

KARAKTERISASI REAKTOR PLASMA CVD UNTUK DEPOSISI *DIAMOND-LIKE CARBON COATING*

Putut Marwoto

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Telp/Fax: (024)8508034
Email: pmarwoto@yahoo.com

Abstrak

Kertas kerja ini melaporkan karakterisasi reaktor plasma CVD yang telah dirancang bangun dengan catu daya DC untuk deposisi film tipis DLC dengan gas metana (CH_4) dan argon (Ar) sebagai sumber gas. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tegangan operasi plasma dipengaruhi oleh tekanan reaktor, laju lairan gas, jenis gas, komposisi campuran gas CH_4 dan argon, jarak elektroda dan suhu katoda.

Kata kunci : plasma CVD, diamond-like coating

1. PENDAHULUAN

Bahan *diamond-like carbon* (DLC) mempunyai sifat yang ekstrim seperti kekerasan, modulus kekenyalan, afinitas elektron yang negatif dan bersifat inert baik secara fisika maupun kimia seperti halnya pada intan (Lee, 1993). DLC mempunyai koefisien gesek yang rendah dan mempunyai sifat lutsinar optik (transparan) (Chan, et al 2001). DLC telah menarik minat para peneliti dalam beberapa dekade terakhir ini dan telah dipelajari secara luas tidak hanya sifat mekaniknya, namun juga sifat optik dan kelistrikkannya (van De Lagemaat, 1998). Oleh karena sifatnya yang unik, DLC telah diterapkan dalam berbagai industri seperti penyalut (*coating*) perkakas mesin (Lacerda, et al 2002, Yin, et al 1996), dan industri piranti magnetic storage (Haerle, et al, 2001) yaitu untuk penyalut *compact disk* (CD) dan *hard disk* (Chan et al, 2001). DLC juga telah diterapkan sebagai peranti anti pantulan dan bahan mikroelektronik (Yin, et al 1996). Bahan tersebut dapat dideposisikan pada suhu kamar, sehingga dapat ditumbuhkan di atas substrat kaca (Robertson and Milne, 1998) maupun plastik.

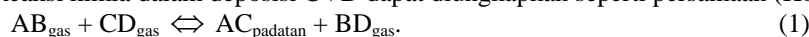
DLC dapat dideposisikan dengan menggunakan beberapa metode, dan secara mendasar dapat dibagi menjadi dua, yaitu *physically vapour deposition* (PVD) dan *plasma enhanced chemically vapour deposition* (Plasma CVD) (Manage, 1998). Teknik PVD melibatkan *sputtering* atom karbon dari target karbon padatan dengan menggunakan spesies gas yang berenergi tinggi seperti ion argon yang dihasilkan oleh *discharge* (Lu, 1999).

Plasma CVD merupakan proses deposisi yang menggunakan bantuan plasma untuk meningkatkan reaksi kimia yang terjadi dalam proses deposisi suatu bahan. Penggunaan plasma pada metode plasma CVD mengijinkan suhu deposisi menjadi lebih rendah dibandingkan dengan suhu yang diperlukan dalam proses termokimia (Reif and Kern, 1991). Metode Plasma CVD merupakan metode yang populer bagi penumbuhan film tipis dan biasa digunakan di dalam industri mikroelektronik (Date, et al 1999]. Sementara itu sifat DLC secara langsung bergantung pada metode deposisi, jenis gas dan keadaan deposisi (Luft and Tsuo, 1993) dan berhubungan pada strukturnya, sedangkan struktur DLC bergantung pada keadaan dan proses deposisinya (Manage, 1998). Dari kedua metode, bahan yang dihasilkan berupa film tipis, sehingga dapat digunakan untuk penyalut (*coating*)

Dalam penelitian ini telah dirancangkan bangun reaktor plasma CVD untuk deposisi DLC *coating* dengan catu daya arus searah (DC). Dalam penelitian digunakan catu daya DC, sebab sistem reaktor tersebut mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknik RF PECVD, yaitu: tidak memerlukan peralatan pemadanan (*matching unit*), sistem catu daya yang tidak rumit, mudah dikembangkan dalam skala yang besar, dan mempunyai geometri reaktor dengan konfigurasi yang sederhana (Sarangi, et al 2001) serta biaya rancangbangunnya yang relatif murah. Dalam sistem plasma CVD, beberapa parameter deposisi akan mempengaruhi sifat dan struktur film yang dihasilkan (Luft and Tsuo, 1993). Oleh karena itu pengendalian terhadap keadaan deposisi perlu dilakukan untuk mengembangkan teknik deposisi dan pengoptimuman sifat DLC yang dihasilkan. Dengan demikian sistem reaktor yang telah dirancangkan bangun perlu dikarakterisasi untuk memperoleh informasi kinerja reaktor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam proses CVD, beberapa jenis gas bereaksi sehingga menghasilkan padatan yang kemudian terdeposisi di atas substrat. Reaksi kimia dalam deposisi CVD dapat diungkapkan seperti persamaan (Konuma, 1992):



Dengan demikian, terjadinya reaksi kimia merupakan ciri metode CVD (Jensen dan Kern, 1991). Dalam proses ini reaksi biasanya berlangsung pada suhu tinggi. Padatan (film tipis) yang dihasilkan, biasanya terdeposisi di atas

substrat yang dipanaskan. Berbagai faktor seperti bahan atau suhu substrat, komposisi campuran gas, laju aliran, dan tekanan total gas dapat diubah untuk menghasilkan bahan dengan sifat yang berbeda (Manage, 1998).

Plasma dapat dipandang sebagai fase ke empat setelah fase padat, cair dan gas (Nicholson, 1983, Grill, 1993). Plasma bersifat hampir netral dan terbentuk dari partikel-partikel seperti elektron dan ion (Watson, 1974). Partikel-partikel di dalam plasma akan bergerak secara acak (Lieberman dan Lichterberg, 1994). Muatan pembawa yang dominan dalam plasma adalah elektron, karena massanya yang lebih ringan dibandingkan dengan massa ion. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa plasma merupakan 'lautan' elektron bebas, sedangkan ion positif dan negatif seperti spesies netral yang tenggelam di dalamnya (Jemmer, 1999). Namun demikian, plasma mempunyai muatan listrik yang netral sehingga plasma sering dianggap bersifat kuasi-netral (Lieberman dan Lichterberg, 1994).

Plasma dapat dihasilkan melalui proses *discharge* ketika gas pada tekanan rendah diberi medan listrik.. Gas akan terurai sehingga terion secara lemah dan menghasilkan plasma tanpa memerlukan suhu yang tinggi. Oleh karena itu plasma jenis ini biasa disebut sebagai *plasma dingin* (Konuma, 1991, Grill, 1993). Misalkan untuk gas argon, dapat berlaku pengionan:

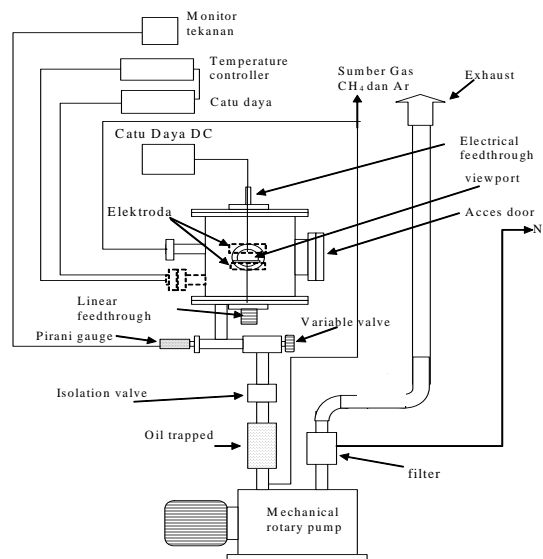


Pada umumnya, keadaan tereksitasi seperti ini mempunyai *lifetime* yang sangat singkat yang diikuti oleh radiasi foton. Plasma dapat digunakan untuk membantu mengaktifkan proses reaksi kimia. Plasma membantu proses pemutusan ikatan molekul-molekul gas sehingga reaksi dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah berbanding proses pemendapan wap kimia (Roosnagel, 1991). Proses tersebut didefinisikan sebagai deposisi plasma CVD (Manage, 1998).

3. METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan skema reaktor plasma CVD yang telah dirancngbangun. Reaktor dibuat dari bahan stainless steel yang dilengkapi dengan viewport, sehingga proses yang terjadi di dalam reaktor dapat diobservasi. Pemvakuman reaktor dilakukan dengan pompa vakum *mechanical rotary* dan mampu beroperasi pada tekanan 10^{-2} torr. Tekanan di dalam reaktor diukur dengan *pirani gauge* dan dapat diamati dari monitor tekanan. Gas CH_4 (99,99%) dan argon (Ar) (99,99%) digunakan sebagai sumber gas. Untuk mengatur laju aliran gas, reaktor telah dilengkapi dengan mass flow controller (MFC).

Sistem reaktor dilengkapi dengan dua buah elektroda (anoda dan katoda) dengan tenaga listrik dari catu daya arus searah (DC) dengan julat operasi 0 – 1,5 kV. Katoda dan anoda dapat diatur jaraknya dari 1 – 5 cm. Katoda dilengkapi dengan *heater* (suhu kamar – 300°C) juga berfungsi sebagai meja substrat. Dari sistem reaktor plasma CVD yang dirancngbangun dapat divariasikan parameter tekanan reaktor, laju aliran gas, komposisi gas CH_4 : Ar, jarak elektroda dan suhu katoda (meja substrat). Dalam eksperimen akan diobservasi pengaruh parameter tekanan reaktor, aliran gas, komposisi gas CH_4 : Ar, jarak elektroda dan suhu katoda (meja substrat) terhadap tegangan operasi plasma. Untuk proses deposisi, substrat (tempat menumbuhkan sampel DLC) diletakkan di atas katoda (meja substrat).



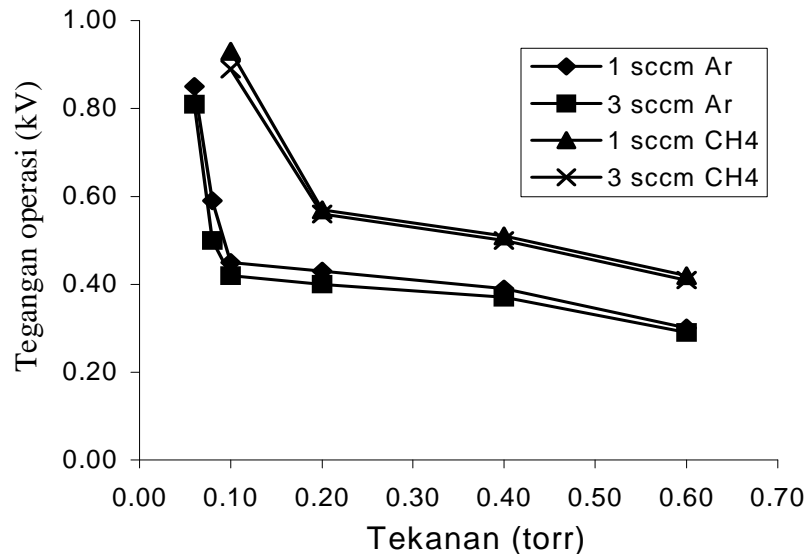
Gambar 1. Skema reaktor plasma CVD

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam eksperimen, reaktor telah divakumkan hingga mencapai tekanan $\sim 10^{-2}$ torr sebelum gas dialirkan ke dalam reaktor. Pada laju aliran 1 hingga 5 sccm (standard centimeter cube per minute) gas, tekanan reaktor mencapai 0,04 – 0,06 torr. Pada jarak elektroda 2 cm, plasma dapat dihasilkan pada tekanan minimum $\sim 0,06$ torr bagi gas Ar, sedangkan bagi gas CH_4 plasma diperoleh pada tekanan minimum $\sim 0,1$ torr. Pada jarak elektroda $< 1,5$ cm tidak dihasilkan plasma Ar. Demikian juga bagi gas CH_4 , tidak dihasilkan plasma pada jarak elektroda < 2 cm.

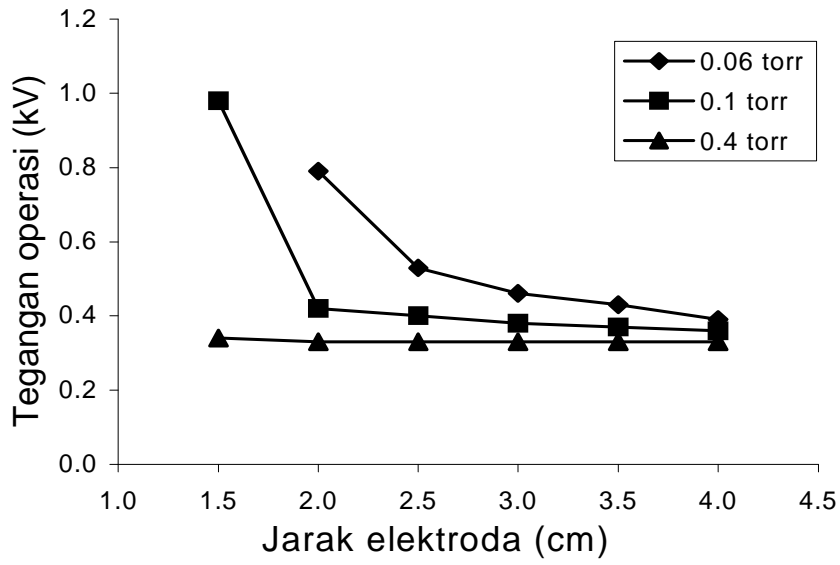
Gambar 2 menunjukkan variasi tegangan operasi sebagai fungsi tekanan reaktor ketika gas Ar dan CH_4 masing-masing dengan laju aliran 1 sccm dan 3 sccm digunakan sebagai sumber gas. Untuk gas CH_4 , pada tekanan $< 0,2$ torr, tegangan operasi meningkat tajam ketika tekanan diturunkan, sedangkan untuk gas Ar, peningkatan tegangan yang tajam terjadi pada tekanan $< 0,1$ torr ketika tekanan diturunkan. Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 2, bahwa plasma CH_4 mempunyai tegangan operasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan operasi plasma Ar.

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa jarak elektroda dan komposisi campuran gas $\text{CH}_4 + \text{Ar}$ berpengaruh terhadap tegangan operasi plasma. Penambahan gas argon pada metana dapat menghasilkan plasma pada tekanan di bawah 0,1 torr. Dari hasil eksperimen, diperoleh bahwa campuran 2 sccm gas CH_4 dengan 3 sccm gas Ar dapat menghasilkan plasma pada tekanan $\sim 0,06$ torr pada jarak elektroda ≥ 2 cm. Namun demikian, plasma tidak diperoleh ketika reaktor dioperasikan pada tekanan 0,06 torr dengan jarak elektroda 1,5 cm.

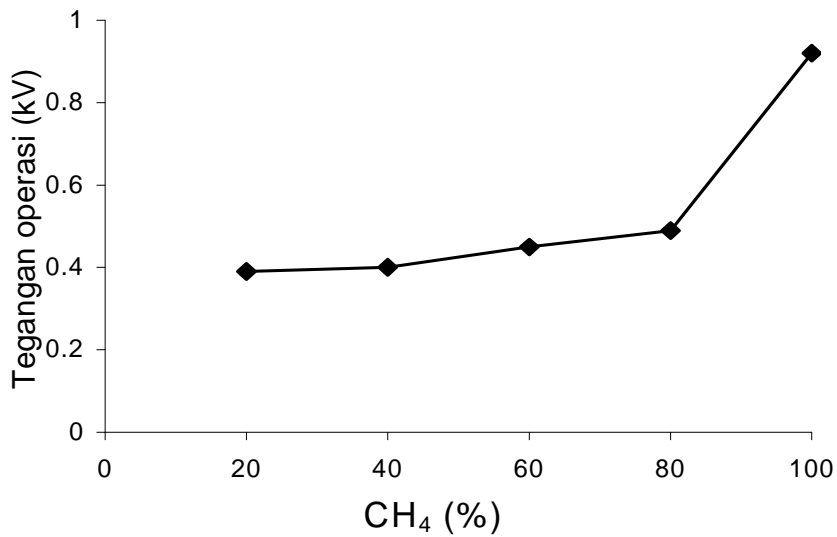


Gambar 2. Pengaruh tekanan reaktor terhadap tegangan operasi untuk gas argon dan CH_4 masing-masing untuk laju aliran 1 dan 3 sccm.

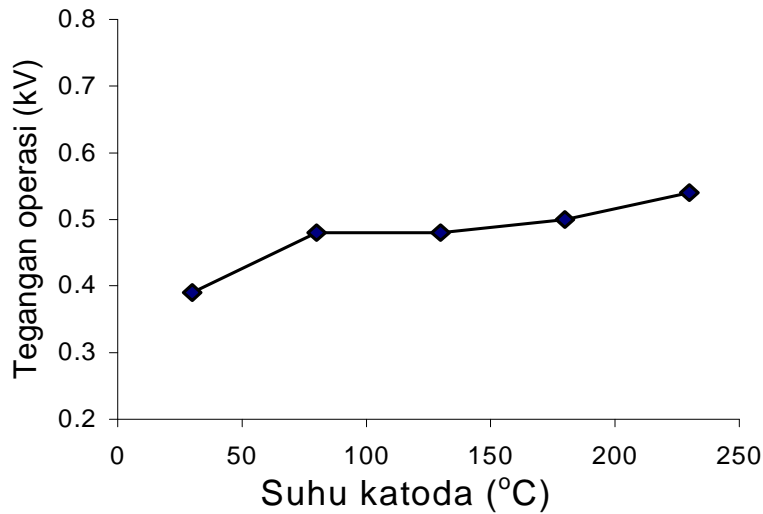
Gambar 3 menunjukkan pengaruh jarak elektroda terhadap tegangan operasi untuk tekanan yang berbeda. Ketika jarak elektroda diperbesar dari 1,5 hingga 2,5 cm, pada tekanan operasi 0,06 dan 0,4 torr tegangan operasi terlihat turun. Namun, keadaan tersebut tidak terjadi pada tekanan operasi 0,4 torr. Pada tekanan tersebut tampak bahwa tegangan operasi hampir konstan terhadap perubahan jarak elektroda. Secara umum terlihat bahwa pengurangan tekanan dan jarak elektroda dapat menyebabkan terjadinya peningkatan energi ion. Hasil ini sesuai dengan laporan Manage (1998) pada metode *DC saddle-field discharge deposition*.



Gambar 3. Pengaruh jarak elektroda terhadap tegangan operasi pada tekanan 0,06, 0,1 dan 0.4 torr



Gambar 4. Pengaruh komposisi gas CH₄ terhadap tegangan operasi plasma .



Gambar 5. Pengaruh suhu katoda (meja substrat) terhadap tegangan operasi

Pengaruh suhu katoda (meja substrat) terhadap tegangan operasi ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa tegangan operasi plasma akan bertambah dari ~0,40 - ~0,54 ketika suhu dinaikkan. Kenaikan suhu akan meningkatkan energi kinetik partikel-partikel di dalam plasma sehingga meningkatkan tegangan operasi plasma.

Dari eksperimen yang dilakukan, tegangan operasi reaktor plasma CVD bergantung pada tekanan reaktor, jenis gas, jarak elektroda, rasio gas CH₄ terhadap gas Ar dan suhu substrat. Namun perbedaan laju aliran gas tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap tegangan operasi. Secara umum, hasil eksperimen yang dilakukan sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Sarangi, *et.al* (2000a) pada sistem *saddle field fast atom beam*.

Menurut Sarangi, *et.al* (2000a), daerah dengan tegangan operasi rendah (~0.5 kV) dan tekanan tinggi (~ 10⁻¹ torr) merupakan daerah *discharge*, sedangkan tepat di bawahnya akan terjadi keadaan transisi. Pada keadaan transisi, lintasan bebas elektron meningkat sehingga meningkatkan efektifitas pengionan. Dalam studi ini, diperoleh bahwa daerah transisi terjadi pada tekanan < 0,1 torr. Pada tekanan tersebut laju pengionan menjadi meningkat, sehingga sebagai akibatnya, tegangan operasi menjadi meningkat. Peningkatan tegangan operasi akan meningkatkan energi ion (Sarangi, *et.al* 2000).

5. KESIMPULAN

Dalam eksperimen telah dilakukan karakterisasi reaktor plasma CVD untuk deposisi DLC *coating*. Eksperimen menunjukkan bahwa tegangan operasi plasma dari sistem yang telah dirancangbangun bergantung pada tekanan reaktor, jenis gas, laju aliran gas, komposisi campuran gas CH₄: Ar, jarak elektroda dan suhu katoda (meja substrat).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Chan, C. Y., K. H. Lai, M. K. Fung, W.K. Wong, I. Belo, R. F. Huang, C.S. Lee, S.T., Lee, S.P. Wong, (2001), *Deposition and properties of tetrahedral amorphous carbon films prepared on magnetic hard disks*, J. Vac. Sci. Technol. A 19(4), American Vacuum Society.
- Date, L., Raduone, K., Despax., B., Yousfi, M., Caquineau, H., and Hennad, A. (1999). *Analysis of the N₂O dissociation in RF discharge reactor*. J. Phys. D: Appl. Phys. 32. p.1478 – 1488.
- Grill, A. (1993). *Cold Plasma in Materials Fabrications From Fundamentals to Applications*. New York: IEEE Press.
- Herle R., E. Reido, A. Pasquarello, and A. Baldereschi, 2001, *sp²/sp³ hybridization ratio in a amorphous carbon from C 1s core-level shifts: X-ray photoelectron spectroscopy and first-principles calculation*. Physical Review B, Volume 65, p. 045101- 045101-8.

- Jensen, K.F. and Kern, W. (1991). *Thermal Chemical Vapor Deposition*. In Vossen, J.L. and Kern, W. "Thin Film Processes II." Boston, San Diego, New York, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, Inc.
- Jemmer, P. (1999). *Mathematical Modeling and interpretation of Reactive Plasma Chemistry*. Mathematical and Computer Modelling. 30. 63 – 76.
- Konuma, M. (1992). *Film Deposition by Plasma Techniques*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hongkong, Barcelona, Budapest: Springer-Verlag.
- Lacerda, R.G., Stolojan, V., Cox, D.C., Silva, S.R.P., Marques, F.C. (2002). *Structural characterization of hard a-C:H films as a function of the methane pressure*. Diamond and Related Materials. 11. p.980 – 984.
- Lee, C.H. (1993). *Theoretical study of Diamond-like carbon and nucleation of diamond*. Case Western Reserve University: Ph.D thesis
- Lieberman, M. A. and Lightenberg, J. A. (1994). *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley and Sons, Inc.
- Lu, W. (1999). *Sputtering Deposition and Characterization of Ultrathin Amorphous Carbon films*. University of California, Berkeley: Ph.D thesis.
- Luft, W., and Tsuo, Y.S. (1993). *Hydrogenated amorphous Silicon Alloy Deposition Processes*. Marcell Decker, Inc: New York, Basel, Hongkong.
- Manage, D.P. (1998). *Structural and Optical Characterization of Hydrogenated Amorphous Carbon Thin Films*. University of Toronto: Ph.D Thesis.
- Nicholson, D.R.(1983). *Introduction to Plasma Theory*. New York: John Wiley & Sons.
- Reif, R. and Kern, W. (1991). *Plasma-Enhanced Chemical Vapor-Deposition*. In Vossen, J.L. and Kern, W. "Thin Film Processes. Boston, San Diego, New York, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, Inc.
- Robertson, J. and Milne, W. (1998). *Band model for emission from diamond-like Carbon and diamond*. Journal of Non-Crystalline Solids. 227 – 230. p.558 – 564.
- Sarangi, D., Panwar, O.S., Kumar, S., and Bhattacharyya, R.(2000). *Characterisation of a saddle field fast atom beam source and its application to the growth of diamond-like carbon films*. Vacuum. 58. 609 – 627.
- Sarangi, D., Godon, C., Granier, A., Moalic, R., Gouillet, A., Turban, G., Chauvet, O. (2001). *Carbon nanotubes and nanostructures grown from diamond-like carbon and polyethylene*. Appl. Phys. A. 73. p.765 – 768.
- van De Lagemaat, J. (1998). *Electrochemistry of large bandgap chemically resistant semiconductors*. Utrecht University: Doctor thesis.
- Yin, D., Xu, N., Liu, Z., Han, Y. and Zheng, X. (1996). *Effect of applied bias voltage on the properties of a-C:H films*. Surface and Coating Technology. 78. p.31 – 36.
- Watson, C.J.H. (1974). *Introduction to Plasma Physics*. In Keen, B.E. "Plasma Physics." Conference Series Number 20. London and Bristol: The Institute of Physics.