

# PENGARUH ANIL TERMAL TERHADAP BESARAN OPTIS LAPISAN TIPIS a-SiC:H HASIL METODE DC SPUTTERING

## II. TARGET GRAFIT

Rosari Saleh<sup>1</sup>, Lusitra Munisa<sup>2</sup> dan Dewi Marianty<sup>1</sup>

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

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

### Abstrak

Studi tentang pengaruh anil termal terhadap besaran optis dan *disorder* lapisan tipis amorf silikon karbon terhidrogenasi (a-SiC:H) telah dilakukan. Lapisan tipis dihasilkan dengan teknik deposisi *sputtering* menggunakan target grafit dan *wafer* silikon yang dilakukan dalam campuran gas argon dan hidrogen, kemudian dikarakterisasi dengan spektroskopi *uv-vis (ultra violet-visible)* sebelum dan setelah diberikan perlakuan anil termal. Indeks bias  $n$  dan koefisien absorpsi  $\alpha$  diperoleh dari hasil pengukuran transmitansi. Gap optis memperlihatkan sedikit variasi terhadap temperatur anil, yakni meningkat dengan bertambahnya temperatur anil sampai 500 °C. Kenaikan temperatur anil menyebabkan densitas lapisan tipis berkurang dan demikian pula *disorder* jaringan amorfnya. Hasil eksperimen akan didiskusikan dalam hubungannya dengan kondisi deposisi dan hasil eksperimen lain.

### Abstract

**The Effect of Thermal Annealing on the Optical Properties of a-SiC:H Films Produced by DC Sputtering Methods: I. Graphite Target Case.** A study of the annealing effect on optical properties and disorder of hydrogenated amorphous silicon carbon (a-SiC:H) films was undertaken. The films were prepared by sputtering technique using graphite target and silicon wafer in argon and hydrogen gas mixture, and then characterized by *uv-vis (ultra violet-visible)* spectroscopy before and after annealing. Index of refraction  $n$  and absorption coefficient  $\alpha$  of films have been determined from measurements of transmittance. The optical gap show small variation with annealing temperature, increasing with increasing annealing temperature up to 500 °C. An increase of annealing temperature leads to reduced film density and the amorphous network disorder. The experimental results are discussed in terms of deposition condition and compared to other experimental results.

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

## 1. Pendahuluan

Sistem amorf lapisan tipis a-SiC:H telah banyak diteliti dalam usaha mempelajari karakteristik struktur, optis dan listrik fundamentalnya, akan tetapi hasil-hasil riset tersebut menimbulkan kontroversi disebabkan karakteristik sistem amorf lapisan tipis a-SiC:H sangat dipengaruhi kondisi [1] dan pemilihan metode deposisi [2]. Perbedaan kondisi dan metode deposisi dapat menghasilkan konfigurasi struktur ikatan yang berbeda, dengan demikian menghasilkan lapisan tipis dengan karakteristik yang berbeda pula.

Hidrogen pada sistem amorf lapisan tipis a-SiC:H berperan penting karena bertindak sebagai terminator *dangling bonds*. Peningkatan karakteristik lapisan tipis a-SiC:H yang lebih baik dapat dilakukan melalui pemberian perlakuan anil termal, akan tetapi perlakuan tersebut dapat menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen. Demichelis dkk [3] mendapatkan bahwa ikatan hidrogen akan terputus jika amorf silikon karbon dipanaskan cukup tinggi (>300 °C).

Penelitian ini akan mempelajari pengaruh pemberian perlakuan anil termal terhadap besaran optis lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *dc-sputtering* menggunakan target grafit. Relasi perlakuan anil dengan terputusnya ikatan hidrogen akan dihubungkan dengan kondisi deposisi dan dibandingkan dengan hasil-hasil eksperimen lainnya.

## 2. Eksperimental

Lapisan tipis amorf silikon-karbon (a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H) diperoleh dari hasil deposisi metode *dc sputtering* di atas substrat *corning* 7059. Grafit berkemurnian 5N digunakan sebagai sumber karbon sedangkan sebagai sumber silikon digunakan *wafer* silikon yang diletakkan di atas target grafit. Hidrogen diperoleh dengan melakukan deposisi dalam atmosfer gas argon dan hidrogen pada temperatur substrat 200 °C dan daya 200 W. Komposisi silikon dan karbon yang terjadi diketahui dengan teknik EPMA (*electron probe microanalysis*). Anil termal dilakukan dalam kondisi vakum untuk temperatur 300 sampai 500°C menggunakan tabung gelas kuarsa. Tahapan perlakuan anil diberikan untuk kenaikan setiap 100 °C dan dilakukan selama 1 jam. Pada setiap tahapan dilakukan pengukuran transmitansi di daerah 350-850 nm setelah lapisan tipis didinginkan sampai temperatur ruang. Sampel yang dianil sampai temperatur 500°C mengalami pengaruh kumulatif dari perlakuan anil 300, 400, 500°C. Pengukuran optis untuk memperoleh besaran optis indeks bias riil  $n$ , koefisien absorpsi optis  $\alpha$ , fungsi dielektrik kompleks  $\epsilon$  adalah pengukuran transmisi lapisan tipis di daerah energi 350-850 nm. Besaran-besaran optis tersebut diperoleh dengan mengolah spektrum transmisi menggunakan beberapa formulasi, prosedur *fitting* maupun iterasi yang telah dikemukakan pada penelitian sebelum ini serta hasil pengukuran ketebalan lapisan tipis yang diperoleh dari *profilometer* [4,5].

## 3. Hasil dan Pembahasan

Indeks bias riil  $n$  sebagai fungsi energi lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H dengan komposisi  $x=0.30$ , yang diperoleh dari formulasi Swanepoel dan prosedur iterasi menggunakan spektrum transmisi [4] diperlihatkan pada Gambar 1a, sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal

**Gambar 1. Kurva  $n(E)$  untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 (□), 400 (♣), 500 °C (⊙)**

300, 400 dan 500 °C. Gambar tersebut memperlihatkan indeks bias riil  $n(E)$  yang cenderung berkurang dengan bertambahnya temperatur anil hingga 500 °C. Pemberian perlakuan anil termal sampai temperatur 300 °C belum memberikan pengaruh yang cukup besar karena indeks bias masih relatif konstan setelah diberi perlakuan anil 300 °C, dibandingkan sebelum diberi perlakuan anil. Seperti telah dikemukakan sebelum ini, perlakuan anil termal pada lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H hanya diberikan sampai temperatur 500 °C [6] agar tidak terjadi perubahan struktur pada substrat yang disebabkan perlakuan anil. Perubahan struktur pada substrat dengan memberi perlakuan anil di atas temperature 500 °C dapat memberi kontribusi tambahan terhadap perubahan struktur lapisan tipis. Berkurangnya harga indeks bias dengan peningkatan temperatur anil telah dikemukakan sebelum ini oleh Basa [7] sampai temperatur anil 550 °C.

Hasil  $n(E)$  yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk menghitung koefisien absorpsi optis  $\alpha$  sebagai fungsi energi seperti dikemukakan pada penelitian sebelum ini [4]. Gambar 1b memperlihatkan kurva  $\alpha(E)$  untuk lapisan tipis

a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H dengan komposisi  $x=0.30$ , sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal 300, 400 dan 500 °C. Gambar tersebut memperlihatkan pengaruh perlakuan anil termal terhadap pergeseran kurva  $\alpha(E)$  memperlihatkan kecenderungan bergeser ke energi yang lebih tinggi dengan meningkatnya temperatur anil. Pergeseran kurva  $\alpha(E)$  ke energi yang lebih tinggi dengan peningkatan temperatur anil juga diperoleh beberapa peneliti lain [3,8]. Bergesernya kurva  $\alpha(E)$  ke energi yang lebih tinggi berhubungan dengan bertambah lebarnya jangkauan daerah transparansi lapisan tipis.

Lebar gap optis dan parameter  $B$  yang diperoleh dari koefisien absorpsi optis  $\alpha(E)$  dengan menggunakan

**Gambar 2. Kurva koefisien absorpsi optis  $\alpha(E)$  untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 ( $\square$ ), 400 ( $\blackplus$ ), 500 °C ( $\oplus$ )**

**Gambar 2a. Gap optis  $E_g$  sebagai fungsi temperatur anil untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit.**

**Gambar 3a. Kurva  $\varepsilon_1(E)$  lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 ( $\square$ ), 400 ( $\nabla$ ), 500 °C ( $\odot$ ).**

relasi Tauc dkk. [9] untuk lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H sebagai fungsi temperatur anil diperlihatkan pada Gambar 2a dan 2b. Peningkatan temperatur anil berpengaruh terhadap kenaikan gap optis, yang bersesuaian dengan bergesernya kurva  $\alpha(E)$  ke energi yang lebih tinggi, walaupun demikian seperti halnya koefisien absorpsi optis  $\alpha$ , pengaruh perlakuan anil termal juga tidak terlalu besar terhadap lebar gap optis, peningkatan temperatur anil sampai 500 °C hanya meningkatkan gap optis sebesar 0.12 eV.

Pengaruh peningkatan temperatur anil terhadap parameter  $B$  diperlihatkan pada Gambar 2b. Gambar tersebut memperlihatkan harga parameter  $B$  yang cenderung bertambah dengan peningkatan temperatur anil. Lebar daerah *tail* yang diwakili oleh parameter  $B$  berhubungan dengan *disorder* dari jaringan amorf, dengan demikian peningkatan harga parameter  $B$  lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H dengan bertambahnya temperatur anil berhubungan dengan berkurangnya *disorder* pada jaringan amorf lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H.

**Gambar 2b. Parameter  $B$  sebagai fungsi temperatur anil untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit.**

**Gambar 3b. Kurva  $\epsilon_2(E)$  lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit sebelum (o) dan setelah diberi perlakuan anil 300 ( $\square$ ), 400 ( $\nabla$ ), 500 °C ( $\odot$ ).**

Fungsi dielektrik bagian riil  $\epsilon_1$  dan imajiner  $\epsilon_2$  lapisan tipis a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H dengan komposisi  $x=0.3$  sebelum dan setelah diberi perlakuan anil termal 300, 400 dan 500 °C, diperlihatkan pada Gambar 3a dan 3b. Kedua gambar tersebut memperlihatkan kecenderungan kurva  $\epsilon_1(E)$  dan  $\epsilon_2(E)$  yang berkurang terhadap peningkatan temperatur anil. Pengaruh perlakuan anil terhadap  $\epsilon_1(E)$  belum terlihat sampai temperatur 300 °C, karena kurva  $\epsilon_1(E)$  cenderung konstan setelah diberi perlakuan anil termal 300 °C dibandingkan dengan sebelum diberi perlakuan anil termal. Hal ini bersesuaian dengan pengaruh perlakuan anil termal terhadap indeks bias  $n(E)$  seperti terlihat pada Gambar 1a. Seperti telah dikemukakan sebelum ini, bahwa fungsi dielektrik bagian riil  $\epsilon_1(E)$  merefleksikan kuadrat indeks bias  $n(E)$  dengan harga  $n \gg k$  [10, 11], dengan demikian pengaruh perlakuan anil terhadap kedua besaran optis tersebut memperlihatkan kecenderungan yang sama. Maksimum kurva fungsi dielektrik bagian imajiner  $\epsilon_2(E)$  memperlihatkan kecenderungan berkurang dengan peningkatan temperatur anil demikianpula dengan gradien kurva  $\epsilon_2(E)$ . Berkurangnya maksimum fungsi dielektrik bagian imajiner maupun bagian riil juga diperoleh Basa dan Bose [12] untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *rf glowdischarge* menggunakan campuran gas etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) dan silan (SiH<sub>4</sub>).

Berbeda dengan indeks bias lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target silikon yang memperlihatkan peningkatan dengan bertambahnya temperatur anil [6], berhubungan dengan peningkatan densitas lapisan tipis. Indeks bias lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit memperlihatkan kecenderungan berkurang dengan peningkatan temperatur anil, yang berhubungan dengan berkurangnya densitas lapisan tipis. Beberapa peneliti [13,14] menghubungkan berkurangnya densitas lapisan tipis dengan peningkatan *void* di dalam lapisan tipis. Basa [7] mengemukakan bahwa *void* terbentuk karena hidrogen keluar dari lapisan tipis akibat pemberian perlakuan anil termal sampai temperatur 550 °C. Terputusnya ikatan hidrogen baik dengan silikon maupun karbon karena pengaruh perlakuan anil telah diperoleh sebelum ini saat mempelajari spektrum inframerah lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi dengan target grafit yang diberi perlakuan anil termal hingga 1000 °C [15]. Kurva di sekitar 1900-2200 cm<sup>-1</sup> yang merupakan kontribusi vibrasi Si-H dan kurva yang merupakan kontribusi vibrasi C-H di sekitar 2800-3000 cm<sup>-1</sup> berkurang dengan peningkatan temperatur anil sampai 600 °C. Demichelis dkk. [3] menjelaskan bahwa pada tahap awal perlakuan anil berpengaruh terhadap berkurangnya *dangling bonds* dan menghasilkan pengaturan kembali jaringan amorf dan rekonstruksi *void* yang berhubungan dengan densitas lapisan tipis. Lapisan tipis a-SiC:H pada penelitian ini yang dideposisi dengan target grafit memiliki sejumlah besar *void*, seperti telah dipelajari pada penelitian sebelum ini [16]. Kuantitas *void* tersebut cenderung konstan dengan bertambahnya konsentrasi karbon. Hal ini disebabkan proses deposisi dengan target grafit melibatkan hidrogen konstan. Sejumlah besar *void* yang ada pada lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit sebelum diberi perlakuan anil termal, akan mengalami rekonstruksi.

Bergesernya kurva  $\alpha(E)$  ke energi yang lebih tinggi dengan meningkatnya temperatur anil, berhubungan dengan peningkatan gap optis maupun berkurangnya maksimum kurva  $\epsilon(E)$  terhadap peningkatan temperatur anil. Basa dan Bose [12] menjelaskan berkurangnya maksimum kurva  $\epsilon(E)$  berhubungan dengan digantikannya ikatan Si-Si yang lebih

lemah dengan ikatan yang lebih kuat seperti Si-C. Peningkatan ikatan Si-C dengan peningkatan temperatur anil telah diperoleh sebelum ini saat mempelajari spektrum inframerah lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi dengan target grafit [15]. Peningkatan temperatur anil sampai 600 °C menyebabkan berkurangnya kurva absorpsi spektrum

inframerah yang berhubungan dengan struktur ikatan Si-H dan C-H serta meningkatkan kurva absorpsi struktur ikatan Si-C [15].

Pengaruh perlakuan anil terhadap indeks bias dan fungsi dielektrik lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit memperlihatkan kecenderungan yang berbeda dengan hasil deposisi target silikon, dengan demikian dapat dikatakan bahwa struktur lapisan tipis yang dihasilkan target grafit berbeda dengan hasil target silikon, walaupun pengaruh perlakuan anil terhadap koefisien absorpsi optis, gap optis dan parameter  $B$  kedua lapisan tipis tersebut memperlihatkan kecenderungan yang sama. Hal ini juga memperlihatkan bahwa besaran optis indeks bias dan fungsi dielektrik lebih dipengaruhi oleh struktur lapisan tipis dibandingkan koefisien absorpsi optis, gap optis maupun parameter  $B$ . Hasil yang diperoleh saat mempelajari struktur ikatan tetrahedral dengan ikatan homopolar dan heteropolar menggunakan model tetrahedron Mui-Smith [17] memperlihatkan bahwa lapisan tipis a-SiC:H yang dideposisi dengan menggunakan target grafit memiliki sejumlah besar *void* yang cenderung konstan pada setiap konsentrasi karbon dan kuantitasnya lebih besar dibandingkan lapisan tipis hasil deposisi target silikon untuk konsentrasi karbon yang hampir sama. Hal ini dapat dimengerti karena hidrogen pada proses deposisi dengan target grafit diberikan dengan laju konstan dan ikatan homopolar C-C, dan C=C pada lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi target grafit mungkin terjadi [16]. Beberapa peneliti [18,19] mengatakan bahwa lapisan tipis hasil deposisi *sputtering* secara umum memiliki karakteristik *graphitic-like*, dengan sejumlah besar *cluster*  $sp^2$ .

#### 4. Kesimpulan

Pengaruh peningkatan temperatur anil terhadap beberapa besaran optis lapisan tipis a-SiC:H yang dideposisi dengan target grafit memperlihatkan peningkatan karakteristik lapisan tipis melalui peningkatan gap optis dan berkurangnya *disorder* jaringan amorfnya. Rekonstruksi jaringan amorf dengan pemberian perlakuan anil sampai 500 °C tidak dapat meningkatkan densitas lapisan tipis karena lapisan tipis telah mengandung sejumlah besar *void*, konfigurasi ikatan homopolar C-C dan konfigurasi ikatan  $sp^2$  C=C.

#### 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] J.A. Kalomiros, A. Papadopoulos, S. Logothetidis, L. Magafas, N. Georgoulas, A. Thanailakis, Phys. Rev. B 49 (1994) 8191.
- [2] G. Ambrosone, U. Coscia, S. Ferrero, F. Giorgis, P. Mandracci, C.F. Pirri, Phil. Mag. B 82 (2002) 35.
- [3] F. Demichelis, C.F. Pirri, E. Tresso, G. Benedetto, Phil. Mag. B 63 (1991) 1223.
- [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] Rosari Saleh, Lusitra Munisa, Dewi Marianty, Makara Seri Sains 7 (2003) 37.
- [7] D.K. Basa, Thin Solid Films 250 (1994) 187.
- [8] D.S. Kim, Y.H. Lee, Thin Solid Films 261 (1995) 192.
- [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] K. Mui, D.K. Basa, F.W. Smith, J. Appl. Phys. 59(1986) 582.
- [12] D.K. Basa, M. Bose, Thin Solid Films 298 (1997) 211.
- [13] A. Desalvo, F. Giorgis, C.F. Pirri, E. Tresso, P. Rava, R. Galloni, R. Rizzoli, C. Summonte, J. Appl. Phys. 81 (1997) 7973
- [14] R. A. C. M. M. van Swaaij, A. J. M. Berntsen, W.G. J.H. M. van Sark, H. Herremans, J. Bezemer dan W.F. van der Weg, J. Appl. Phys 76 (1994) 251
- [15] Lusitra Munisa, Rosari Saleh, Makara Seri Sains 5 (2001) 56.
- [16] Mersi Kurniati, Lusitra Munisa, Rosari Saleh, Makara Seri Sains 5 (2001) 62.

- [17] K. Mui, F.W. Smith, *Phy. Rev. B* 35(1987) 8080.
- [18] J. Robertson, *Adv. Phys.* 35 (1986) 317.
- [19] J. Robertson, E.P. O'Reilly, *Phys. Rev. B* 35 (1987) 2946.