

## PENGARUH PENINGKATAN FLOW RATE GAS METAN TERHADAP SIFAT OPTIS LAPISAN TIPIS AMORF SILIKON KARBON (a-SiC:H) HASIL DEPOSISI METODE DC SPUTTERING

Lusitra Munisa<sup>1</sup> dan Rosari Saleh<sup>2</sup>

1. Program Studi Ilmu Fisika, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia, Jakarta, 10430
2. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, 16424

E-mail: [rosari@email.globalinfo.net](mailto:rosari@email.globalinfo.net)

---

### Abstrak

Indeks bias ( $n$ ) dan koefisien absorpsi optis ( $\alpha$ ) lapisan tipis amorf silikon karbon terhidrogenasi (a-SiC:H) telah diteliti dari hasil pengukuran refleksi dan transmisi. Lapisan tipis a-SiC:H dihasilkan dengan metode deposisi *dc sputtering* menggunakan target silikon dalam campuran gas argon dan metan. Indeks bias ( $n$ ) berkurang dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Koefisien absorpsi optis ( $\alpha$ ) bergeser ke energi yang lebih tinggi dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Lapisan tipis cenderung makin tidak teratur dan memiliki gap optis yang lebih lebar pada *flow rate* gas metan tinggi. Relasi komposisi terhadap sifat-sifat optik lapisan tipis akan didiskusikan demikianpula terhadap ketidakteraturan jaringan amorf.

### Abstract

Methane Flow Rate Effects On The Optical Properties of Amorphous Silicon Carbon (a-SiC:H) Films Deposited By DC Sputtering Methods. We have investigated the refractive index ( $n$ ) and the optical absorption coefficient ( $\alpha$ ) from reflection and transmission measurements on hydrogenated amorphous silicon carbon (a-SiC:H) films. The a-SiC:H films were prepared by dc sputtering method using silicon target in argon and methane gas mixtures. The refractive index ( $n$ ) decreases as the methane flow rate increase. The optical absorption coefficient ( $\alpha$ ) shifts to higher energy with increasing methane flow rate. At higher methane flow rate, the films tend to be more disorder and have wider optical gap. The relation of the optical properties and the disorder amorphous network with the compositional properties will be discussed.

*Keywords: Refractive index, optical absorption coefficient, optical gap, amorphous silicon carbon, sputtering*

---

### Pendahuluan

Lapisan tipis amorf silikon karbon (a-SiC:H) diaplikasikan pada sel surya sebagai *window layer*, yakni lapisan tipe-*p* pada sel surya *p-i-n* berbasis a-Si:H [1]. Karakteristik optis lapisan tipis a-SiC:H penting untuk diketahui karena cahaya masuk pada sel surya melalui lapisan ini, sehingga diharapkan lebar gap optis lapisan ini cukup besar sehingga dapat melewati cahaya dalam jangkauan energi yang cukup besar [2-4]. Lebar gap optis lapisan tipis a-SiC:H dapat diperoleh lebih besar dari lapisan tipis a-Si:H dengan kehadiran karbon, selain itu kehadiran jumlah hidrogen juga berpengaruh pada peningkatan gap optis. Oleh karena itu komposisi sangat berpengaruh terhadap gap optis lapisan tipis a-SiC:H.

Informasi tentang gap optis lapisan tipis a-SiC:H dapat diperoleh dari koefisien absorpsi optis  $\alpha$  di daerah cahaya tampak, sedangkan koefisien absorpsi optis  $\alpha$  secara eksperimental dapat diketahui dari indeks bias

kompleks  $N=n-ik$  sebagai fungsi energi. Oleh karena itu kedua besaran optis  $\alpha$  dan  $n$  sebagai fungsi energi perlu diketahui dalam mempelajari karakteristik optis lapisan tipis a-SiC:H. Penelitian ini akan mempelajari kedua besaran optis tersebut untuk lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *dc sputtering* dari target silikon. Pengaruh variasi *flow rate* gas metan terhadap kedua besaran optis tersebut akan dipelajari dengan pengukuran reflektansi dan transmitansi spektroskopi UV-VIS. Relasi komposisi terhadap besaran optis dan karakteristik fisis lainnya akan didiskusikan lebih lanjut.

### Eksperimental

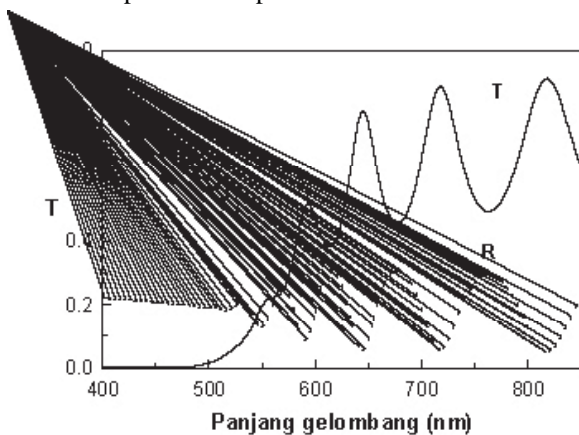
Lapisan tipis amorf silikon karbon (a-SiC:H) dideposisi dengan metode *dc sputtering* menggunakan target silikon berkemurnian 5N. Gas metan (CH<sub>4</sub>) digunakan sebagai sumber karbon dan hidrogen. Variasi komposisi yang berbeda diperoleh dengan melakukan variasi *flow rate* gas metan dari 4 sampai 12 sccm. Deposisi dilakukan di atas

substrat *corning* 7059 pada temperatur 200 °C dan daya 200 W. Sebelum proses deposisi, ruang dipompa sampai tercapai tekanan  $\sim 10^{-6}$  mbar. Spektrum transmitansi dan reflektansi diukur dengan spektroskopi UV-VIS untuk daerah panjang gelombang 350-800 nm dengan referensi substrat yang digunakan. Indeks bias diperoleh dari spektrum transmitansi dengan menggunakan formulasi Swanepoel [5]. Koefisien absorpsi optis diperoleh dari spektrum reflektansi dan transmitansi dengan menggunakan formulasi Hishikawa [6]. Penentuan kedua besaran optis tersebut memerlukan harga ketebalan lapisan tipis yang diperoleh dari profilometer DEKTAK. Teknik analisis *microprobe* dengan berkas elektron (*electron probe microanalysis/EPMA*) digunakan untuk memperoleh konsentrasi karbon dan silikon menggunakan referensi kristal SiC berkomposisi stoikiometri. Konsentrasi hidrogen diperoleh dari pengukuran efusi hidrogen dengan menggunakan spektrometer massa seperti dikemukakan sebelum ini [7].

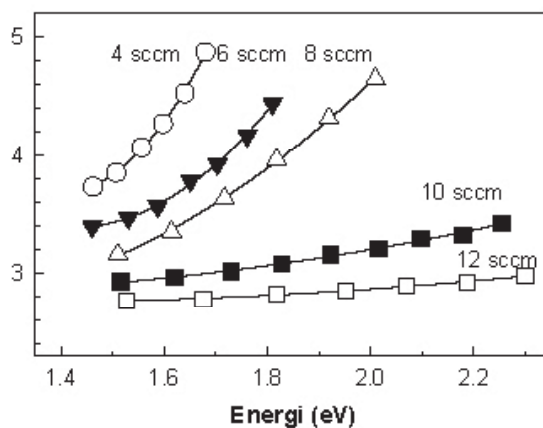
**Hasil dan Pembahasan**

Spektrum reflektansi dan transmitansi lapisan tipis amorf silikon karbon (a-SiC:H) hasil deposisi dengan metode *dc sputtering* untuk *flow rate* gas metan 8 sccm diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar tersebut memperlihatkan spektrum yang berosilasi terhadap panjang gelombang sebagai akibat dari interferensi karena perbedaan indeks bias antara substrat dengan lapisan tipis. Puncak maksimum dan minimum spektrum transmitansi dapat digunakan untuk memperoleh besaran optis indeks bias dengan formulasi yang diturunkan oleh Swanepoel [5]. Titik-titik diantara kedua puncak maksimum dan minimum diperoleh dengan prosedur iterasi bukan dengan teknik menggambar kurva atau pendekatan fungsi tertentu dari titik-titik maksimum dan minimum karena kedua hal tersebut dapat menimbulkan kesalahan [5]. Indeks bias lapisan tipis a-SiC:H untuk kelima variasi *flow rate* gas metan diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar tersebut

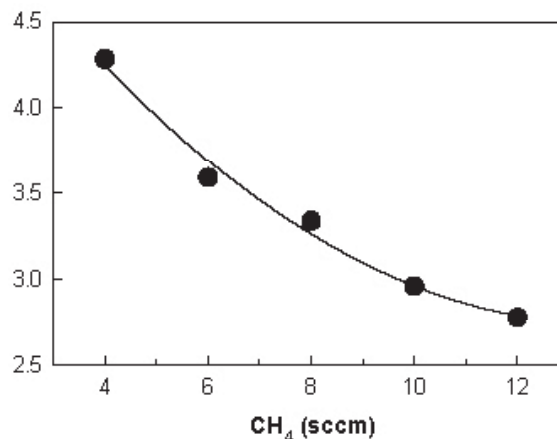
memperlihatkan indeks bias yang cenderung berkurang dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Selain itu dapat dilihat bahwa gradien kurva indeks bias sebagai fungsi energi  $n(E)$  berkurang dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Berkurangnya gradien kurva  $n(E)$  tidak terlalu besar sampai *flow rate* gas metan 8 sccm, di atas harga tersebut gradien berkurang cukup besar bahkan hampir datar untuk *flow rate* gas metan 10 dan 12 sccm. Kurva indeks bias  $n(E)$  yang diperoleh berada dalam energi yang terbatas sehingga akan dipilih satu harga energi yang dimiliki oleh kelima lapisan tipis, yakni  $E=1.6\text{eV}$  untuk mempelajari pengaruh peningkatan *flow rate* gas metan terhadap indeks bias, seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan penurunan indeks bias pada energi 1.6 eV dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Berkurangnya indeks bias pada lapisan tipis a-SiC:H dihubungkan oleh beberapa peneliti [8-11] dengan meningkatnya konsentrasi karbon. Herremans dkk [8] menghubungkan berkurangnya indeks bias dengan berkurangnya kepadatan/densitas lapisan tipis a-SiC:H. Camargo Jr. dkk [12] menghubungkan indeks bias dengan



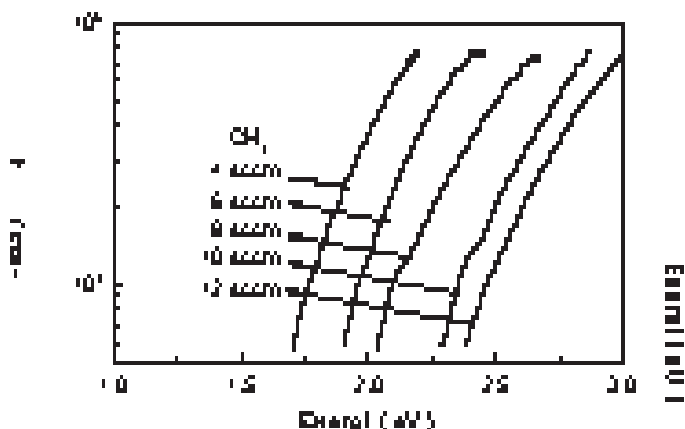
Gambar 1. Spektrum R dan T lapisan tipis a-SiC:H dengan *flow rate* gas metan 8 sccm



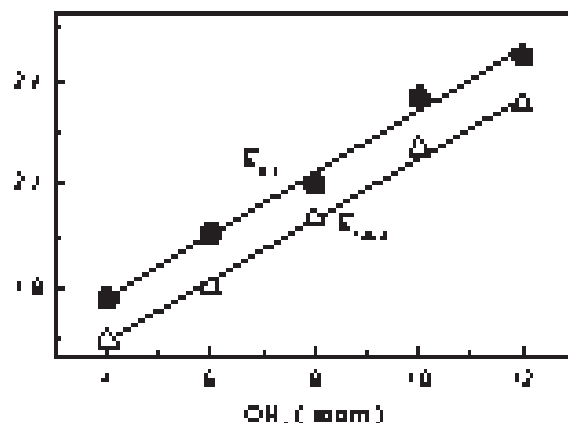
Gambar 2. Indeks bias sebagai fungsi energi dari lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap *flow rate* gas metan



Gambar 3. Indeks bias pada energi 1.6 eV,  $n(1,6)$  lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap *flow rate* gas metan.



Gambar 4. Kurva koefisien absorpsi optik sebagai fungsi energi dari lapisan tipis a-SiC:H untuk berbagai *flow rate* gas metana.



Gambar 5.  $E_{04}$  dan  $E_{Tauc}$  lapisan tipis a-SiC:H untuk berbagai *flow rate* gas metana.

gugus metil  $CH_3$  dan *void*, relasinya terhadap indeks bias berbanding terbalik.

Koefisien absorpsi optis  $\alpha$  sebagai fungsi energi dapat diperoleh dari spektrum transmitansi dan reflektansi di daerah ultra ungu dan cahaya tampak dengan menggunakan formulasi Hishikawa [6], seperti diperlihatkan pada Gambar 4 untuk kelima variasi *flow rate* gas metan. Gambar tersebut memperlihatkan bergesernya kurva  $\alpha(E)$  ke energi yang lebih tinggi dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Pergeseran karena pengaruh *flow rate* gas metan pernah dikemukakan oleh Pereyra dan Carreño [13], sedangkan beberapa peneliti lain [9,10,14,15] menghubungkan pergeseran ke energi yang lebih tinggi dengan peningkatan konsentrasi karbon. Gap optis lapisan tipis a-SiC:H dapat diperoleh dari kurva  $\alpha(E)$  dengan menggunakan definisi energi  $E_{04}$ , yakni definisi energi pada saat koefisien absorpsi optis  $\alpha$  berharga  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ . Gap optis  $E_{04}$  lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap variasi *flow rate* gas metan diperlihatkan pada Gambar 5. Gambar tersebut memperlihatkan peningkatan gap optis  $E_{04}$  dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Pereyra dan Carreño [13] juga memperoleh hasil yang sama, sedangkan beberapa peneliti lain [4,9,10] menghubungkan peningkatan gap optis dengan bertambahnya konsentrasi karbon.

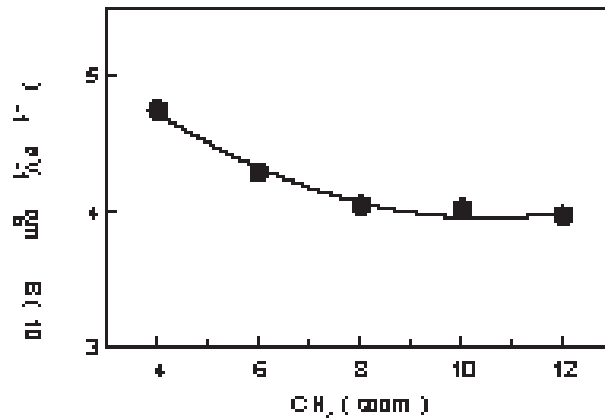
Peningkatan *flow rate* gas metan juga mengurangi gradien kurva  $\alpha(E)$  yang berhubungan dengan peningkatan ketidakteraturan pada jaringan amorf. Hal ini dapat dilihat lebih jelas dengan menggunakan relasi Tauc [15] sebagai berikut :

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

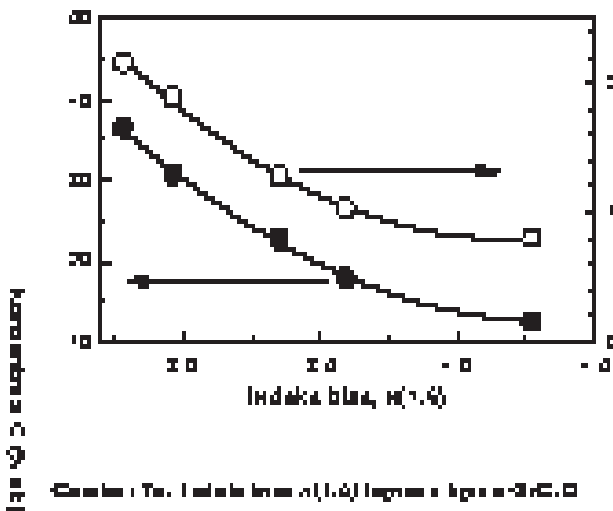
Gap optis juga dapat diperoleh dari ekstrapolasi kurva  $(\alpha E)^{1/2}$  ke  $\alpha=0$  dengan parameter  $B$  sebagai gradien kurva

tersebut. Gap optis  $E_{Tauc}$  yang diperoleh untuk setiap *flow rate* gas metan diperlihatkan pada Gambar 5. Seperti halnya  $E_{04}$ , relasi yang linier positif juga diperoleh untuk  $E_{Tauc}$  terhadap *flow rate* gas metan. Walaupun harga kedua gap optis memperlihatkan harga yang berbeda tetapi relasi yang diperoleh sama demikian pula dengan gradien kecenderungan data seperti yang diperoleh beberapa peneliti lain [11,16,17]. Perbedaan harga kedua gap optis tidak terlalu signifikan pada penelitian ini karena lapisan tipis a-SiC:H masih berada dalam kondisi silikon dominan. Relasi *flow rate* gas metan dengan komposisi karbon dan silikon pada lapisan tipis a-SiC:H hasil penelitian ini telah dikemukakan sebelumnya [7]. Perbedaan kedua cara penentuan gap optis akan terlihat jelas untuk lapisan tipis yang berada dalam kondisi karbon dominan karena relasi Tauc sulit diaplikasikan pada lapisan tipis a-SiC:H dengan konsentrasi karbon tinggi [17]. Relasi Tauc juga menghasilkan parameter  $B$  untuk setiap *flow rate* gas metan seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Gambar tersebut memperlihatkan berkurangnya harga parameter  $B$  dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Beberapa peneliti [9,18,19] menghubungkan berkurangnya parameter  $B$  dengan peningkatan konsentrasi karbon. Parameter  $B$  berhubungan dengan gradien kurva  $\alpha(E)$ , yang memuat informasi lebar daerah *tail*. Mott dan Davis [20] menghubungkan parameter  $B$  dengan lebar daerah *tail* di pita konduksi. Relasi parameter  $B$  dengan lebar daerah *tail* berbanding terbalik, dengan demikian berkurangnya parameter  $B$  dengan peningkatan *flow rate* gas metan bersesuaian dengan meningkatnya lebar daerah *tail*. Peningkatan lebar keadaan *tail* berhubungan dengan peningkatan ketidakteraturan pada jaringan amorf. De Cesara [19] menghubungkan peningkatan ketidakteraturan tersebut dengan bertambahnya jumlah ikatan Si-C pada lapisan tipis.

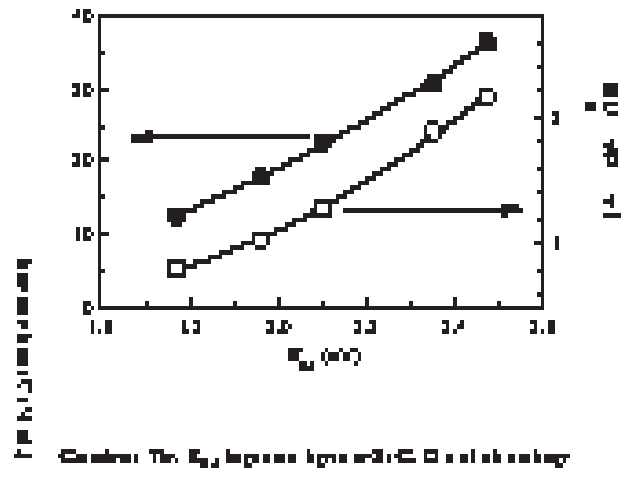
Komposisi lapisan tipis a-SiC:H hasil penelitian ini diten-



Gambar 6. Parameter B lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap flow rate gas metan.



Gambar 7a. Indeks bias  $n(1.6)$  lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap flow rate gas metan dan hidrogen.



Gambar 7b.  $E_{04}$  lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap flow rate gas metan dan hidrogen.

tukan dari hasil EPMA seperti telah dikemukakan sebelum ini untuk kelima *flow rate* gas metan [7]. Peningkatan *flow rate* gas metan meningkatkan jumlah karbon di dalam lapisan tipis. Penentuan konsentrasi hidrogen N<sub>H</sub> yang terdapat pada lapisan tipis diperoleh dari hasil eksperimen efusi hidrogen seperti telah pula dikemukakan sebelum ini untuk kelima *flow rate* gas metan [7]. Bertambahnya *flow rate* gas metan juga meningkatkan konsentrasi hidrogen selain jumlah karbon dalam lapisan tipis a-SiC:H. Oleh karena itu pengaruh *flow rate* gas metan terhadap besaran-besaran optis yang telah dikemukakan di atas merupakan akibat pengaruh karbon dan hidrogen. Besaran optis indeks bias  $n(1.6)$  dan gap optis E<sub>04</sub> akan dihubungkan dengan jumlah hidrogen dan karbon dalam lapisan tipis seperti ditunjukkan pada Gambar 7a dan 7b. Kedua gambar tersebut memperlihatkan baik karbon dan hidrogen keduanya berpengaruh terhadap berkurangnya indeks bias  $n(1.6)$  dan peningkatan gap optis E<sub>04</sub>. Kebanyakan peneliti [4,9,10] menghubungkan peningkatan gap optis dengan bertambahnya konsentrasi karbon saja, padahal

hidrogen juga memberikan pengaruh seperti dikemukakan oleh Beyer dkk [21] dan dijelaskan oleh Ley [22] dan Cody [23]. Demikianpula dengan berkurangnya indeks bias yang oleh kebanyakan peneliti [8-11] dihubungkan dengan peningkatan konsentrasi karbon, padahal proses deposisi menggunakan gas metan sebagai sumber karbon.

### Kesimpulan

Indeks bias ( $n$ ) lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *dc sputtering* berkurang dengan bertambahnya *flow rate* gas metan, sedangkan gap optis mengalami peningkatan seiring dengan pergeseran absorpsi optis ( $\alpha$ ) ke energi yang lebih tinggi. Pengaruh peningkatan *flow rate* gas metan terhadap kedua besaran optis tersebut bukan hanya disebabkan peningkatan jumlah karbon di dalam lapisan tipis tetapi juga jumlah hidrogen.

## Ucapan Terima Kasih

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

## Daftar Acuan

1. Y. Tawada, K. Tsuge, M. Kondo, H. Okamoto, Y. Hamakawa, *J. Appl. Phys.* 53 (1982) 5237.
2. D. A. Anderson dan W.E. Spear, *Philos. Mag.* 35 (1977) 1.
3. J. Bullot, M. Gauthier, M. Schmidt, Y. Catherine, A. Zamouche, *Philos. Mag.* 49 (1984) 489.
4. R. S. Sussmann, R. Odgen, *Philos. Mag.* 44 (1981) 137.
5. R. Swanepoel, *J. Phys. E* 16 (1983) 1214.
6. Y. Hishikawa, N. Nakamura, S. Tsuda, S. Nakano, Y. Kishi, Y. Kuwano, *Jap. J. Appl. Phys.* 30 (1991) 1008.
7. R. Saleh, L. Munisa, W. Beyer, F. Finger, R. Carius, *Physics Journal-IPS* 2 (1999) 41.
8. 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, *Philos. Mag. B* 66 (1992) 787.
9. J. Sotiropoulos, G. Weiser, *J. Non-Cryst. Solids* 92 (1987) 95.
10. E. Pascual, J.L. Andújar, J.L. Fernández, E. Bertran, *Diamond Relat. Mater.* 4 (1995) 1205.
11. I. Solomon, M.P. Schmidt, H. Tran-Quoc, *Phys. Rev. B* 38 (1988) 9895.
12. S. S. Camargo Jr., M.L. Oliveira, A.A. Pasa, C. Gatts, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 258 (1992) 613.
13. I. Pereyra, M.N.P. Carreño, *J. Non-Cryst. Solids* 201 (1996) 110.
14. P. I. Rovira, F. Alvarez, *Phys. Rev. B* 55 (1997) 4426.
15. J. Tauc, R. Grigorocivi, A. Vancu, *Phys. Stat. Sol.* 15 (1966) 627.
16. M.P Schmidt, J. Bullot, M. Gautier, P. Cordier, I. Solomon, H. Tran-Quoc, *Philos. Mag. B* 51 (1985) 581.
17. G. Crovini, F. Demichelis, C.F. Pirri, E. Tresso, J. Meier, S. Dubail, A. Shah, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 336 (1994) 481.
18. N. Saito, *Appl. Phys. Lett.* 46 (1985) 61.
19. G. De Cesare, F. Galluzi, G. Guattari, G. Leo, R. Vincenzoni, *Diamond Relat. Mater.* 2 (1993) 773.
20. N.F. Mott, E.A. Davis, *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*, Claredon, London, 1979.
21. W. Beyer, H. Wagner, H. Mell, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 49 (1985) 189.
22. L. Ley In: J.D Joannopoulos, G. Lucovsky (Eds.), *The Physics of Hydrogenated Amorphous Silicon II*, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
23. C.D. Cody In : R.K. Willardson, A.C. Beer (Eds.), *Hydrogenated Amorphous Silicon Part B*, Academic Press, Orlando, 1989.