

I ナノ構造形成技術

Nanostructure Fabrication

松井真二・神田一浩・春山雄一
Matsui, S., Kanda, K., Haruyama, Y.

原料ガス中に集束イオンビームを照射することにより、任意の3次元ナノ構造物を作製可能である。この技術を用いることで10nmオーダーのナノ構造物を作製でき、原料ガス種によって様々な物性を付与させることが可能である。また、微細構造を有する金型をレジストに押し付けることで微細パターン転写可能なナノインプリントリソグラフィーに関する研究も行っている。このような技術と電子ビームリソグラフィーを加えた微細加工技術を駆使し、ナノ構造物の機械特性・物性評価や新規現象探索を行っている。

II 軟X線を用いた材料表面改質

Surface modification on material using synchrotron radiation

神田一浩・春山雄一・松井真二
Kanda, K., Haruyama, Y., Matsui, S.

内殻電子励起は表面において大きな反応断面積を持った表面改質を起こす過程であり、局所表面物性制御による機能性表面創製を行うことができ、様々な表面改質の研究を行っている。一例としてダイヤモンドライクカーボン(DLC)薄膜は高硬度、低摩擦性などの特性のほかに高い軟X線耐性を持っており、油脂の使えない真空中・宇宙空間における潤滑材として期待されているが、近年、水素含有率の多いDLC薄膜では軟X線照射により、改質を受けることが明らかになったので、ニュースバルの軟X線照射ラインを用いて高水素化DLC膜に対して軟X線を照射した時における様々な物性変化・反応過程について明らかにした。

Ⅲ 軟 X 線を用いた材料の構造・物性評価

Local structure analysis on the carbon-material thin film

神田一浩・春山雄一・松井真二

Kanda, K., Haruyama, Y., Matsui, S.

軟 X 線領域の放射光を用いると材料表面近くの原子の内殻電子励起を起こすことができる。これを利用して軟 X 線吸収分光や軟 X 線光電子分光は、内殻電子の占有状態や価電子の空状態の情報を直接得ることができ、材料表面の化学状態の情報を得るために適した手法であり、様々な産業素材の局所構造について研究を行っている。例えば、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)薄膜の構造因子である炭素原子の sp^2/sp^3 比を軟 X 線分光を用いると非常に高い精度で決定することができる。現在、経済省を中心に DLC 膜の国際標準化プロジェクトが行われており、ニューズバルにおいて X 線吸収端近傍微細構造の測定による sp^2/sp^3 比の決定を担当している。

Ⅳ ニューズバル・ビームライン7B を用いた物性研究

Studies of Materials Physics using synchrotron radiation

春山雄一・松井真二

Haruyama, Y., Matsui, S.

ニューズバル・ビームライン 7B では、短尺アンジュレータから発生する軟 X 線を利用し、様々な物質の物性研究を行っている。ビームラインの改良によりエネルギー範囲が拡大され、40 - 800 eV の励起光が利用できるようになった。分析手法は、主に光電子分光法や吸収分光である。光電子分光法では、占有状態に関する情報（価電子帯、内殻準位）、吸収分光では、非占有状態に関する情報を得ることができる。これらの手法を用いて、炭素材料、遷移金属合金および機能性分子材料の物性評価研究、シリコン表面や酸化物表面と金原子との相互作用およびめっき鋼板上における酸化膜等の研究を行っている。

発表論文 List of Publications

- I -1 Kazuhiro Kanda, Jun-ya Igaki, Noriko Yamada, Reo Kometani, and Shinji Matsui, "Graphitization of thin films formed by focused-ion-beam chemical-vapor-deposition", *Diamond & Related Materials* 18, 490-492 (2009).
- I -2 Kazuhiro Kanda, Makoto Okada, Yuji Kang, Tsuneo Suzuki (長岡技大), and Shinji Matsui, "Departure Process of Ga from DLC Films Fabricated using Ga Focused Ion Beam Assisted Deposition by Heat Treatment", 16th International Conference on Surface Modification of Materials by Ion Beams (SMMIB2009), (Odaiba, Tokyo) 2009.

- I -3 Kazuhiro Kanda, Makoto Okada, Yuji Kang, Masahito Niibe, Tsuneo Suzuki (長岡技大), and Shinji Matsui, "Structural Changes in the DLC Films Fabricated using Ga Focused Ion Beam Assisted Deposition by Heat Treatment", 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2009), (Hokkaido, Sapporo), 2009.
- I -4 T. Kaito, H. Oba, Y. Sugiyama, A. Yasaka, J. Fujita, T. Suzuki, K. Kanda, and S. Matsui, "Deposition yield and physical property of carbon deposited by FIB-CVD", 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2009), (Hokkaido, Sapporo), 2009.
- I -5 神田一浩・岡田 真・姜 有志・松井真二：FIB-CVD 法で製膜した DLC 薄膜に対するアニール効果、第 56 回応用物理学関係連合講演会（つくば）2009.
- I -6 神田一浩・岡田 真・姜 有志・新部正人・鈴木常生（長岡技大）・松井真二：Ga FIB-CVD DLC 膜からのアニールによる Ga の脱離過程、第 70 回応用物理学会学術講演会（富山）2009.
- I -7 M. Okada, T. Nakayama (アルバック), Y. Kang, Y. Haruyama, K. Kanda, and S. Matsui, "Direct Patterning on Sol-Gel Low-*k* Porous Silica by Thermal Nanoimprinting", Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 06GL08
- I -8 M. Okada, M. Maeda (東京応化工業), S. Shimatani (東京応化工業), S. Otaka (東京応化工業), and S. Matsui, "Fabrication of Replica Mold by Room Temperature Nanoimprinting using Organic Spin-on-glass", J. Photopolym. Sci. Tech. 23, 65-68 (2010)
- I -9 M. Okada, T. Kishiro, K. Yanagihara, M. Ataka and S. Matsui, "Newly developed electron beam stepper for nanoimprint mold fabrication", J. Vac. Sci. Technol. B 28 (2010) 740
- II -1 神田一浩・赤坂大樹（長岡技大）・斎藤秀俊（長岡技大）・松井真二：軟 X 線照射による水素化 DLC 膜の改質、第 56 回応用物理学関係連合講演会（つくば）2009.
- II -2 遠藤祐輝（神戸大）・中村陽宏（神戸大）・森脇和幸（神戸大）・神田一浩・松井真二：放射光照射した石英系光導波路膜の表面還元、第 56 回応用物理学関係連合講演会（つくば）2009.
- II -3 神田一浩・新部正人・横田久美子（神戸大）・田川雅人（神戸大）・松井真二：高水素化 DLC 膜に対する軟 X 線照射効果、第 70 回応用物理学会学術講演会（富山）2009.
- II -4 横田久美子（神戸大）・田川雅人（神戸大）・松本康司（宇宙航空研）神田一浩・北村 晃（神戸大）：高水素化 DLC フィルムへの紫外線照射による脱水素化反応、第 50 回真空に関する連合講演会（東京）2009.
- III-1 Kazuhiro Kanda, Makoto Okada, Yuji Kang, Masahito Niibe, and Shinji. Matsui, "NEXAFS study of the annealing effect on the DLC films fabricated using Ga focused ion beam assisted deposition" 23rd Diamond Symposium, (Tsudanuma, Chiba), 2009.
- III-2 上村雅治(シンクロトロンアナリシス LLC)・長谷川孝行(シンクロトロンアナリシス LLC)・鶴井孝文(シンクロトロンアナリシス LLC)・清水政義(シンクロトロンアナリシス LLC)・雨宮健太(KEK-PF)・福島 整(物質材料研究機構)・太田俊明(立命館 SR センター)・元山宗之・神田一浩：ニュースバルにおける産業専用分析ビームラインの共用開始について、第 22 回日本放射光学界年会（東京）、2009.
- III-3 長谷川孝行（シンクロトロンアナリシス LLC）・上村雅治（シンクロトロンアナリシス

LLC)・鶴井孝文(シンクロトロンアナリシス LLC)・清水政義(シンクロトロンアナリシス LLC)・雨宮健太(KEK-PF)・福島 整(物質材料研究機構)・太田俊明(立命館 SR センター)・元山宗之・神田一浩: ニュースバルにおける産業用分析ビームライン(BL-5)の供用開始について、第 45 回 X 線分析討論会(大阪)、2009.

- IV-1 Y. Haruyama, M. Tagawa (神戸大), K. Yokota (神戸大), S. Matsui: Photoemission Study of Hydrogenated Amorphous Carbon Thin Films as a Function of Annealing Temperature, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **48**, 055505-3 (2009).
- IV-2 Y. Haruyama, T. Kitagawa (野村鍍金), S. Matsui, N. Toyoda, I. Yamada: Photoelectron Spectroscopy Study of the Valence Band Region in Diamond-like Carbon Thin Films, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **48**, 092301-4 (2009).
- IV-3 Y. Haruyama, M. Tagawa (神戸大), K. Yokota (神戸大), S. Matsui: NEXAFS study on annealing temperature dependence of hydrogenated amorphous carbon films, The 14th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (Camerino) 2009.
- IV-4 春山雄一・松井真二: 機能性ダイヤモンドライクカーボンの光電子分光による評価、電気学会光・量子デバイス研究会(神戸) 2009.
- IV-5 春山雄一・姜 有志・松井真二: フッ素含有ダイヤモンドライクカーボン薄膜の加熱温度依存性、日本物理学会 2009 年秋季大会(熊本) 2009.
- IV-6 Y. Haruyama, Y. Teraoka, and S. Matsui: Electronic structure near the surface region in the ternary transition metal alloy $Ti_{35}V_{25}Cr_{40}$ by photoemission, The 11-th International Conference on Electronic Spectroscopy & Structure (Nara) 2009.
- IV-7 春山雄一・寺岡有殿・松井真二: TiVCr 系水素吸蔵合金表面の電子状態、第 23 回日本放射光学学会年会・放射光科学合同シンポジウム(姫路) 2010.
- IV-8 TiVCr 系水素吸蔵合金表面の光電子分光 春山雄一・寺岡有殿・松井真二: 第 65 回物理学会年会(岡山) 2010.

科学研究費補助金等

- 1 経済省経済企画省 国際標準共同研究開発事業
研究課題 ダイヤモンドカーボン膜及び評価方法に関する標準化(平成 21 年度)
研究代表者 ニューダイヤモンドフォーラム、ナノテック(株)
研究分担者 神田一浩
- 2 科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業(平成 20~25 年度)
研究課題 超高速ナノインプリントリソグラフィ ―量産離型―
研究代表者 松井真二
- 3 文部科学省・科学研究費補助金(新学術領域)(平成 20~24 年度)
研究課題 ナノインプリントによる機能性分子の名の空間自己組織化制御
研究代表者 松井真二
研究分担者 神田一浩・春山雄一
- 4 文部科学省・科学研究費補助金(基盤研究(B))(平成 20~22 年度)
研究課題 集束イオンビーム 3 次元ナノ構造形成によるバイオナノツールの作製と評価
研究代表者 松井真二
研究分担者 神田一浩・八田公平