

STUDI KARAKTERISASI OPTIS LAPISAN TIPIS a-SiC:H HASIL DEPOSISI METODE *GLOWDISCHARGE*

Rosari Saleh¹, Lusitra Munisa² dan Dewi Marianty¹

1. Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
2. Program Studi Ilmu Fisika, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta 10430, Indonesia

E-mail: rosari1@makara.cso.ui.ac.id

Abstrak

Studi karakterisasi optis lapisan tipis amorf silikon karbon hasil metode deposisi *glowdischarge* dilakukan dengan menggunakan spektroskopi *ultra violet-visible (uv-vis)*. Indeks bias n dihitung dengan formula Swanepoel menggunakan spektrum transmitansi kemudian dilanjutkan dengan simulasi numerik. Densitas lapisan tipis a-SiC:H cenderung berkurang dengan bertambahnya komposisi karbon. Peningkatan lebar gap optis dengan bertambahnya komposisi karbon memperlihatkan peningkatan transparansi lapisan tipis a-SiC:H. Baik bagian riil maupun imajiner fungsi dielektrik memperlihatkan harga yang cenderung berkurang dengan peningkatan komposisi karbon.

Abstract

Optical Properties of a-SiC:H Films Deposited by Glowdischarge Methods. The optical properties of amorphous silicon carbon films deposited by glowdischarge method have been studied using ultra violet-visible (uv-vis) spectroscopy. The refractive index was calculated by Swanepoel's formula using transmission data then followed by numerical simulation. The films density tends to decrease with increasing carbon content. The widening of the optical gap by increasing carbon content indicates the enhancement of film's transparence. Both real and imaginary parts of the dielectric constant show variation in magnitude as the carbon content increase.

Keywords: optical properties, amorphous silicon carbon, glowdischarge

1. Pendahuluan

Lapisan tipis a-SiC:H merupakan material yang potensial untuk aplikasi fotovoltaik, terutama sebagai window layer tipe-p pada sel surya berbasis a-Si:H sehingga berbagai penelitian dilakukan untuk memperoleh kondisi deposisi yang paling optimal untuk memproduksi piranti fotovoltaik berbasis a-SiC:H yang memiliki gap optis yang besar, absorpsi optis yang tinggi dan densitas defek yang rendah [1-3].

Berbagai metode deposisi baik PVD (*physical vapour deposition*) maupun CVD (*chemical vapour deposition*) dapat digunakan untuk menghasilkan lapisan tipis amorf silikon karbon terhidrogenasi (a-SiC:H) dengan berbagai variasi gas dan material yang digunakan sebagai sumber silikon, karbon dan hidrogen [4,5]. Karakteristik struktur dari lapisan tipis a-SiC:H yang dihasilkan sangat bergantung pada metode deposisi yang digunakan, jenis bahan dan gas yang digunakan pada proses deposisi, sedangkan karakteristik optik dan listrik sangat bergantung pada struktur mikro dari lapisan tipis tersebut [5]. Karakteristik listrik dan optik dari lapisan tipis a-SiC:H dapat dimodifikasi melalui variasi komposisi. Berbagai variasi metode deposisi dilakukan untuk mengatur komposisi dan struktur dari lapisan tipis sehingga dapat diperoleh lapisan tipis a-SiC:H dengan distribusi atom-atom yang homogen dan distribusi hidrogen tertentu pada atom silikon dan atom karbon [6]. Penelitian ini akan mempelajari variasi komposisi karbon terhadap karakteristik optis lapisan tipis a-SiC:H yang dideposisi dengan menggunakan metode *glowdischarge*.

2. Eksperimental

Metode deposisi *glowdischarge* dilakukan dalam atmosfer gas silan (SiH_4), metan (CH_4) dan hidrogen untuk menghasilkan lapisan tipis $\text{a-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ yang digunakan pada penelitian ini. Deposisi dilakukan dengan *rf-generator* 13.56 MHz, pada temperatur substrat konstan 200°C . Variasi konsentrasi karbon diperoleh melalui variasi gas metan yang dimasukkan ke dalam ruang deposisi. Substrat yang digunakan pada proses deposisi adalah substrat *corning 7059*. Transmittansi lapisan tipis diukur dengan menggunakan spektroskopi optis *uv-vis* untuk daerah panjang gelombang 400-850 nm. Formulasi Swanepoel digunakan untuk memperoleh indeks bias riil n dan koefisien absorpsi optis α sebagai fungsi energi [7,8]. Fungsi dielektrik bagian imajiner diperoleh dari kedua besaran optis n dan α dengan menggunakan prosedur fitting dengan formulasi Forouhi-Bloomer [9]. Ketebalan lapisan tipis pada penelitian ini diperoleh dari *profilometer* DEKTAK. Teknik EPMA (*electron probe microanalysis*) digunakan untuk mengetahui komposisi lapisan tipis $\text{a-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ dengan menggunakan referensi kristal SiC berkompposisi stoikiometri.

3. Hasil dan Pembahasan

Spektrum transmittansi lapisan tipis amorf silikon karbon ($\text{a-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$) hasil deposisi dengan metode deposisi *glowdischarge* untuk komposisi karbon $x=0.35$ diperlihatkan pada Gambar 1. Puncak maksimum spektrum transmittansi sebagai hasil perbedaan indeks bias lapisan tipis dengan substrat dapat digunakan untuk memperoleh besaran optis indeks bias n dan koefisien absorpsi optis α dengan menggunakan formulasi Swanepoel [7,8]. Hasil perhitungan indeks bias n sebagai fungsi energi diperlihatkan pada Gambar 2a. Gambar tersebut memperlihatkan indeks bias n yang cenderung berkurang dengan peningkatan komposisi karbon x . Selain itu terlihat bahwa indeks bias n cenderung konstan terhadap energi atau dapat dikatakan relasi dispersinya tidak terlalu besar. Berkurangnya harga indeks bias n dengan peningkatan komposisi karbon x dapat terlihat lebih jelas dengan menampilkan indeks bias n pada suatu harga energi tertentu terhadap komposisi karbon x seperti diperlihatkan pada Gambar 2b. Indeks bias cenderung berkurang dengan peningkatan komposisi karbon x . Indeks bias berkurang cukup besar untuk peningkatan komposisi karbon dari $x=0.08$ ke $x=0.23$, sedangkan peningkatan komposisi karbon dari $x=0.23$ ke $x=0.35$ tidak memperlihatkan penurunan harga indeks bias yang cukup besar. Berkurangnya harga indeks bias yang cukup besar juga terjadi pada peningkatan komposisi karbon dari $x=0.35$ ke $x=0.40$. Berdasarkan hasil tersebut dapat diperkirakan bahwa lapisan tipis $\text{a-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ dengan komposisi karbon $x=0.28$ memiliki karakteristik optis yang hampir sama dengan $x=0.35$.

Gambar 1. Spektrum transmitansi lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk $x=0.35$

Gambar 2a. Kurva $n(E)$ untuk lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk $x=0.08, 0.23, 0.35, 0.40$

Gambar 2b. Indek bias n di energi 1.8 eV sebagai fungsi komposisi karbon x untuk lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ hasil deposisi metode *glowdischarge*

Besaran optis lain yang dapat ditentukan dari formulasi Swanepoel dengan menggunakan spektrum transmitansi adalah koefisien absorpsi optis α yang juga melibatkan harga indeks bias yang telah diperoleh sebelumnya. Gambar 3 memperlihatkan kurva koefisien absorpsi optis α lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ hasil deposisi dengan metode *glowdischarge* untuk beberapa komposisi karbon x . Kurva koefisien absorpsi optis α bergeser energi yang lebih tinggi dengan peningkatan komposisi karbon x . Seperti halnya kurva indeks bias $n(E)$, pergeseran kurva koefisien absorpsi optis $\alpha(E)$ ke energi tinggi cukup besar terjadi untuk peningkatan komposisi karbon dari $x=0.08$ ke $x=0.23$ dan $x=0.35$ ke $x=0.40$, sedangkan pergeseran untuk peningkatan komposisi $x=0.23$ ke $x=0.35$ tidak terlalu besar bahkan kurva dapat dikatakan hampir berhimpit. Hal ini memperkuat dugaan bahwa kedua lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ dengan $x=0.23$ dan $x=0.35$ memiliki karakteristik optis yang hampir sama.

Gambar 3. Kurva koefisien absorpsi optis $\alpha(E)$ untuk lapisan tipis untuk lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk x=0.08, 0.23, 0.35, 0.40

Gambar 4a. Kurva ϵ_1 (E) lapisan tipis lapisan tipis untuk lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk x=0.08, 0.23, 0.35, 0.40

Gambar 4b. Kurva ϵ_2 (E) lapisan tipis lapisan tipis untuk lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk x=0.08, 0.23, 0.35, 0.40

Kedua besaran optis $n(E)$ dan $\alpha(E)$ tersebut dapat digunakan untuk memperoleh fungsi dielektrik bagian riil dan imajiner lapisan tipis dengan formulasi berikut:

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = 2nk \quad (2)$$

Gambar 4a dan 4b memperlihatkan fungsi dielektrik kompleks bagian riil dan imajiner lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge* untuk beberapa komposisi karbon x . Gambar tersebut memperlihatkan bahwa baik fungsi dielektrik bagian riil maupun bagian imajiner memperlihatkan kecenderungan berkurang dengan bertambahnya komposisi karbon x . Jika dibandingkan dengan kedua besaran optis $n(E)$ dan $\alpha(E)$ maka kecenderungan berkurangnya indeks bias dengan peningkatan komposisi karbon bersesuaian dengan berkurangnya fungsi dielektrik kompleks baik bagian riil maupun imajiner. Penurunan harga fungsi dielektrik kompleks yang cukup

besar terjadi dengan peningkatan komposisi karbon dari $x=0.08$ ke $x=0.23$ dan $x=0.35$ ke $x=0.40$, sedangkan berkurangnya harga fungsi dielektrik kompleks untuk peningkatan komposisi $x=0.23$ ke $x=0.35$ tidak terlalu besar. Hal ini memperkuat perkiraan tentang kemiripan karakteristik optis lapisan tipis $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ dengan komposisi karbon $x=0.28$ dan $x=0.35$.

Gambar 5a. Lebar gap E_g sebagai fungsi komposisi karbon x lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge*

Gambar 5b. Parameter B sebagai fungsi komposisi karbon x lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge*

Lebar gap optis E_g dapat diperoleh dari plot kurva koefisien absorpsi optis α (E) dengan menggunakan formulasi Tauc [10]. Plot tersebut juga menghasilkan parameter lain (disimbolkan dengan huruf B) yang dihubungkan oleh Mott dan Davis [11] dengan lebar daerah *tail* di pita konduksi. Lebar gap optis E_g hasil formulasi Tauc [10] untuk lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H dengan metode *glowdischarge* diperlihatkan pada Gambar 5a. Gambar tersebut memperlihatkan peningkatan lebar gap optis E_g dengan peningkatan komposisi karbon x . Seperti halnya besaran optis sebelumnya, peningkatan lebar gap optis dengan bertambahnya komposisi karbon x terjadi cukup besar untuk $x=0.08$ ke $x=0.23$ dan $x=0.35$ ke $x=0.40$, sedangkan peningkatan lebar gap optis tidak terlalu besar untuk peningkatan komposisi karbon dari $x=0.23$ ke $x=0.35$. Pengaruh peningkatan komposisi karbon x terhadap parameter B diperlihatkan pada Gambar 5b. Gambar tersebut memperlihatkan harga parameter B yang cenderung berkurang dengan peningkatan komposisi karbon x .

Berkurangnya indeks bias dengan peningkatan komposisi karbon x juga diperoleh beberapa peneliti untuk metode deposisi *glowdischarge* [12-15], dan metode *PECVD* (*plasma enhance chemical vapour deposition*) [16-18]. Pergeseran koefisien absorpsi optis α (E) dengan peningkatan komposisi karbon x diperoleh juga oleh beberapa peneliti dengan metode *glowdischarge* [14], metode *PECVD* [19] dan metode *sputtering* [20,21]. Berkurangnya indeks bias sering dihubungkan dengan berkurangnya densitas lapisan tipis, sedangkan pergeseran koefisien absorpsi optis α (E) dihubungkan dengan bertambah lebar daerah energi yang dapat diabsorpsi lapisan tipis. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5a yang memperlihatkan pengaruh peningkatan komposisi karbon x terhadap peningkatan lebar gap optis. Peningkatan komposisi karbon x berpengaruh terhadap *disorder* lapisan tipis yang dapat dilihat melalui variasi parameter B terhadap komposisi karbon x (Gambar 5b). Berkurangnya parameter B berhubungan dengan peningkatan lebar daerah *tail* di pita konduksi, sedangkan peningkatan lebar daerah *tail* memiliki relasi dengan dengan *disorder* jaringan amorf. Beberapa peneliti menghubungkan hal ini dengan perubahan distribusi sudut ikatan jaringan amorf [22,23], dengan demikian dapat dikatakan bahwa peningkatan komposisi karbon menambah distorsi sudut ikatan jaringan amorf pada lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H. Hal ini dapat dimengerti bahwa penambahan karbon dalam lapisan tipis akan meningkatkan jumlah ikatan Si-C.

Peningkatan komposisi karbon x berpengaruh pada besaran optis indeks bias, koefisien absorpsi optis dan fungsi dielektrik kompleks lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H, walaupun demikian pengaruh yang berbeda terjadi pada peningkatan komposisi karbon dari $x=0.23$ ke $x=0.35$ yang cenderung lebih kecil dibandingkan peningkatan komposisi x dari $x=0.08$ ke $x=0.23$ dan $x=0.35$ ke $x=0.40$, dengan demikian diperkirakan tidak hanya karbon yang berpengaruh pada besaran optis lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H. Variasi komposisi lapisan tipis pada penelitian ini diperoleh dengan melakukan variasi gas metan yang dimasukkan ke dalam ruang deposisi, dengan demikian peningkatan jumlah gas metan akan meningkatkan jumlah karbon dan hidrogen yang terlibat dalam proses deposisi. Oleh karena itu perbedaan kecenderungan di atas dapat dijelaskan sebagai pengaruh dari jumlah hidrogen dalam lapisan tipis tersebut. Hal ini juga

diperoleh pada penelitian sebelum ini [24-26] untuk lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H yang dideposisi dengan metode *sputtering* yakni baik karbon maupun hidrogen berpengaruh pada besaran optis.

4. Kesimpulan

Karakteristik optis lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi metode *glowdischarge* terhadap peningkatan komposisi karbon x memperlihatkan perubahan yang cukup signifikan dari $x=0.08$ ke $x=0.23$ dan $x=0.35$ ke $x=0.40$ berupa penurunan harga indeks bias n , pergeseran koefisien absorpsi optis α , peningkatan gap optis dan berkurangnya harga fungsi dielektrik bagian riil dan imajiner. Sedangkan pengaruh peningkatan komposisi karbon x terhadap keteraturan jaringan amorf memperlihatkan penambahan *disorder* jaringan amorf. Besaran optis lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah karbon dalam lapisan tipis tetapi juga hidrogen yang diperkirakan ikut memberikan kontribusi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan hibah tim penelitian proyek URGE Batch III dengan nomor kontrak 005/HTPP-III/URGE/1997 dan kerja sama Universitas Indonesia (Indonesia) dengan International Bureau of BMBF (Germany).

Daftar Acuan

- [1] G. Ambrosone, U. Coscia, S. Lettieri, P. Maddalena, C. Privato, S. Ferrero, *Thin Solid Films* 403-404 (2002) 349.
- [2] G. Ambrosone, U. Coscia, S. Ferrero, F. Giorgis, P. Mandracci, C.F. Pirri, *Phil. Mag. B* 82 (2002) 35.
- [3] M. Fathallah, M. Mars, C.F. Pirri, E. Tresso, *Phil. Mag. B* 82 (2002) 1267.
- [4] P.I. Rovira and F. Alvarez, *Phys. Rev. B* 55 (1997) 4426
- [5] M.J. Bullot, M.P. Schmidt, *Phys. Stat. Sol. (b)* 143 (1987) 345.
- [6] S. Trusso, C. Vasi, F. Barreca dan F. Neri, *J. Vac. Sci. Technol. A* 16 (1998) 3020
- [7] Dewi Marianty, Lusitra Munisa, Rosari Saleh, *Makara Seri Sains* 5 (2001) 51.
- [8] Rosari Saleh, Lusitra Munisa, Dewi Marianty, *Makara Seri Sains* 6 (2002) 59.
- [9] R. Swanepoel, *J. Phys. E* 16 (1983) 1214.
- [10] J. Tauc, R. Grigorovici, A. Vancu, *Phys. Status Solidi* 15 (1966) 627.
- [11] N.F. Mott, E.A. Davis, *Electronic Process in Non-Crystalline Materials*, 2nd Ed., Clarendon, Oxford, 1979.
- [12] H. Herremans, W. Grevendonk, R.A.C.M.M. van Swaaij, W.G.J.H.M. van Sark, A.J.M. Berntsen, W.M. Arnold Bik, J. Bezemer, *Phil Mag. B* 66 (1992) 787.
- [13] I. Solomon, M.P. Schmidt, H. Tran-Quoc, *Phys. Rev. B* 38 (1988) 9895.
- [14] J. Sotiropoulos, G. Weiser, *J. Non-Cryst. Solids* 92 (1987) 8089.
- [15] K. Mui, D.K. Basa, F.W. Smith, R. Corderman, *Phys. Rev. B* 35 (1987) 8089.
- [16] W.K. Choi, Y.M. Chan, C.H. Ling, Y. Lee, R. Gopalakrishnan, K.L. Tan, *J. Appl. Phys.* 77 (1995) 827.
- [17] E. Pascual, J.L. Andújar, J.L. Fernández, E. Bertran, *Diamond Relat. Mater.* 4 (1995) 1205.
- [18] F. Demichelis, F. Giorgis, C.F. Pirri, E. Tresso, *Phil. Mag. A* 72 (1995) 913.
- [19] I. Peyrera, M.N.P. Carreño, M.H. Tabackniks, R.J. Prado, M.C.A. Fantini, *J. Appl. Phys.* 84 (1998) 2371.
- [20] A. Morimoto, T. Miura, M. Kumeda, T. Shimizu, *J. Appl. Phys.* 53 (1982) 7299.
- [21] N. Saito, N. Tanaka, I. Nakaaki, *Apl. Phys. A* 38 (1985) 37.
- [22] R. Tsu, P. Menna, H. Mahan, *Solar Cells* 21 (1987) 189.
- [23] D.K. Basa, *Thin Solid Films* 250 (1994) 187.
- [24] Rosari Saleh, Lusitra Munisa, *Kontribusi Fisika Indonesia* 14 (2003) 39
- [25] Lusitra Munisa, Rosari Saleh, *Jurnal Fisika Indonesia* 7 (2003) 21.
- [26] R. Saleh, L. Munisa, W. Beyer, F. Finger, R. Carius, *Physics Journal-Indonesian Physical Society* 2 (1999) 41.