

PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI PADA PENUMBUHAN FILM TIPIS SILIKON KARBIDA DENGAN METODE *HOMEMADE HOT-MESH* CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

B Astuti¹✉ AM Hashim²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

²Malaysia-Japan International Institute of Technology, Universiti Teknologi Malaysia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2015

Disetujui Maret 2015

Dipublikasikan April 2015

Keywords:

SiC thin film, Hot-Mesh CVD, Deposition temperature

Abstrak

Film tipis silikon karbida (SiC) telah ditumbuhkan di atas *substrate graphene/SiO₂/Si* dengan metode *Homemade Hot-mesh* chemical vapor deposition (Hot-Mesh CVD). Pengaruh dari temperature deposisi pada struktur dan morfologi film tipis SiC telah dipelajari dengan menggunakan X-Ray diffractometer (XRD), FESEM dan EDX, dan spektroskopi Raman. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa film tipis SiC memiliki struktur polikristal tipe kubik dengan orientasi (111). Kualitas film tipis SiC, dan ukuran butir kristal dari morfologi film yang dihasilkan meningkat dengan peningkatan temperatur deposisi. Dari karakterisasi spektroskopi Raman, dapat terdapat dua puncak pergeseran Raman yang dominan pada daerah sekitar 780 - 800 cm^{-1} dan 950 - 980 cm^{-1} yang merupakan *mode fonon* SiC-TO dan SiC-LO. Puncak pergeseran Raman tersebut bergeser ke bilangan gelombang yang lebih pendek dengan peningkatan temperature deposisi.

Abstract

Silicon carbide (SiC) thin film grown on graphene/SiO₂/Si substrate using homemade hot mesh chemical vapor deposition (Hot-Mesh SVD) method has been done. Effect of deposition temperature on structure and morphology of the thin film was studied by using X-ray diffractometer (XRD), FESEM and EDX, and Raman spectroscopy. XRD characteristics shows that SiC thin film has cubic polycrystalline structure with (111) orientation. Quality of the SiC thin film, and crystallite grain size from the film morphology was resulted increases with the increase of the deposition temperature. Based on the characterization of Raman spectroscopy, shows that two peak Raman shift in the range of 780 - 800 cm^{-1} and 950 - 980 cm^{-1} was attributed to SiC-TO and SiC-LO phonon mode. The Raman shift peak was shifted toward the lower wavenumber with the increase of deposition temperature.

© 2015 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229

E-mail: b_astuti79@yahoo.com

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Sejak beberapa dekade terakhir performa dari *silicon ultra-large scale integrated circuit* (ULSIs) semakin meningkat dengan adanya miniaturisasi dari ukuran transistor menuju skala nanometer yang didasarkan pada Hukum Moore (Pillarisetty 2011). Bagaimanapun juga, miniaturisasi transistor mengalami peningkatan kesulitan yang didasarkan pada beberapa hal seperti kebocoran arus pada *gate*, pengaruh *channel* yang pendek dan lain sebagainya (Dai *et al.* 2006). Beberapa tahun terakhir, para peneliti tertarik untuk mengembangkan integrasi *hybrid* pada *platform silicon* dengan mengenalkan material baru semikonduktor seperti *graphene* (Tsukamoto *et al.* 2010), germanium (Hashim *et al.* 2012), material dari golongan *IV-IV* (seperti SiC) (Yasui *et al.* 2010), golongan *II-VI* (zinc oksida, ZnO) (Choi *et al.* 2011) dan golongan *III-V* seperti GaAs (Liu *et al.* 2004), GaN (Lee *et al.* 2013), untuk memfasilitasi pembentukan ULSIs untuk berbagai kegunaan. Beberapa material ini, tidak hanya dapat digunakan untuk fabrikasi juga *conventional Complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) dengan kecepatan tinggi, tetapi juga untuk fabrikasi transistor dengan prinsip operasi yang berbeda seperti tunnel FET (Lehovec *et al.* 1979). Selain itu juga, dapat digunakan untuk fabrikasi beberapa jenis *divais* dengan fungsi seperti sensor (Young *et al.* 2004), *divais* optik (Itabashi *et al.* 2010), *detectok* (Wang & Lee. 2011), *solar batteries* (Razykov *et al.* 2011) dan sebagainya. Hal tersebut tentunya memerlukan isolasi secara elektronik antara substrat silikon dan material aktif tersebut. Hasilnya, penumbuhan material aktif tersebut di atas substrat isolator dengan kualitas film yang baik menjadi isu yang sangat menarik dimasa depan dalam pengembangan integrasi *hibrid* pada *silicon platform*.

Material SiC merupakan material semikonduktor dengan *band gap* yang lebar sehingga banyak digunakan pada aplikasi *divais* elektronik untuk frekuensi tinggi, daya tinggi dan *temperature* tinggi serta pada fabrikasi *micromechanical system* (MEMS) dimana dapat dioperasikan pada lingkungan yang ekstrim

(Chassagne *et al.* 2002; Feng *et al.* 2003). *Graphene* merupakan karbon 2 dimensi dengan hanya memiliki satu lapisan atom yang memiliki pembawa muatan sampai dengan $2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ meskipun pada *temperature* ruang (Bolotin *et al.* 2008), dan mobilitas yang tinggi tersebut didasarkan pada *mean free path* 1.2 μm pada konsentrasi pembawa muatan sebesar $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$. Kuantum efek Hall yang muncul pada *graphene* didasarkan pada *transport* balistik dari elektron dan hole (Novoselov *et al.* 2007), dan berarti bahwa *graphene* mempunyai potensial untuk digunakan pada aplikasi *divais* balistik. Material *graphene* juga menunjukkan termal konduktivitas yang tinggi (Balandin *et al.* 2011; Chen *et al.* 2012). Kelebihan yang lain dari integrasi pada dua material dalam *silicon platform* merupakan isu pada pengendalian termal dalam integrasi heterogen sehingga dapat menjadi suatu alternatif penyelesaian bagi SiC dan *graphene* karena keduanya merupakan penghantar panas yang sangat baik (Chassagne *et al.* 2002; Balandin *et al.* 2008).

Pada penelitian ini dikaji mengenai pengaruh *temperature* deposisi pada film tipis SiC yang ditumbuhkan pada substrat *graphene/SiO₂/Si* dengan metoda *homemade Hot-mesh CVD*. Struktur dan morfologi dari film tipis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan difraksi Sinar X (XRD), Raman Spektroskopi dan *scanning electron microscope* (SEM).

METODE PENELITIAN

Polikristal *graphene* satu lapisan atom diatas substrat SiO₂/Si ditumbuhkan dengan metode CVD dibeli dari *Graphene Laboratories Inc.* New York, USA dengan maksimum diameter *grain* sekitar 20 μm dan sekitar 90% lapisan *graphene* menutupi seluruh permukaan substrat. Penumbuhan film tipis SiC menggunakan sumber gas *monomethylsilane* (MMS) yang merupakan sumber gas tunggal karena didalam gas tersebut tersusun dari atom Si dan C dan gas hidrogen digunakan sebagai gas pembawa pada proses penumbuhan dengan metoda *homemade Hot-Mesh CVD*. Struktur dan sifat substrat secara jelas dapat ditemukan pada referensi (Astuti *et al.* 2012). Parameter

penumbuhan seperti temperatur jaring tungsten, tekanan dan gas MMS dibuat konstan yang masing-masing sebesar 1700 °C, 1.8 Torr dan 100 sccm. Temperatur deposisi dibuat bervariasi yaitu 600, 700, 750 dan 800 °C. Struktur dan morfologi film tipis SiC dikarakterisasi dengan difraksi Sinar X (XRD), Raman Spektroskopi dan *scanning electron microscope* (SEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

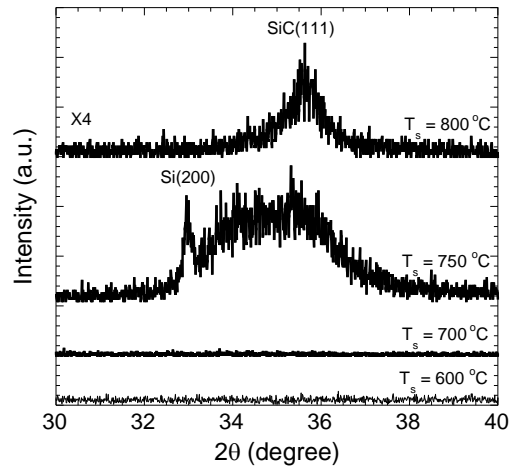
Spektrum XRD

Spektra XRD dari film tipis SiC yang ditumbuhkan dengan metoda *homemade Hot-Mesh CVD* dengan variasi temperatur deposisi. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa temperatur deposisi T_s diatas 750 °C muncul puncak (*peak*) pada sudut 35,7° yang merupakan *peak* kubik SiC (3C-SiC) dengan orientasi (111). Pada temperatur deposisi 600 dan 700 °C tidak didapati sembarang *peak* muncul. Secara umum, *full width at half maximum* (FWHM) dari spektrum XRD juga menunjukkan tentang kualitas dan ukuran butir kristal film tipis SiC yang dihasilkan. Penghitungan rata-rata ukuran butir Kristal dari film tipis 3C-SiC menggunakan persamaan Debye-Scherrer yang ditunjukkan pada persamaan:

$$D = \frac{0.94 \lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots(1)$$

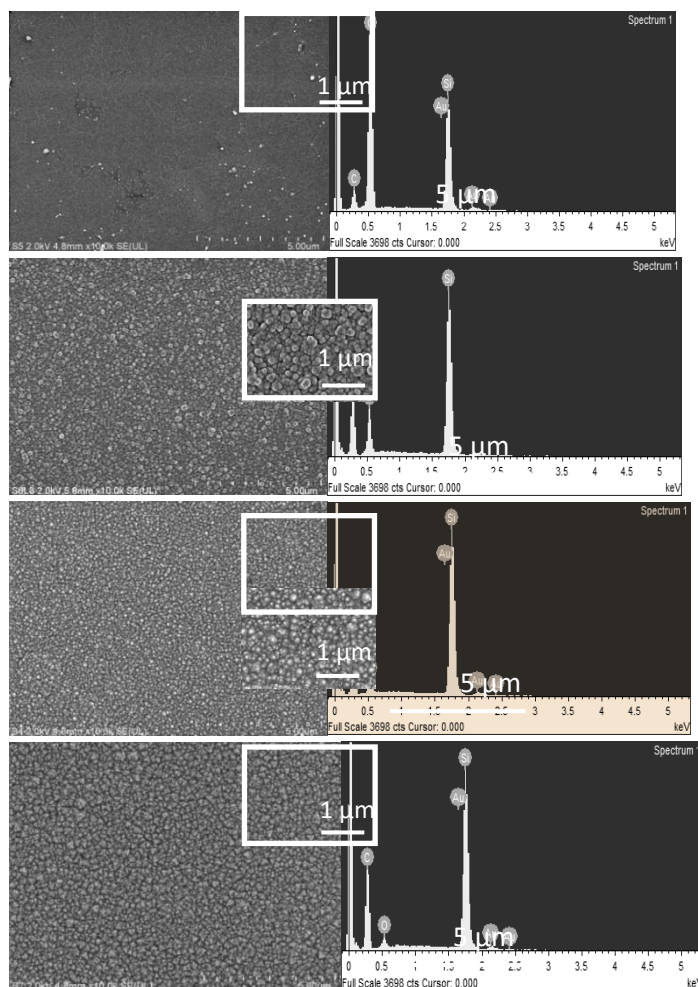
dengan D adalah ukuran butir Kristal film tipis SiC, λ adalah panjang gelombang radiasi sinar-X, $CuK\alpha$, 0.1541 nm, β adalah nilai FWHM dalam satuan radian dan θ adalah sudut difraksi Bragg. Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan bahwa rata-rata ukuran butir meningkat darai 2.8

nm untuk temperatur deposisi 750 °C menuju 3.7 nm untuk temperatur deposisi 800 °C. Secara umum, pada metoda CVD, nukleasi dari partikel meningkat dengan peningkatan temperatur deposisi yang ditunjukkan dengan peningkatan ukuran butir Kristal (Burda *et al.* 2005).



Gambar 1. Spektra XRD dari film tipis SiC dengan variasi temperatur deposisi

Pada Gambar 1, selain *peak* 37,5°, teramati juga *peak* pada sudut 33° untuk film tipis SiC yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi 750°C yang merupakan puncak kristal silikon (200) (Bai *et al.* 2012). Puncak kristal silikon muncul pada saat karakterisasi XRD, dimungkinkan karena ketebalan film tipis SiC yang dihasilkan cukup tipis sehingga penembakan sinar-X, sampai kebagian substrat. Selanjutnya, karena nilai FWHM dari film tipis SiC yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi 800 °C relatif lebih kecil dari nilai FWHM film tipis SiC yang ditumbuhkan pada temperatur 750 °C, dapat dikatakan kualitas film tipis yang dihasilkan semakin baik (Tabata *et al.* 2008).



Gambar 2. Citra FESEM dan EDX film tipis SiC untuk variasi temperatur deposisi

FESEM dan EDX

Morfologi permukaan dan elemen unsur dari film tipis SiC yang dihasilkan, selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FESEM dan EDX. Gambar tampak atas morfologi film tipis SiC dan elemen unsur penyusunnya yang ditunjukkan pada temperatur deposisi yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa peningkatan temperatur deposisi menyebabkan ukuran kristal *grain* meningkat. Pengukuran unsur penyusun dari sampel film tipis SiC yang terbentuk selanjutnya dibandingkan dengan sampel referensi seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan komposisi stoikiometrik dari film tipis SiC yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi yang berbeda dan komposisi dari sampel referensi. Pada

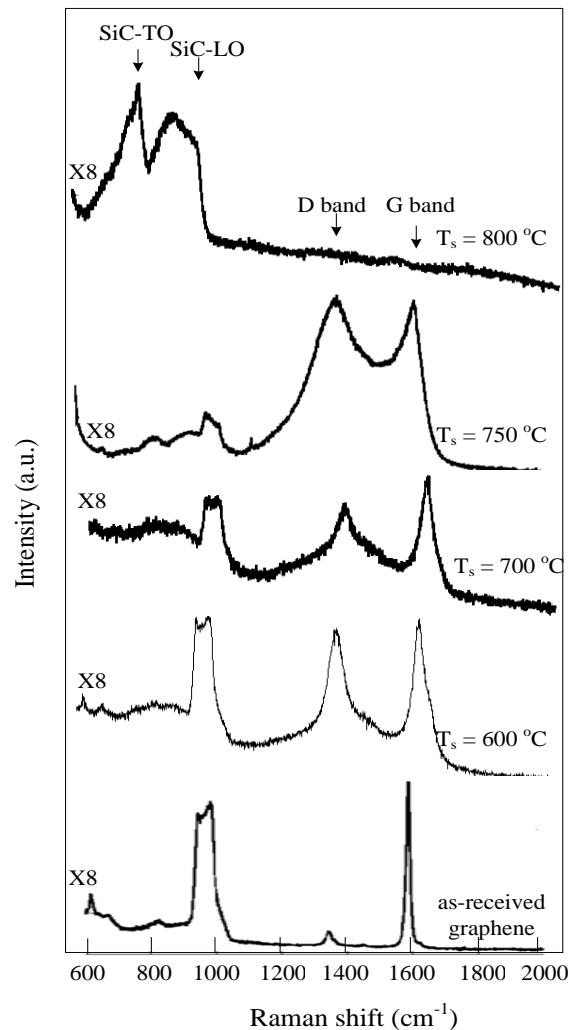
sampel referensi terlihat bahwa komposisi stoikiometrik dari unsur Si dan C adalah 100%. Sementara untuk sampel film tipis SiC yang terbentuk, terlihat bahwa selain unsur Si dan C juga terdapat unsur O₂ yang muncul dalam komposisi stoikiometrik film tipis SiC. Peningkatan secara drastis terjadi untuk kedua unsur Si dan C dengan peningkatan temperatur deposisi yang diikuti dengan penurunan unsur O₂. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dengan peningkatan temperatur deposisi maka kualitas film tipis yang dihasilkan semakin baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa penumbuhan film tipis SiC dapat ditumbuhkan pada temperatur tinggi sekitar 800 °C dengan sifat film yang lebih baik, yang ditunjukkan dengan komposisi stoikiometrik dari film tipis SiC mendekati nilai stoikiometrik pada sampel referensi.

Tabel 1. Kuantitatif komposisi EDX film tipis SiC untuk variasi temperatur deposisi

Parameter penumbuhan	% Silikon atom	% karbon atom	% O ₂ atom
Sampel referensi*	45	55	
600 °C	28.96	9.52	61.06
700 °C	41.14	42.64	16.03
750 °C	42.53	52.58	4.13
800 °C	43.47	53.57	2.72

*Cheng *et al.* 2007**RAMAN SPEKTRA**

Spektra Raman untuk film tipis SiC yang ditumbuhkan dengan temperatur deposisi yang berbeda terlihat pada Gambar 3. Secara umum, kristal SiC film tipis menunjukkan 2 puncak yang dominan pada daerah sekitar 780 - 800 cm⁻¹ dan 950 - 980 cm⁻¹ yang merupakan *mode fonon* SiC-TO dan SiC-LO. Pada Gambar 4 terlihat bahwa *mode fonon* SiC-TO ditunjukkan pada daerah sekitar 780 dan 800 cm⁻¹ untuk sampel film tipis SiC yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi 750 dan 800°C. Pada Gambar 4, terlihat juga bahwa puncak Raman untuk SiC-TO bergeser menuju bilangan gelombang yang lebih pendek ketika temperatur deposisi dinaikkan dari 750 menuju 800°C. Penurunan bilangan gelombang tersebut berkaitan dengan efek strain yang terjadi antara SiC dan *graphene* yang didasarkan pada *lattice mismatch* (Chen *et al.* 2011). Bagaimanapun juga, untuk puncak Raman orde kedua yaitu *mode fonon* SiC-LO tidak dapat ditentukan perubahannya karena puncak Raman yang teramati hampir sama dengan puncak Raman dari substrat *graphene*.

**Gambar 3.** Raman spectra untuk film tipis SiC untuk variasi temperatur deposisi

Pada Gambar 3 terlihat struktur karbon disorder untuk *D-band* (1360 cm⁻¹). Teramati bahwa intensitasnya meningkat yang diikuti dengan pelebaran puncak untuk *D-band* dan *G-band* untuk film tipis yang ditumbuhkan pada temperature deposisi 600, 700 dan 750 °C (Lebedev *et al.* 2006). Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, pelebaran puncak *D-band* dan *G-band* mengalami pergeseran bilangan gelombang yang lebih besar seperti ditunjukkan oleh substrat *graphene*. Hal tersebut terjadi karena *D-band* dan *G-band* pada film tipis ini bukan dibentuk dari ikatan C-C dari *graphene* melainkan dibentuk dari struktur *disorder carbon* yang disebut *defect*. Perubahan signifikan pada

bentuk dan intensitas puncak *D-band* dan *G-band* teramati pada temperatur deposisi di bawah 750°C merupakan hal yang sama untuk menggambarkan pembentukan *disorder carbon* dan *defect* pada *domain boundary* pada penumbuhan sampel (Kubo *et al.* 2004).

PENUTUP

Film tipis SiC yang ditumbuhkan pada *substrate graphene/SiO₂/Si* dengan metode *Homemade Hot-mesh CVD* telah berhasil ditumbuhkan. Pengaruh temperatur deposisi pada film tipis SiC mengenai strukturnya juga dipelajari. Hasil karakterisasi XRD terlihat bahwa kualitas kristal film tipis SiC yang dihasilkan meningkat dengan peningkatan temperatur deposisi. Hal tersebut didukung juga dari hasil karakterisasi citra FESEM dan EDX yang menunjukkan morfologi yang lebih padat dan komposisi stoikiometri yang mendekati sampel referen untuk film tipis SiC ketika temperatur deposisi meningkat. Selanjutnya dari hasil karakterisasi spectra Raman, terlihat bahwa puncak *D-band* mengalami peningkatan intensitas dan mengalami pergeseran menuju bilangan gelombang yang lebih pendek dengan peningkatan temperature deposisi. Penurunan tersebut disebabkan karena efek strain yang terjadi antara SiC dan *graphene* yang didasarkan pada *lattice mismatch*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Kanji Yasui dan Mr. Mashaihiro Tanikawa yang telah membantu dalam proses karakterisasi sampel dan diskusi. Terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Farah Mustafa dan Dr. Mastura Shafinas Zainal Abidin untuk diskusi dan bantuannya dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih pada MOSTI dan MOHE yang telah memberikan sumbangan dana pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti B, Tanikawa M, Rahman SFA, Yasui K, Hashim AM. 2012. *Graphene* as a buffer layer for silicon carbide-on-insulator structures. *Materials* 5: 2270-2279.
- Bai Y, Cole GD, Bulsara MT, Fitzgerald EA. 2012. Fabrication of GaAs-on-insulator via low temperature wafer bonding and sacrificial etching of Ge by XeF₂. *J. Electrochem. Soc* 159: H183-H190.
- Balandin AA, Ghosh S, Bao W, Calizo I, Teweldebrhan D, Miao F, Lau CN. 2008. Superior thermal conductivity of single-layer *graphene*. *Nano Lett* 8: 902-907.
- Balandin AA. 2011. Thermal properties of *graphene* and nanostructured carbon materials. *Nature Mater* 10: 569-581.
- Bolotin KI, Sikes KJ, Jiang Z, Klima M, Funderberg G, Hone J, Kim P, Stormer HL. 2008. Ultra high electron mobility in suspended *graphene*. *Solid State Commun* 146: 351-355.
- Burda C, Chen X, Narayanan R, El-Sayed MA. 2005. Chemistry and properties of nanocrystals of different shapes. *Chem. Rev* 105: 2127-2150.
- Chassagne T, Ferro G, Wang H, Stoemenos Y, Peyre H, Contreras S, Camassel J, Monteil Y, Ghyselen B. 2002. Improved SiCOI structures elaborated by heteroepitaxy of 3C-SiC on SOI. *Mater. Sci. Forum* 389-393: 343-346.
- Cheng Q, Xu S, Long J, Ostrikov KK. 2007. Low temperature PECVD of nanodevice grade nc-3C-SiC. *Chemical Vapor Deposition* 13: 461-566.
- Chen S, Wu Q, Mishra C, Kang J, Zhung H, Cho K, Cai W, Balandin AA, Ruoff RS. 2012. Thermal conductivity of isotopically modified *graphene*. *Nature Mater* 11: 203-207.
- Chen T, Kohler F, Heidt A, Huang Y, Finger F, Carius R. 2011. Microstructure and electronics properties of microcrystalline silicon carbide thin films prepared by hot wire CVD. *Thin Solid Films* 519: 4511-4515.
- Choi WM, Shin KS, Lee HS, Choi D, Kim K, Shin HJ, Yoon SM, Choi JY, Kim SW. 2011. Selective growth of ZnO nanorods on SiO₂/Si *substrate* using a *graphene* buffer layer. *Nano Res* 4: 440-447.
- Dai H, Javey A, Pop E, Mann D, Lu Y. 2006. Electrical transport properties and field effect transistor of carbon nanotubes. *Nano: Brief Report and Reviews*, 1: 1-4.
- Feng K, Chen Z, Ma J, Zan X, Pu H, Lu G. 2003. Epitaxial growth of cubic silicon carbide on silicon by sublimation method. *Optical Mater* 23: 93-96.

- Hashim AM, Anisuzzaman M, Muta S, Sadoh T, Miyao M. 2012. Epitaxial template structure utilizing Ge-on-insulator stripe arrays with nanospacing for advanced heterogeneous integration on Si platform. *Jpn. J. Appl. Phys* 51: 06FF0401-06FF0405.
- Itabashi S, Nishi H, Tsuchizawa T, Watanabe T, Shinojima H, Park S, Yamada K, Ishikawa Y, Wada K. 2010. Integration of optical devices based on Si, Ge, and SiO_x. *Proceeding of IEEE International Conferences on Group IV Photonics (GFP)*, pp. 48-50.
- Kubo N, Kawace T, Asahina S, Kanayama N, Tsuda H, Moritani A, Kitahara K. 2004. Epitaxial growth of 3C-SiC on Si(111) using hexamethyldisilane and tetraethylsilane. *Jpn. J. Appl. Phys* 43: 7654-7660.
- Lebedev AA. 2006. Heterojunction and superlattices based on silicon carbide. *Semicon. Sci. Technol* 21: R17-R34.
- Lee HS, Li M, Sun K, Ryu, Palacios T. 2013. Hybrid wafer bonding and heterogeneous integration of GaN HEMTs and Si(100) MOSFETs. *ECS Trans* 50: 1055-1061.
- Lehovec K. 1979. GaAs enhancement mode FET-tunnel diode ultra-fast low power inverter and memory cell. *IEEE J. A Solid State Circuits* SC-14: 797-800.
- Liu Y, Gopalakrishan K, Griffin PB, Ma K, Deal MD, Plummer JD. 2004. MOSFETs and high speed photodetectors on Ge-on-insulator substrates fabricated using rapid melt growth. *Proceeding of IEEE International Electron Devices Meeting*, San Fransisco, USA, pp. 1001-1004.
- Novoselov KS, Jiang Z, Zhang Y, Morozov SV, Stomer HL, Zeitler U, Maan JC, Boebinger GS, Kim P, Geim AK. 2007. Room temperature quantum hall effect in graphene. *Science* 315, 1379.
- Pillarisetty R. 2011. Academic and industry research progress in germanium nanodevices. *Nature* 479: 324-328.
- Razykov TM, Ferekides CS, Morel D, Stefanako E, Ullal HS, Upadhyaya HM. 2011. Solar photovoltaic electricity: current status and future respects. *Sol. Energy*, 85: 1580-1608.
- Tabata A, Komura Y, Hoshide Y, Narita T, Kondo A. 2008. Properties of nanocrystalline cubic silicon sarsbide thin films prepared by hot-wire chemical vapor deposition using SiH₄/CH₄/H₂ at various substrate temperatures. *Jpn. J. Appl. Phys* 47(1): 561-565.
- Tsukamoto T. & Ogino T. 2010. Graphene-on-insulator fabricated on atomically controlled solid surfaces. *J. Phys. D: Appl. Phys* 43(37): 374014.
- Yasui K, Miura H, Takata M, Akahana T. 2008. SiCOI structure fabricated by catalytic chemical vapor deposition. *Thin Solid Films*. 516: 644-647.
- Young DJ. 2004. High temperature single-crystal 3C-SiC capacitive pressure sensor. *IEEE Sensors Journal*, 4: 464-470.
- Wang J, & Lee S. 2011. Ge-photodetector for Si-based optoelectronic integration. *Sensors* 11: 696-718.