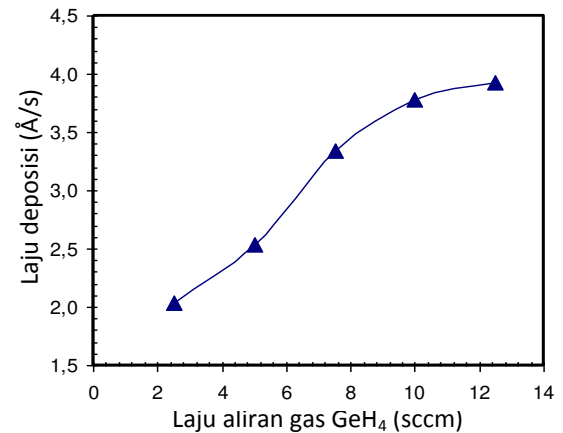
Pada penelitian ini, lapisan tipis a-SiGe:H ditumbuhkan di atas substrat gelas corning #7059. Selanjutnya, lapisan tipis tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan EDS untuk mengetahui kandungan atom Ge (C_{Ge}). Untuk menganalisa sifat optik dari lapisan ini, dilakukan pengukuran spektrum transmitansi sebagai fungsi dari panjang gelombang cahaya tampak dengan spektrofotometer ultraviolet visible (UV-VIS). Dari data spektrum UV-VIS ini dapat dihitung ketebalan dan nilai koefisien absorpsi (α) dengan persamaan :

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T(\lambda), \quad (1)$$

dimana d menyatakan ketebalan lapisan dan $T(\lambda)$ menyatakan transmitansi sebagai fungsi dari panjang gelombang cahaya. Selanjutnya dapat ditentukan celah pita optik (E_{opt}), dengan menggunakan metode Tauc plot berdasarkan kurva $h\nu$ vs. $(ah\nu)^{1/2}$, dimana $h\nu$ menyatakan energi foton. Konduktivitas lapisan diukur dengan metode dua titik (*two point probe*) menggunakan elektrometer Keithley 617. Sebelum dilakukan pengukuran konduktivitas, sampel terlebih dahulu dimetalisasi dengan aluminium (Al) menggunakan teknik evaporasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju deposisi lapisan tipis a-SiGe:H berbanding lurus dengan laju aliran gas GeH_4 , seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Laju deposisi a-SiGe:H meningkat dari 2,04 – 3,93 Å/s seiring dengan meningkatnya laju aliran gas GeH_4 dari 2,5 – 12,5 sccm. Hal ini terjadi akibat meningkatnya jumlah molekul GeH_4 yang terdekomposisi menjadi radikal-radikal yang lebih sederhana pada saat melewati filamen dan elektroda, seiring dengan meningkatnya laju aliran gas GeH_4 . Akibatnya, jumlah radikal yang berdifusi ke permukaan substrat juga mengalami peningkatan.



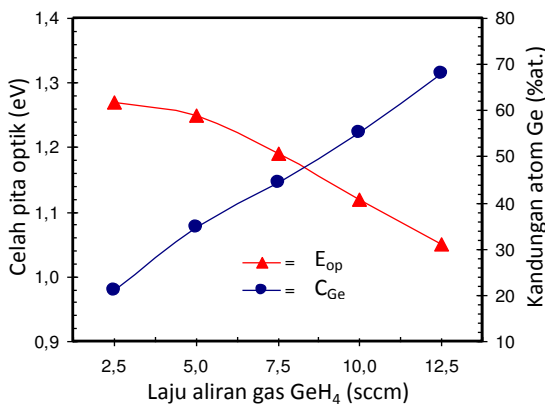
Gambar 2. Laju deposisi lapisan tipis a-SiGe:H sebagai fungsi laju aliran gas GeH_4 .

Karakteristik sel surya berbasis a-Si:H sangat dipengaruhi oleh celah pita optik material fotovoltaik [10]. Pendekatan konvensional untuk menentukan celah pita optik adalah dengan metode Tauc plot, dengan menggunakan persamaan:

$$(ah\nu)^{1/2} = a(h\nu - E_{\text{opt}}) \quad (2)$$

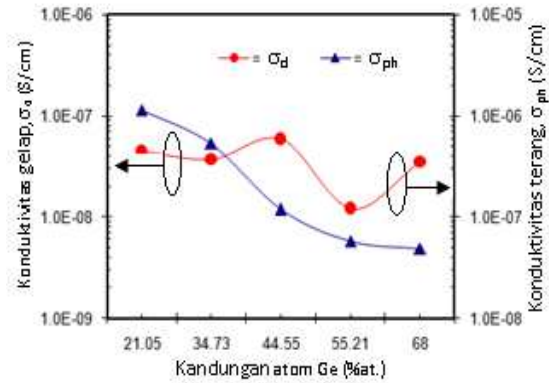
dimana celah pita optik diperoleh melalui ekstrapolasi plot grafik $(\alpha hv)^{1/2}$ terhadap titik nol ordinat (hv) . Gambar 3 memperlihatkan celah pita optik dan kandungan atom Ge lapisan tipis a-SiGe:H sebagai fungsi dari laju aliran gas GeH₄. Lebar celah pita optik (E_{opt}) mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya laju aliran gas GeH₄. Sebaliknya, persentase atom Ge dalam lapisan mengalami peningkatan. Lebar celah pita optik a-SiGe:H ditentukan oleh komposisi atomik [Si, Ge] dan kandungan hidrogen yang terkandung di dalam lapisan. Penyempitan celah pita optik dengan meningkatnya jumlah kandungan atom Ge disebabkan oleh energi ikat Ge-Ge (1,63 eV) dan Ge-H (2,99 eV) lebih kecil dibandingkan dengan energi ikat Si-Si (1,83 eV) dan Si-H (3,35 eV).

Meningkatnya kandungan Ge juga dipengaruhi oleh kecenderungan atom Ge untuk berinkorporasi di atas permukaan tumbuh lebih besar (2-6 kali) dibandingkan dengan atom Si [6].

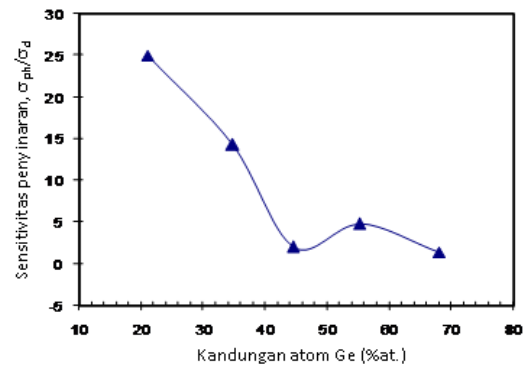


Gambar 3. Pengaruh laju aliran gas GeH₄ terhadap kandungan atom Ge (C_{Ge}) dan celah pita optik (E_{opt}) lapisan tipis a-SiGe:H.

Pengaruh kandungan atom Ge terhadap konduktivitas lapisan tipis a-SiGe:H diplihatkan pada Gambar 4. Nilai konduktivitas gelap lapisan tipis a-SiGe:H relatif konstan (dalam orde 10^{-8} S/cm), sedangkan nilai konduktivitas terang mengalami penurunan (dari orde 10^{-6} – 10^{-8} S/cm) seiring dengan meningkatnya kandungan atom Ge dari 21,05 – 68 %at. Nilai sensitivitas penyinaran (σ_{ph}/σ_d) tertinggi diperoleh pada lapisan yang memiliki kandungan Ge terendah, yaitu 21,05 %at. seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh persentase kandungan Ge terhadap konduktivitas gelap, σ_d dan konduktivitas terang, σ_{ph} lapisan tipis a-SiGe:H.



Gambar 5. Hubungan Sensitivitas penyinaran lapisan tipis a-SiGe:H dengan persentase kandungan Ge.

Konduktivitas dan sensitivitas penyinaran lapisan tipis a-SiGe:H dipengaruhi oleh kerapatan cacat (*defect density*) dalam lapisan. Penambahan atom Ge ke dalam paduan a-SiGe:H memungkinkan terbentuknya kerapatan cacat yang semakin besar. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan atom H untuk berikatan dengan atom Si dari pada atom Ge, sehingga ikatan lepas (*dangling bond*) pada atom Ge (10^{17} cm⁻³) lebih besar dari pada ikatan lepas pada atom Si (10^{15} cm⁻³), atau dapat juga disebabkan oleh meningkatnya jumlah cluster Ge-Ge dalam lapisan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Laju deposisi lapisan tipis a-SiGe:H meningkat seiring dengan meningkatnya laju aliran gas GeH₄.
2. Lebar celah pita optik lapisan tipis a-SiGe:H sangat ditentukan oleh persentase kandungan Ge dalam lapisan. Semakin tinggi kandungan atom Ge, maka celah pita optik lapisan tipis a-SiGe:H akan semakin sempit.
3. Peresentase kandungan Ge juga mempengaruhi nilai konduktivitas terang dan sensitivitas penyinaran lapisan tipis a-SiGe:H.
4. S. Hazra, A.R. Middy, S. Ray, C. Malten, and F. Finger, 2001, Role of Deposition Parameters on The Photovoltaic Quality of Amorphous Silicon Germanium Alloys: Correlation of Microstructure with Defect Density and Electronic Transport, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **34**, 2475-2481.
5. A. Terakawa, M. Shima, K. Sayama, H. Tarui, H. Nishiwaki, and S. Tsuda, 1995, Optimization of a-SiGe:H Alloy Composition for Stable Solar Cell, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34**, 1741 - 1747.
6. A. Terakawa and H. Matsunami, 1999, Composition Dependence of Inhomogeneous Hydrogen Bonding Structures in a-SiGe:H, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 6207 - 6212.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas bantuan dana melalui Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional sesuai surat perjanjian No: 212/SP2H/PP/DP2M/V/2009.

REFERENSI

1. A. Gordijn, R. J. Zambrano, J. K. Rath, and R. E. I. Schropp, 2002, Highly Stable Hydrogenated Amorphous Silicon Germanium Solar Cells, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 49, no. 5, pp. 949–952.
2. S. Guha and J. Yang, 1999, Science and Technology of Amorphous Silicon Alloy Photovoltaics, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 46, no. 10, pp. 2080–2085.
3. A. Banerjee, K. Hoffman, X. Xu, J. Yang, and S. Guha, 1994, Back Reflector Texture and Stability Issues in High Efficiency Multijunction Amorphous Silicon Alloy Solar Cells, *Proceedings of the IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, vol. 1, pp. 539–542.
7. K. Tanaka, 1989, Hydrogenated Amorphous Si and Its Alloy Materials: New Approach to Structure Control, *Optoelectronics-Devices and Technologies*, **4** (2), 143 – 153.
8. Mursal, A. Supu, I. Usman, T. Winata, and Sukirno, 2005, The dependence of RF Power on The Properties of a-SiGe:H Alloys Deposited by Hot Wire Cell PECVD, *Proc. of Asian Phys. Symposium, Indonesia*, 192 – 195.
9. M. Ichikawa, T. Tsushima, A. Yamada, and M. Konagai, 2000, Amorphous-to-Polycrystalline Silicon Transition in Hot Wire Cell Method, *J. Appl. Phys.*, **39**, 4712-4715.
10. A. Terakawa, M. Shima, K. Sayama, H. Tarui, S. Tsuda, H. Nishiwaki, and S. Nakano, 1993, Film Property Control of Hydrogenated Amorphous Silicon Germanium for Solar Cells, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 4894-4899.