

PENGARUH ANIL TERMAL TERHADAP BESARAN OPTIS LAPISAN TIPIS a-SiC:H HASIL METODE DC SPUTTERING I. TARGET SILIKON

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

Pengaruh perlakuan anil termal terhadap besaran optis lapisan tipis amorf silikon karbon yang dideposisi menggunakan target silikon dalam campuran gas argon, metan dan hidrogen dipelajari dengan menggunakan spektroskopi *ultra violet-visible* (*uv-vis*). Baik n maupun α , demikian pula bagian riil dan imajiner fungsi dielektrik cukup bervariasi terhadap peningkatan temperatur anil sampai 500 °C, dengan perubahan terbesar terjadi pada temperatur anil 300 °C. Lapisan tipis cenderung meningkat densitasnya dengan peningkatan temperatur anil sampai 500 °C. Gap optis memperlihatkan sedikit peningkatan dengan pemberian perlakuan anil sedangkan *disorder* jaringan amorf berkurang. Pemberian perlakuan anil menghasilkan pengaturan kembali jaringan amorf yang disebabkan terjadinya pemutusan ikatan hidrogen (Si-H dan C-H).

Abstract

The Effect of Thermal Annealing on the Optical Properties of a-SiC:H Films Produced by DC Sputtering Methods: I. Silicon Target Case. The effects of thermal annealing treatment on the optical properties of amorphous silicon carbon films deposited by silicon target in an argon, methane and hydrogen gas mixture have been studied using ultra violet-visible (*uv-vis*) spectroscopy. Both n and α , and consequently the real and imaginary parts of the dielectric constant, show a considerable variation with subsequent annealing up to annealing temperature 500 °C, with the most rapid changes occurring for temperature 300 °C. The films tend denser as the annealing temperature increased up to 500 °C. The optical gap improved slightly upon annealing, where as the disorder of the amorphous network reduced. The annealing treatment produces reorganization of the amorphous network since thermal annealing results in dissociation of hydrogenated bonds (Si-H and C-H).

Keywords: optical constants, amorphous silicon carbon, sputtering, thermal annealing, hydrogen, void

1. Pendahuluan

Kualitas lapisan tipis yang lebih baik secara umum dapat diperoleh dengan deposisi lapisan tipis yang melibatkan temperatur substrat yang tinggi, walaupun demikian hal ini tidak selalu dapat diaplikasikan dalam setiap proses deposisi. Aplikasi lapisan tipis yang membutuhkan substrat terbuat dari plastik tidak memungkinkan dilakukannya proses deposisi pada temperatur tinggi [1]. Oleh karena itu diperlukan modifikasi lapisan tipis setelah proses deposisi untuk mengatasi keterbatasan kondisi dan metode deposisi yang digunakan. Salah satu cara modifikasi dilakukan melalui pemberian perlakuan anil sehingga dapat diperoleh lapisan tipis dengan karakteristik yang lebih baik.

Perlakuan anil dapat dilakukan secara termal maupun menggunakan cahaya (misalnya *laser*), dan dalam proses melakukannya perlu dipertimbangkan kemungkinan terjadinya oksidasi pada lapisan tipis disebabkan oleh kehadiran oksigen di lingkungan sekitar. Oleh karena itu proses anil sebaiknya dilakukan dalam kondisi vakum. Selain itu

memberian perlakuan anil biasanya dilakukan secara bertahap. Tahapan-tahapan tersebut dapat menghasilkan pengaruh yang berbeda terhadap karakteristik lapisan tipis, dengan demikian terdapat berbagai kemungkinan modifikasi dengan perlakuan anil yang dapat dilakukan pada lapisan tipis untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik.

Lapisan tipis a-SiC:H memiliki kelebihan dibandingkan lapisan tipis a-Si:H yang telah banyak diaplikasikan pada berbagai piranti optoelektronik [2-3]. Kehadiran karbon dalam lapisan tipis a-SiC:H dapat meningkatkan gap optis sehingga lapisan tipis ini memiliki prospek dalam aplikasi yang melibatkan gap optis yang lebih besar dari gap optis a-Si:H. Penelitian ini akan mempelajari pengaruh perlakuan anil termal terhadap karakteristik optis lapisan tipis a-SiC:H yang dideposisi dengan menggunakan target silikon. Relasinya dengan kondisi deposisi juga akan didiskusikan lebih lanjut.

2. Eksperimental

Lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil deposisi metode *dc sputtering* menggunakan target silikon tipe-*n* dalam atmosfer gas metan, argon dan hidrogen. Karbon diperoleh dari gas metan, sedangkan hidrogen diperoleh dari gas metan dan hidrogen. Lapisan tipis dideposisi di atas substrat *corning 7059* pada temperatur substrat dan daya konstan 200 °C dan 200 Watt. Perlakuan anil termal diberikan dalam kondisi vakum untuk temperatur 300 sampai 500°C menggunakan tabung gelas kuarsa. Anil pertama dilakukan pada temperatur 300°C selama 1 jam kemudian lapisan tipis didinginkan sampai temperatur ruang lalu dilakukan pengukuran optis, lapisan tipis dianil selama 1 jam untuk temperatur berikutnya dengan kenaikan temperatur anil 100°C, demikian seterusnya sampai tercapai temperatur anil 500°C, dengan demikian lapisan tipis yang diberi label “dianil temperatur 500°C” telah mengalami pengaruh kumulatif dari anil 300, 400 dan 500°C. Spektrum transmisi dan formulasi Swanepoel digunakan untuk memperoleh besaran optis indeks bias riil *n* dan koefisien absorpsi optis α sebagai fungsi energi yang diikuti dengan prosedur iterasi seperti telah dikemukakan pada penelitian sebelumnya [4]. Fungsi dielektrik bagian riil ϵ_1 dan imajiner ϵ_2 diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

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

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

Fungsi dielektrik kompleks ϵ tersebut diperoleh dari kedua besaran optis *n* dan α yang telah memenuhi relasi Kramers-Kronig melalui prosedur *fitting* dengan formulasi Forouhi dan Bloomer, seperti telah dikemukakan pada penelitian sebelumnya [5]. Penentuan besaran-besaran optis di atas memerlukan harga ketebalan lapisan tipis yang pada penelitian ini diperoleh dari profilometer DEKTAK 3030. Komposisi lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H diketahui dengan teknik EPMA (*electron probe microanalysis*) dengan menggunakan referensi kristal SiC berkomposisi stoikiometri.

3. Hasil dan Pembahasan

Perlakuan anil termal terhadap lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi target silikon diberikan untuk komposisi $x=0.06$, dengan demikian lapisan tipis tersebut dapat dikatakan berada dalam kondisi silikon dominan ($x<0.5$). Gambar 1a memperlihatkan hasil penentuan indeks bias sebagai fungsi energi $n(E)$ hasil pengukuran transmisi yang diolah dengan formulasi Swanepoel dan prosedur iterasi [4]. Gambar tersebut memperlihatkan kurva $n(E)$ lapisan tipis sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal 300, 400 dan 500 °C. Kurva $n(E)$ memperlihatkan kecenderungan naik dengan peningkatan temperatur anil sampai 500 °C. Perlakuan anil diberikan hanya sampai temperatur

Gambar 1a. Kurva $n(E)$ untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon sebelum (\circ) dan setelah diberi perlakuan anil 300 (\square), 400 (\mathcal{R}), 500 $^{\circ}\text{C}$ (\odot)

Gambar 1b. Indeks bias n di energi 1.6 eV (\circ) dan 1.8 eV (\mathcal{R}) sebagai fungsi temperatur anil untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon.

Gambar 2. Kurva koefisien absorpsi optis $\alpha(E)$ untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon sebelum (\circ) dan setelah diberi perlakuan anil 300 (\square), 400 (\mathcal{R}), 500 $^{\circ}\text{C}$ (\diamond)

Gambar 3a. Gap optis E_g sebagai fungsi temperatur anil untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon.

Gambar 3b. Parameter B sebagai fungsi temperatur anil untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon.

500 °C karena pemberian perlakuan anil untuk temperatur selanjutnya dapat menyebabkan perubahan struktur pada substrat, yang dapat memberikan kontribusi tambahan terhadap perubahan struktur lapisan tipis. Bentuk dan *slope* kurva $n(E)$ relatif tidak memperlihatkan perubahan terhadap peningkatan temperatur anil. Kecenderungan peningkatan indeks bias dengan bertambahnya temperatur anil dapat dilihat lebih jelas dengan memilih indeks bias pada harga energi tertentu, misalnya $E=1.6$ eV dan 1.8 eV. Gambar 1b memperlihatkan relasi indeks bias terhadap temperatur anil di energi 1.6 dan 1.8 eV. Gambar tersebut memperlihatkan lebih jelas peningkatan indeks bias yang cukup besar terjadi pada awal pemberian perlakuan anil termal 300 °C kemudian indeks bias meningkat secara bertahap dengan bertambahnya temperatur anil hingga 500 °C. Peningkatan harga indeks bias dengan peningkatan temperatur anil telah diperoleh sebelum ini oleh Friessnegs dkk. [6] dan Volkov dkk. [7]. Peningkatan indeks bias seringkali dihubungkan dengan bertambahnya densitas lapisan tipis.

Seperti telah dikemukakan pada penelitian sebelumnya bahwa indeks bias sebagai fungsi energi dapat digunakan untuk memperoleh besaran optis lainnya yaitu koefisien absorpsi optis α [4]. Koefisien absorpsi optis sebagai fungsi energi $\alpha(E)$ dari lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H yang dideposisi dengan target silikon diperlihatkan pada Gambar 2 untuk lapisan tipis dengan $x=0.06$ sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal 300 , 400 dan 500 °C. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa kurva $\alpha(E)$ tidak terlalu bervariasi terhadap perlakuan anil sampai temperatur 500 °C, walaupun demikian kurva $\alpha(E)$ memperlihatkan sedikit pergeseran ke energi yang lebih tinggi dengan meningkatnya temperatur anil. Kecenderungan seperti ini juga diperoleh Demichelis dkk [8]. Relasi koefisien absorpsi optis $\alpha(E)$ dengan lebar gap optis telah dikemukakan oleh Tauc dkk [9] sebagai berikut :

$$(\alpha E)^{1/2} = B^{1/2} (E - E_{Tauc}) \quad (3)$$

dengan E_{Tauc} merupakan gap optis yang diperoleh dari ekstrapolasi kurva $(\alpha E)^{1/2}$ ke $\alpha=0$, sedangkan parameter B merupakan gradien kurva tersebut, yang sering dihubungkan dengan lebar daerah *tail*. Gap optis E_{Tauc} sebagai fungsi temperatur anil diperlihatkan pada Gambar 3a. Gap optis E_{Tauc} merefleksikan kecenderungan kurva $\alpha(E)$ terhadap temperatur anil yang tidak terlalu bervariasi terhadap peningkatan temperatur anil, walaupun memperlihatkan sedikit pergeseran ke energi yang lebih tinggi dengan bertambahnya temperatur anil, sedangkan harga parameter B yang merefleksikan *slope* kurva $\alpha(E)$ memperlihatkan kecenderungan naik dengan bertambahnya temperatur anil seperti terlihat pada Gambar 3b.

Bagian riil fungsi dielektrik kompleks $\epsilon_1(E)$ dari lapisan tipis a-Si_{1-x}C_x:H hasil deposisi target silikon untuk $x=0.06$ sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal 300 , 400 dan 500 °C diperlihatkan pada Gambar 4a, sedangkan bagian imajineranya $\epsilon_2(E)$ diperlihatkan pada Gambar 4b. Bentuk kurva $\epsilon_1(E)$ dan $\epsilon_2(E)$ merupakan kurva yang mulus dan kontinu terhadap energi baik sebelum maupun setelah diberi perlakuan anil, dengan demikian bentuk kurva $\epsilon_1(E)$ dan $\epsilon_2(E)$ tidak terlalu bervariasi terhadap peningkatan perlakuan anil. Berbeda dengan tinggi kurva $\epsilon_1(E)$ dan $\epsilon_2(E)$ yang cukup bervariasi dengan pemberian perlakuan anil. Maksimum kurva $\epsilon_1(E)$ dan $\epsilon_2(E)$ terlihat bertambah dengan peningkatan temperatur anil sampai 500 °C. Seperti telah dikemukakan oleh Carbone dkk. [10] bahwa relasi ϵ_1 terhadap energi maupun temperatur anil merefleksikan n^2 karena harga $n \gg k$. Peningkatan yang cukup besar dengan pemberian perlakuan anil 300 °C yang terjadi pada indeks bias n juga terlihat pada kurva $\epsilon_1(E)$. Kurva $\epsilon_2(E)$ juga memperlihatkan kenaikan

Gambar 4a. Kurva ϵ_1 (E) lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 (□), 400 (⊗), 500 °C (◇).

maksimum kurva dengan bertambahnya temperatur anil. Hal ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh Carbone dkk [10].

Peningkatan indeks bias n dengan bertambahnya temperatur anil berhubungan dengan peningkatan densitas lapisan tipis. Peningkatan densitas lapisan tipis a-SiC:H sering dihubungkan oleh beberapa peneliti [1,11-15] dengan kehadiran *void* yang berhubungan dengan hidrogen. Menurut Gracin dkk [15] peningkatan temperatur anil sampai 400 °C akan memutuskan ikatan hidrogen baik ikatan Si-H maupun ikatan C-H dan terbentuk ikatan Si-C dan C-C. Berdasarkan hasil studi sebelum ini saat mempelajari struktur ikatan tetrahedral dengan ikatan homopolar dan heteropolar dengan menggunakan model tetrahedron Mui-Smith [16] diketahui bahwa lapisan tipis a-SiC:H yang dideposisi dengan menggunakan target silikon ini memiliki sejumlah tertentu *void* yang bervariasi terhadap peningkatan *flowrate* gas metan [17]. Lapisan tipis yang digunakan dalam penelitian ini memiliki jumlah *void* yang paling rendah [17]. Oleh karena itu peningkatan temperatur anil terhadap terputusnya ikatan hidrogen dapat mengurangi jumlah *void* dan meningkatkan densitas lapisan tipis. Berkurangnya jumlah *void* dengan terputusnya ikatan hidrogen dijelaskan oleh Demichelis dkk [8] sebagai berkurangnya *dangling bond* dengan pemberian perlakuan anil termal. Pemberian perlakuan anil lebih besar dari 300 °C akan menyebabkan lapisan tipis a-SiC:H kehilangan hidrogen. Rekonstruksi permukaan pada *void* terjadi dengan mekanisme bahwa kebanyakan posisi *dangling bond* memiliki dua *spin* antipararel, sedangkan posisi yang lain tidak memiliki hal tersebut [8] atau ikatan antara *dangling bond* cenderung merupakan ikatan molekular yang lemah seperti dikemukakan oleh Connel dan Pawlik [18].

Walaupun koefisien absorpsi optis α tidak memperlihatkan variasi yang besar terhadap peningkatan temperatur anil tetapi kurva $\alpha(E)$ mengalami pergeseran kecil ke energi yang lebih tinggi, dengan demikian lebar gap optis mengalami

Gambar 4b. Kurva ϵ_2 (E) lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 (□), 400 (⊗), 500 °C (◇).

peningkatan dengan bertambahnya temperatur anil. Pergeseran ke energi yang lebih tinggi meningkatkan daerah transparansi lapisan tipis. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kim dan Lee [1] bahwa secara umum lapisan tipis menjadi lebih transparan dengan peningkatan temperatur anil.

Relasi parameter B dengan lebar daerah *tail* berbanding terbalik, dengan demikian peningkatan harga parameter B berhubungan dengan berkurangnya lebar daerah *tail*. Berkurangnya lebar daerah *tail* berhubungan dengan berkurangnya *disorder* jaringan amorf, dengan demikian peningkatan temperatur anil meningkatkan keteraturan jaringan amorf lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon. Hal ini juga dikemukakan oleh Basa [11] yang menyatakan bahwa berkurangnya *slope* kurva koefisien absorpsi optis α dan peningkatan gap optis pada lapisan tipis a-Si dan *alloy* a-Si:H akan mengurangi lebar *tail* dan meningkatkan keteraturan jaringan amorf. Tsu dkk [19] menghubungkan parameter B dengan distribusi sudut ikatan jaringan amorf, sedangkan Basa [11] menghubungkan lebar daerah *tail* dengan distorsi sudut ikatan jaringan amorf. Jika lebar *tail* berkurang dengan peningkatan temperatur anil maka dapat dikatakan bahwa tidak terjadi distorsi sudut ikatan jaringan amorf yang terlalu besar pada lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon dengan pemberian perlakuan anil termal.

4. Kesimpulan

Pengaruh peningkatan temperatur anil terhadap lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon memperlihatkan peningkatan karakteristik optis melalui peningkatan gap optis. Selain itu secara struktur, pengaruh peningkatan perlakuan anil termal juga mengurangi *disorder* jaringan amorfnya dan meningkatkan densitas lapisan tipis melalui berkurang *void* dan *dangling bond*.

Ucapan Terima Kasih

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

Daftar Acuan

- [1] D.S. Kim, Y.H. Lee, *Thin Solid Films* 261 (1995) 192.
- [2] G. Ambrosone, U. Coscia, S. Ferrero, F. Giorgis, P. Mandracci, C.F. Pirri, *Phil. Mag. B* 82 (2002) 35.
- [3] G. Ambrosone, U. Coscia, S. Lettieri, P. Maddalena, C. Privato, S. Ferrero, *Thin Solid Films* 82 (2001) 35.
- [4] Dewi Marianty, Lusitra Munisa, Rosari Saleh, *Makara Seri Sains* 5 (2001) 51.
- [5] Rosari Saleh, Lusitra Munisa, Dewi Marianty, *Makara Seri Sains* 6 (2002) 59.
- [6] T. Friessneg, M. Boudreau, J. Brown, P. Mascher, P.J. Simpson, W. Puff, *J. Appl. Phys.* 80 (1996) 2216.
- [7] A.S. Volkov, H. Herremans, W. Grevendonk, V. Baptist, S.V. Chernyshov, O.I. Konjokov, W. Lauwerens, G.J. Adriaenssens, *Solid State Commun.* 80 (1991) 383.
- [8] F. Demichelis, C.F. Pirri, E. Tresso, G. Benedetto, *Phil. Mag. B* 63 (1991) 1223.
- [9] J. Tauc, R. Grigorovici, A. Vancu, *Phys. Status Solidi* 15 (1966) 627.
- [10] A. Carbone, F. Demichelis, G. Kaniadakis, *J. Non-Cryst. Solids* 128 (1991) 139.
- [11] D.K. Basa, *Thin Solid Films* 250 (1994) 187.
- [12] D. Gracin, M. Ivanda, S. Lugomer, N. Radić, U.V. Desnica, *Appl. Surf. Sci.* 70-71 (1993) 686.
- [13] J.-H. Chen, W.-J. Sah, S.-C. Lee, *J. Appl. Phys.* 70 (1991) 125.
- [14] D.K. Basa, F.W. Smith, *Thin Solid Films* 192 (1990) 121.
- [15] D. Gracin, N. Radić, M. Ivanda, Ž. Andreić, B. Praček, *Thin Solid Films* 317 (1998) 206.
- [16] K. Mui, F.W. Smith, *Phys. Rev. B* 35(1987) 8080
- [17] Mersi Kurniati, Lusitra Munisa, Rosari Saleh, *Makara Seri Sains* 5 (2001) 62.
- [18] G.A.N. Connel, J.R. Pawlik, *Phys. Rev. B* 16 (1977) 3556.
- [19] R. Tsu, P. Menna, H. Mahan, *Solar Cells* 21 (1987) 189.