

I ナノ構造形成技術

Nanostructure Fabrication

松井真二・春山雄一
Matsui, S., Haruyama, Y.

ナノインプリントリソグラフィーは、ナノメートルスケールのパターンを有する金型（モールド）を樹脂（レジスト）に転写する事により、微細構造物を作製する技術である。簡便なプロセスで容易にナノ構造物を作製可能であることから、IT 分野、光学分野、環境・エネルギー分野、バイオ分野、など、様々な分野への応用が期待されている。ナノインプリントリソグラフィーおよび電子ビームリソグラフィーにより作製したナノ構造物の物性評価や新規現象探索を行っている。さらに、ナノインプリントリソグラフィーの特性を活かし、高機能性物質をパターンニングすることで高機能微細加工物を作製し、評価を行っている。

II ニュースバル・ビームラインを用いた物性研究

Studies of Materials Physics using synchrotron radiation

春山雄一・松井真二
Haruyama, Y., Matsui, S.

ニュースバル・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、光電子分光法と吸収分光である。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、機能性分子材料、炭素材料および遷移金属合金の物性評価研究、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 M. Chinen, Y. Sawada, Y. Haruyama, S. Matsui, M. Okada, and H. Hiroshima(AIST): Characterization of pentafluoropropane dissolved UV-nanoimprint resin, *J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC18-5, 2011, (DOI: 10.1116/1.3662856)
- I -2 Y. Kang, M. Okada, Y. Nakai, Y. Haruyama, K. Kanda, and S. Matsui: Mechanical characteristics of imprinted nanostructures fabricated with a poly(dimethylsiloxane) mold,

- J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC10-6, 2011, (DOI: 10.1116/1.3657520)
- I -3 M. Okada, Y. Haruyama, K. Kanda, and S. Matsui: Suitability of thin poly(dimethylsiloxane) as an antisticking layer for UV nanoimprinting, *J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC09-5, 2011, (DOI: 10.1116/1.3653226)
- I -4 M. Okada, Y. Haruyama, S. Matsui, H. Miyake(Daicel Co.), S. Iyoshi, T. Yukawa(Daicel Co.), and H. Takeuchi(Daicel Co.): Evaluation of fluorine additive effect on cationic UV-nanoimprint resin, *J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC04-4, 2011, (DOI: 10.1116/1.3653513)
- I -5 Y. Sawada, Y. Haruyama, K. Kanda, S. Matsui, M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), T. Ohsaki (Toyo Gosei), Y. Hirai(Osaka Pref Univ), and H. Hiroshima(AIST): Evaluation of the curing process of UV resins in a 1,1,1,3,3-pentafluoropropane gas environment by photo differential scanning calorimetry and Fourier transform infrared spectroscopy, *J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC05-4, 2011, (DOI: 10.1116/1.3656022)
- I -6 Y. Kang, M. Okada, S. Omoto, Y. Haruyama, K. Kanda, and S. Matsui: Room temperature nanoimprinting using spin-coated hydrogen silsesquioxane with high boiling point solvent, *J. Vac. Sci. Technol. B* 29, 06FC03-3, 2011, (DOI: 10.1116/1.3653227)
- I -7 M. Okada, M. Iwasa(), H. Hiroshima(AIST), Y. Haruyama, K. Kanda, and S. Matsui: Adhesion and frictional force measurements employing scanning probe microscopy in a pentafluoropropane gas atmosphere, *J. Vac. Sci. Technol. B* 30, 011601-3, 2012, (DOI: 10.1116/1.3665989)
- I -8 Y. Kang, Y. Nakai, M. Okada, Y. Haruyama and S. Matsui: Mechanical characteristics of nanostructures fabricated by nanoimprint, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -9 Y. Nakai, K. Yuji, M. Okada, Y. Haruyama, K. Kanda, T. Ichiahshi(NEC Co.) and S. Matsui: Annealing dependence of deposit morphology for Fe-Ga contained DLC film formed by FIB-CVD with ferrocene source gas, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -10 M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), S. Iyoshi, T. Yukawa(Daicel Co.), H. Takeuchi(Daicel Co.), Y. Haruyama and S. Matsui: Evaluation of effect of fluorine additive agent for cationic UV-nanoimprint resin, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -11 M. Okada, Y. Haruyama, K. Kanda and S. Matsui: Evaluation of PDMS thin layer as antisticking layer for UV nanoimprinting, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -12 S. Omoto, M. Okada, K. Yuji, Y. Nakai, Y. Haruyama, H. Umekawa(Tokuyama) and S. Matsui: Evaluation of SiOx containing UV nanoimprint resin, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -13 M. Chinen, M. Okada, Y. Haruyama, H. Hiroshima and S. Matsui: Effect evaluation of pentafluoropropane gas for UV nanoimprint resin by using contact angle meter, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -14 D. Yamashita, M. Okada, Y. Nakai, Y. Haruyama and S. Matsui: Comparison of surface

- condition of nanoimprint antisticking layers formed by CVD and dip-coat methods, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -15 Y. Sawada, M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), T. Ohsaki(Toyo Gosei), Y. Hirai(Osaka Pref Univ), Y. Haruyama, K. Kanda, H. Hiroshima and S. Matsui: Evaluation of curing process of UV resin in PFP gas ambient by photo-differential scanning calorimetry, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -16 M. Okada, M. Iwasa(SII NanoTechnology Inc.), Y. Haruyama, K. Kanda, H. Hiroshima(AIST) and S. Matsui: Adhesion and frictional forces measurement by scanning probe microscopy under pentafluoropropane gas atmosphere, The 55th International Conference on electron, ion, photon beam technology and fabrication, (Las Vegas), 2011
- I -17 Y. Kang, M. Okada, K. Kanda, Y. Haruyama, S. Matsui: SiO_x Moth-eye Structure Fabrication by Room-temperature Nanoimprint Using Hydrogen Silsesquioxane, The 12th International Conference on Radiation Curing in Asia, (Yokohama), 2011
- I -18 Y. Sawada, M. Okada, Y. Haruyam, K. Kanda, Y. Hirai(Osaka Pref Univ), S. Matsui: Evaluation of Synthesized Radical- and Cationic-UV Nanoimprint Resins, The 12th International Conference on Radiation Curing in Asia, (Yokohama), 2011
- I -19 M. Chinen, M. Okada, M. Iyo(Shin Nakamura Chemical Co.), S. Tachibana(Sugai Chemical Industry Co.), Y. Haruyama, K. Kanda, S. Matsui: Characteristics of Calixarene Derivative for UV-nanoimprinting, The 12th International Conference on Radiation Curing in Asia, (Yokohama), 2011
- I -20 M. Okada, M. Iwasa(SII NanoTechnology Inc.), Y. Haruyama, K. Kanda, Y. Hirai(Osaka Pref Univ), S. Matsui: Viscoelasticity Evaluation of UV Nanoimprint Resin by Scanning Probe Microscopy, The 12th International Conference on Radiation Curing in Asia, (Yokohama), 2011
- I -21 M. Okada, M. Iwasa, Y. Haruyama, K. Kanda, H. Hiroshima(AIST), S. Matsui: Release Effect Evaluation of Pentafluoropropane Gas by Scanning Probe Microscopy, Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -22 Y. Sawada, M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), T. Ohsaki(Toyo Gosei), Y. Hirai(Osaka Pref Univ), Y. Haruyama, K. Kanda, H. Hiroshima(AIST), S. Matsui: Evaluation of Curing Time and Calorific Value of UV-curable Resin Under Pentafluoropropane Gas Ambient by Photo-differential Scanning Calorimetry, Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -23 Y. Kang, Y. Nakai, M. Okada, Y. Haruyama, S. Matsui: Young's Modulus Measurement of Nanostructures Fabricated by Nanoimprint, Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -24 M. Chinen, M. Okada, Y. Haruyama, K. Kanda, H. Hiroshima(AIST), S. Matsui: Evaluation of Dynamic Wettability of UV Nanoimprint Resin Under Pentafluoropropane Gas Ambient by Dynamic Contact Angle Measurement, Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -25 S. Omot, M. Okada, Y. Kang, Y. Nakai, Y. Haruyama, H. Umekawa(Tokuyama), S. Matsui:

- Evaluation of SiO_x Containing UV Nanoimprint Curable Resin Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -26 D. Yamashita, M. Okada, Y. Nakai, Y. Haruyama, S. Matsui: Characterization of nanoimprint antisticking layers formed by cvd and dip-coat methods, Asian Nanoimprint Lithiography Symposium (Singapore), 2011
- I -27 M. Okada, K. Kuramoto(University of Hyogo), M. Iwasa(SII NanoTechnology Inc.), Y. Haruyama, S. Matsui: Characteristic evaluation of antisticking layer by scanning probe microscopy, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (Berlin), 2011
- I -28 M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), S. Iyoshi, T. Yukawa(Daicel Co.), H. Takeuchi(Daicel Co.), Y. Haruyama, S. Matsui: Effect evaluation of fluorine additive in UV nanoimprint resin, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (Berlin), 2011
- I -29 Y. Kang, M. Okada, Y. Haruyama, S. Matsui: Evaluation of liquid-phase HSQ resin for roomtemperature nanoimprinting, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (Berlin), 2011
- I -30 M. Okada, M. Kurita(University of Hyogo), M. Kondo(University of Hyogo), Y. Haruyama, N. Kawatsuki(University of Hyogo), S. Matsui: Investigation for orientation of photoinduced liquid crystalline polymer imprinted by using mold with various patterns, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (Berlin), 2011
- I -31 M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), S. Iyoshi, T. Yukawa(Daicel Co.), T. Katase(Meisyo Kiko), K. Tone(Meisyo Kiko), Y. Haruyama, S. Matsui: Double patterning nanoimprint lithography, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (Berlin), 2011
- I -32 M. Okada, Y. Haruyama, and S. Matsui: Characteristics of thin polydimethylsiloxane layer formed by using silane coupling agent, The 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (Jeju), 2011
- I -33 M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), S. Iyoshi, T. Yukawa(Daicel Co.), T. Katase(Meisyo Kiko), K. Tone(Meisyo Kiko), Y. Haruyama, and S. Matsui: Double patterning by UV-Nanoimprinting, The 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (Jeju), 2011
- I -34 Y. Sawada, M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), T. Ohsaki (Toyo Gosei), Y. Haruyama, Y. Hirai(Osaka Pref Univ), H. Hiroshima(AIST), and S. Matsui: Evaluation of polymerization degrees of UV-nanoimprinting patterns fabricated in PFP gas ambient, The 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (Jeju), 2011
- I -35 Y. Kang, M. Okada, Y. Haruyama, and S. Matsui: Characteristics of liquid-phase HSQ resin effects on the room-temperature nanoimprinting, The 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (Jeju), 2011
- I -36 M. Chinen, M. Okada, Y. Haruyama, and S. Matsui: Evaluation of interaction between UV-nanoimprint resin and antisticking layer by dynamic contact angle measurement, The 10th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (Jeju), 2011
- I -37 M. Okada, Y. Haruyama and S. Matsui: Double Patterning by Room-temperature Nanoimprint using Organic Spin-on-glass, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -38 S. Iyoshi, M. Okada, K. Kobayashi(Tohoku Univ.), S. Kaneko(Tohoku Univ.), T.

- Katase(Meisyo Kiko), K. Tone(Meisyo Kiko), Y. Haruyama, M. Nakagawa(Tohoku University), H. Hiroshima(AIST) and S. Matsui: Step and Repeat UV Nanoimprinting under Pentafluoropropane Gas Ambient, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -39 Y. Sawada, M. Okada, H. Miyake(Daicel Co.), T. Ohsaki (Toyo Gosei), Y. Haruyama, Y. Hirai(Osaka Pref Univ), H. Hiroshima(AIST) and S. Matsui: Evaluation of Polymerization Degrees of Patterns fabricated by UV-nanoimprint in PFP Gas Ambient, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -40 M. Okada, M. Iwasa(SII NanoTechnology Inc.), Y. Haruyama, H. Hiroshima(AIST) and S. Matsui: Evaluation of Fluorinated Self-assembled Monolayers under Pentafluoropropane Gas Ambient by Scanning Probe Microscopy, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -41 M. Chinen, M. Okada, Y. Haruyama and S. Matsui: Evaluation of Interaction Force between UV-nanoimprint Resin and Antisticking Layer by Dynamic Contact Angle Measurement, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -42 Y. Kang, Y. Nakai, M. Okada, Y. Haruyama and S. Matsui: Change in Young's Modulus of Imprinted Nanopillar after Residual Layer Removal by Reactive Ion Etching, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -43 D. Yamashita, M. Okada, Y. Nakai, Y. Haruyama and S. Matsui: Comparison of Surface Characterization of Antisticking Layer formed by CVD and Dip-coat Methods for Nanoimprint Lithography, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -44 Y. Nakai, Y. Kang, M. Okada, Y. Haruyama and S. Matsui: Development of the Thermal-actuators fabricated by FIB-CVD, 24st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (Kyoto), 2011
- I -45 Y. Kang, Y. Nakai, M. Okada, Y. Haruyama, and S. Matsui: Change in Young's modulus of imprinted nanopillar after reactive ion etching, The International Meeting on Novel Catalyst Design and Surface Science (Himeji), 2011
- I -46 M. Okada, Y. Haruyama, T. Sugimura(University of Hyogo), and S. Matsui: Nanostructure fabrication for catalysis by electron beam and nanoimprint lithographyies, The International Meeting on Novel Catalyst Design and Surface Science (Himeji), 2011
- I -47 M. Okada, M. Kurita(University of Hyogo), M. Kondo(University of Hyogo), Y. Haruyama, N. Kawatsuki(University of Hyogo), S. Matsui: Pattern Size Dependence of Reorientation of Photoinduced Liquid Crystalline Polymer by Thermal Nanoimprinting, 7th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (Kyoto), 2012
- I -48 岡田 真・春山雄一・松井真二：ポリジメチルシロキサン薄膜を離型膜として用いた UV ナノインプリント、2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会（山形）、2011
- I -49 大本慎也・岡田 真・姜 有志・春山雄一・梅川秀喜（トクヤマ）・松井真二：SiO_x成分含有有機光硬化樹脂を用いた UV ナノインプリントレプリカモールドの作製、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会（山形）、2011

- I -50 岡田 真・三宅弘人 (ダイセル)・伊吉就三・湯川隆夫 (ダイセル)・竹内秀和 (ダイセル)・春山雄一・松井真二：フッ素系添加剤含有カチオン重合系 UV ナノインプリントレジストの評価、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形)、2011
- I -51 知念美佳・岡田 真・春山雄一・廣島 洋 (産総研)・松井真二：FT-IR 測定による UV ナノインプリントレジストへの PFP ガスの溶解現象の観測、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形)、2011
- I -52 澤田陽平・岡田 真・三宅弘人 (ダイセル)・大幸武司 (東洋合成工業)・春山雄一・平井義彦 (大阪府大)・廣島 洋 (産総研)・松井真二：PFP ガス雰囲気下 UV ナノインプリントにより作製したレジストパターンの重合度評価、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形)、2011
- I -53 姜 有志・岡田 真・春山雄一・松井真二：ナノインプリントによって作製された微細構造のヤング率のアニール効果、2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会 (山形)、2011
- I -54 岡田 真・三宅弘人 (ダイセル)・湯川隆生 (ダイセル)・利根克彦 (明昌機工)・片瀬徹也 (明昌機工)・伊吉就三・春山雄一・松井真二：ナノインプリントによるダブルパターンングプロセス、2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会 (東京)、2012
- I -55 姜 有志・中井康喜・岡田 真・春山雄一・松井真二：ナノインプリントによって作製された微細構造の機械的振動評価、2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会 (東京)、2012
- II -1 Y. Haruyama, Y. Kang, M. Okada, S. Matsui: Electronic structure of fluorinated diamond-like carbon thin films as a function of annealing temperature using photoelectron spectroscopy, *J. Electron Spectrosc. Related Phenom* 184, 276-279, 2011, (DOI: 10.1016/j.elspec.2011.02.005)
- II -2 K. Kanda, N. Yamada, K. Yokota(Kobe University), M. Tagawa(Kobe University), M. Niibe, M. Okada, Y. Haruyama, and S. Matsui: Fabrication of Fluorine-terminated Diamond-Like Carbon Thin Film Using a Hyperthermal Atomic Fluorine Beam, *Diamond and Related Materials* 20, 703-706, 2011, (DOI: 10.1016/j.diamond.2011.03.010)
- II -3 K. Arai(University of Tokyo), T. Okuda(Hiroshima University), K. Fukumoto(JASRI), M. Kotsugi(JASRI), T. Ohkouchi(JASRI), K. Kodama(JASRI), T. Kimura(Kyushu University), Y. Haruyama, T. Nakamura(JASRI), T. Matsushita(JASRI), T. Muro(JASRI), S. Matsui, A. Kakizaki(University of Tokyo), Y. Otani(University of Tokyo), and T. Kinoshita(JASRI): Dynamics of Magnetostatically Coupled Vortices Observed by Time-Resolved Photoemission Electron Microscopy, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50, 053001-6, 2011, (DOI: 10.1143/JJAP.50.053001)
- II -4 Y. Ikemoto(JASRI), M. Ishikawa(Osaka University), S. Nakashima(Osaka University), H. Okamura(Kobe University), Y. Haruyama, S. Matsui, T. Moriwaki(JASRI), T. Kinoshita(JASRI): Development of scattering near-field optical microspectroscopy apparatus using an infrared synchrotron radiation source, *Optics Communications* 285 2212-2217, 2012, (DOI: 10.1016/j.optcom.2011.12.106)
- II -5 Y. Haruyama, Y. Aiura(AIST), H. Bando(AIST), and S. Matsui: Electronic structure of the Au-SrTiO₃(100) surface by photoelectron spectroscopy, *The International Meeting on Novel Catalyst Design and Surface Science (Himeji)*, 2011
- II -6 右田 翼 (工学部)・杉江他曾宏 (工学部)・松尾吉晃 (工学部)・小島宏太 (工学部)・倉本 圭 (工学部)・春山雄一・松井真二：ゼオライトを触媒として用いた水の直接熱分解、第 30 回

- エネルギー・資源学会研究発表会（東京）、2011
- II-7 春山雄一・岡田 真・中井康喜・石田敬雄（産総研）・松井真二：フッ素含有自己組織化膜の電子状態、日本物理学会 2011 年秋季大会（富山）、2011
- II-8 春山雄一・岡田 真・中井康喜・石田敬雄（産総研）・松井真二：NEXAFS 測定によるフッ素含有自己組織化膜の評価、第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（鳥栖）、2012
- II-9 春山雄一・山下大輔・岡田 真・松井真二：CVD 法により作成したフッ素含有薄膜の電子状態、第 67 回物理学会年会（西宮）、2012

大学院物質理学研究科

博士後期過程

岡田 真：ナノインプリントにおける離型メカニズムに関する研究

博士前期過程

山下大輔：化学気相成長法で作成した離型膜の特性評価に関する研究

大本慎也：高解像度ネガ型レジスト HSQ の電子ビーム露光特性に関する研究

中井康喜：集束イオンビーム励起化学気相成長法を用いて作製した 3 次元構造物の特性評価

科学研究費補助金等

- 1 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
- 2 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空間自己組織化制御
研究代表者 松井真二
研究分担者 春山雄一
- 3 独立行政法人日本学術振興会・科学研究費補助金（特別研究員奨励費）（平成 21～平成 23 年度）
研究課題 ナノインプリントにおけるナノ離型メカニズムに関する研究
研究代表者 岡田 真
- 4 独立行政法人日本学術振興会・科学研究費補助金（特別研究員奨励費）（平成 23～平成 25 年度）
研究課題 室温ナノインプリントの転写メカニズム解明とその応用に関する研究
研究代表者 姜 有志