

「エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製」

平成 14 年度採択研究代表者

鯉沼 秀臣

(東京大学新領域創成科学研究科 客員教授)

「電界効果型ナノ構造光機能素子の集積化技術開発」

1. 研究実施の概要

酸化物および有機・分子について、ナノ構造機能開発の舞台となる表面・界面を超平坦化する方法を開発し、レーザーMBE 法による分子層エピタキシー技術と組み合わせることにより、原子レベルで規定した薄膜と積層デバイスの作製を可能にした。また、研究を加速的に推進する手法として、世界に先駆けて開発を進めてきたコンビナトリアル材料研究システムをさらに発展させ、モジュール型の超クリーン集積化ナノ材料作製・評価システムの開発を開始した。本研究では、重点目標として不純物のドーブという欠陥誘起を伴う方法に代わり、電界効果によるクリーン電荷制御技術を用いて、構成層、表面・界面、チャネルのナノサイズ制御をベースとする新エネルギー利用システムの構築を掲げている。特筆すべき成果として、原理的な可能性が示唆されていても実験的に証明されることのなかった電界効果素子と光応用デバイスの実証があげられる。以下に、コンビナトリアル技術を使って研究を加速的に展開した研究開発の成果を述べる。

1、有機半導体電界効果デバイス及び光デバイスの開発 (鯉沼・伊高 Gr)

有機薄膜成長におけるホモ成長・ヘテロ成長の違いや分子ぬれ性の概念に注目し、結晶性を大きく制御することが可能であることを明らかにした。この技術を応用した新規電界デバイスの開発を行い、世界最高の移動度 ($\sim 5\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) をもつ n 型有機トランジスタの作製に成功した。すでに p 型の有機半導体トランジスタでアモルファスシリコンの移動度を超えるものも作製に成功しており、両極性トランジスタや太陽電池などの光デバイスへ展開する研究が鋭意進行中である。

2、酸化物・窒化物電子材料における表面処理・薄膜成長技術と電界効果への展開

(松本、角谷、鯉沼 Gr)

コンビ手法による高速最適化によって実現した二酸化チタン単結晶表面の原子レベル平坦化は、基礎的・応用的にも大きな分野を開きつつある。特に、二酸化チタンの電界効果トランジスタの作製に世界で初めて成功した。一方、我々が報告してきた室温透明磁性体 $\text{Co}:\text{TiO}_2$ のメカニズムは次第に解明されつつあり、キャリアに依存したスピントロニクスな現象であり、物理的にも応用的にも大きな関心を集め、電界効果と磁性を結びつけた新機能デバイスの可能性を追求している。

酸化亜鉛は、エキシトンによる低いしきい値のレーザー発振などの利点をもっているが、再現性よくp型化するのが困難で発光素子への展開を妨げてきた。こうした中で東北大川崎研との共同研究において開発された成長温度変調法と PLD 法を組み合わせることにより、再現性よくバンド端で LED 発光させることに初めて成功した。今後、量産可能なプロセスへの展開を行っている。

また、光触媒としてよく知られる酸化チタンや、本研究課題で光触媒機能が見いだされた窒化ガリウムをベースとしてコンビナトリアル手法による高機能光触媒探索や可視光化を進めて、また光触媒の機構解明も行っていく。

3、デスクトップ型ナノ構造材料の集積合成・評価システムの開発(鯉沼 Gr.)

上記研究を加速する超小型・規格化コンビナトリアルシステムとその付帯部材を設計し、プロトタイプとなる超小型製膜モジュールを開発した。また、それと同サイズの評価モジュールを設計し、組み替え可能なデスクトップ超クリーン製膜・評価システムの最小ユニットを作製した。

4、有機・分子エレクトロニクスへの革新的アプローチ(和田、福元 Gr)

分子エレクトロニクスを具現化するには、高分子の典型的なサイズであるナノレベルギャップの電極やナノレベル平坦性基板が必須となる。最先端の微細加工技術、CMP 技術、貼り合わせ技術を駆使することにより、微小ギャップ電極をもつナノレベル平坦性の基板の作製に成功した。この開発された基板と有機合成レベルで新たにデザインされた分子を用いて、分子デバイスへの展開を進めている。

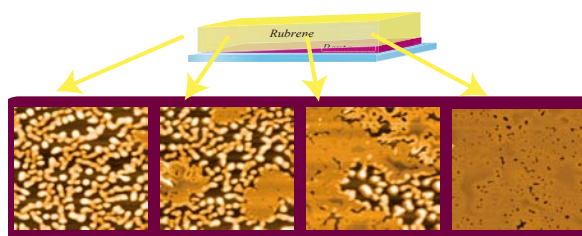


図1. ペンタセンバッファーを0～1分子層まで連続的に変化させたときのルブレンの成長。ペンタセン1分子層のときに平坦で結晶性のあるルブレン薄膜が得られた。

2. 研究実施内容

(1)分子ぬれ性の概念に基づく新しい結晶性有機薄膜の合成方法の開発

ルブレンは、単結晶電界効果トランジスタで $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える移動度が報告されており、これまでによく知られているペンタセンを遙かに凌ぐ電子特性を持っているが、結晶性の薄膜の作製が困難であるために実用的な薄膜トランジスタの報告例がなかった。我々はペンタセンの単分子層をバッファーとすることによって、図1のようにルブレンが結晶化することを見だし、世界で初めてルブレンの薄膜トランジスタの作製に成功した。

(2)両極性電界効果デバイスをにらんだ新規 π 共役有機半導体の合成とデバイス化

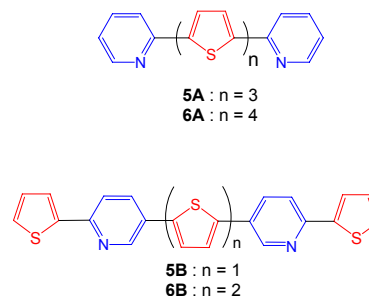


図2. 新たに合成された π 共役有機半導体の分子構造。

有機金属錯体を触媒として用いることにより、 π 共役オリゴチオフェン-ピリジン誘導体を組み合わせた新規半導体の合成に成功した(図2)。これらのオリゴチオフェンは溶液および固体状態で発光を示す。チオフェン環-ピリジン環の順序、個数を制御することによって、電界効果デバイスの制御が可能になると考えられる。

既に合成された材料の 5A ($n=3$)の結晶性薄膜については、良好なp型 FET 動作することがわかった。

(3) 単一ペンタセン結晶粒の電気特性計測に成功

半導体デバイスは結晶粒界が存在することによってその性能が低下する。多結晶粒からなる薄膜でもそれぞれの結晶粒は単結晶であり、この単一結晶粒のデバイスを評価することは有機半導体のポテンシャルを探る上でも重要である。100nm 級微細加工技術を駆使し、単一結晶粒および単一結晶粒界の抵抗測定を行った。単一結晶粒および単一結晶粒界抵抗は約 10M Ω 、結晶粒界抵抗は約 100M Ω と算出され、薄膜の高品質化によって結晶粒界を低減できれば、まだ十倍以上の特性向上を図れることが判明した。

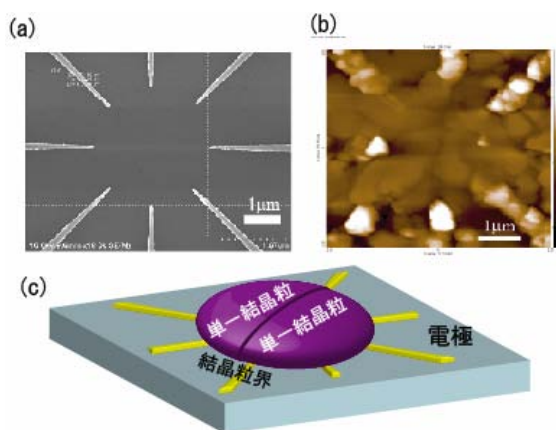


図 3. (a) 微細探針先端構造(走査型電子顕微鏡像) (b) 有機薄膜堆積後の原子間力顕微鏡像 (c) 微細電極上の有機結晶粒の様子

(4) エンジニアプラスチックである液晶ポリマーの薄膜化と保護膜への展開

近年、エンジニアプラスチックとして高い耐熱性、耐水性をもつ液晶ポリマーが注目されている。しかしながら、これまでに気相法による薄膜成功例がなく、液晶ポリマーの応用が制限されてきた。そこで、パルスレーザー堆積法を用いることによって、液晶ポリマーの薄膜化に初めて成功し、この薄膜が有機デバイスの保護膜として機能することを確認した。

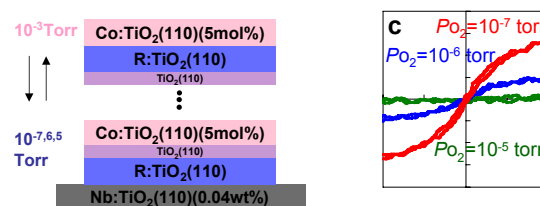


図4、超平坦二酸化チタンルチル基板上のCo:TiO₂/TiO₂人工格子と強磁性カー効果の酸素分圧依存性

(5) TiO₂を活性層とする新規電界効果トランジスタの作製

TiO₂ は光触媒や太陽電池などの観点からだけではなく、電子・磁性材料としても近年注目を集め始めている。その物性の多くはキャリア濃度に強く依存するため、電界効果を用いてTiO₂のキャリアを制御できれば、電子・磁性材料としての幅広い応用が期待される。しかし、これまで TiO₂ の電界効果デバイスの研究報告例はなかった。本PJで開発されたルチル原子レベル平坦性基板を

用いることによって初めて TiO_2 電界効果トランジスタの動作を確認した。

(6) 室温透明強磁性体 $\text{Co}:\text{TiO}_2$ の磁性の起源の解明

我々が発見した $\text{Co}:\text{TiO}_2$ 室温透明磁性体の起源を探ることは、新たな強磁性体材料探索に大きな指針となる。ところがいまだ解明されておらず、主に金属の析出によるクラスター説とキャリア誘起による希薄磁性半導体説の二説が唱えられている。我々は $\text{Co}:\text{TiO}_2$ がキャリア誘起磁性であるとの観点から、界面での内部電界効果を利用した“界面キャリア注入法”を新たに考案し、強磁性制御を試みた。成長中の酸素雰囲気を変調させ、絶縁体の $\text{Co}:\text{TiO}_2$ 薄膜と酸素欠損の TiO_2 薄膜とを交互に積層した超格子(図4左)を作製した。 TiO_2 薄膜の酸素欠損量の増大につれて、磁気光学効果が増大することを見いだされ(図4右)、 $\text{Co}:\text{TiO}_2$ 薄膜の強磁性がキャリア誘起強磁性であることを強く裏付けた。

(7) GaN 薄膜の立体選択成長法と表面極性パターンニング

GaN は結晶学的に極性を持っており、この制御は太陽電池をはじめとする新規デバイスへの展開が考えられる。GaN 薄膜の極性は、主にサファイア基板の処理方法によって決定されることを明らかにしてきた。そして、デバイス応用に向けてサファイア基板表面を硝酸溶液処理や電子線処理といった方法を見出し、GaN 薄膜の極性構造を1つの基板上で制御することに成功した。サファイア基板を電子線処理して、GaN 薄膜による数ミクロン周期のグレーティング構造が実現している。グレーティング構造は1つのフォトニック結晶と考えることができるので、光の波長変換機能素子としての応用や ZnO 発光デバイスからの光を直接変調することも可能である。

3. 研究実施体制

「鯉沼」グループ

- ①研究分担グループ長：鯉沼 秀臣（東京大学新領域、客員教授）
- ②研究項目：非晶質 Si で提案・検証してきた電界効果型太陽電池の構造最適化を行い、特性向上を図る。有機材料や酸化物を用いた電界効果の機能、デバイス特性向上や新機能発現を探索する。具体的には、高耐圧絶縁膜の作製、原子レベル平坦基板を用いた有機デバイスの作製などを行う。これらの技術は電界効果を用いた光触媒にも応用できる。また、薄膜デバイス作製を一括して行う標準化サイズのマルチチャンバーアレーを設計し、試作する。

「松本」グループ

- ①研究分担グループ長：松本 祐司（東工大フロンティア、講師）
- ②研究項目：酸化物基板の超平坦化技術の開発、酸化物を用いた電界効果の機能、デバイス特性向上、光触媒機能の解明を行う。具体的には、酸化チタン、窒化ガリウムを中心とする材料系で研究を進める。また、これらの技術を光触媒の電界効果にも応用する。

「福元」グループ

- ①研究分担グループ長：福元 博基（東工大資源研、助手）
- ②研究項目：ナノスケールFETの作製にふさわしい π 共役有機分子（低分子、高分子）の分子設計を行い、それに基づいて合成を行う。得られた π 共役分子の薄膜化レベルでの精製装置の開発を確立する。また、合成した有機分子の薄膜化を行い、目的とするデバイスの諸評価を検討する。

「角谷」グループ

- ①研究分担グループ長：角谷 正友（物質・材料研究機構、主任研究員）
- ②研究項目：新装置の開発を通して、地球上に最も多く存在する酸化物や窒化物半導体薄膜の高品質化を図り、内部電界効果を利用した新機能探索と太陽電池などのデバイス展開の可能性を追求する。具体的には、MOCVD法による酸化亜鉛の薄膜合成を中心に研究を展開する。

「和田」グループ

- ①研究分担グループ長：和田 恭雄（早稲田大ナノテクノロジー研究所、教授）
- ②研究項目：有機ナノ構造による機能素子の実現、素子の集積化技術の開発を行う。具体的には、コンビ型のナノデバイス基板・ナノ有機分子膜形成技術により、原子レベルの構造制御技術を確立し、ナノチャネル長有機分子電界効果トランジスタ、ナノ有機分子レーザーなど、電界効果による電子・光機能素子を開発すると共に、高機能集積化素子技術を確立する。

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1）論文（原著論文）発表

- 伊高健治, 山城貢, 南風盛将光, 山口潤, 鯉沼秀臣, “バッファー成長法による π 共役有機薄膜の高品質化”, 日本結晶成長学会誌, **32**, 59-65, 2005.
- 角谷正友, 福家俊郎, “極性構造から見たGa_N薄膜成長におけるサファイア基板上低温バッファ層の機能”, 日本結晶成長学会誌, **32**, 66-73, 2005.
- 松木伸行, 藤岡洋, 鯉沼秀臣, “電界効果型a-Si:H太陽電池-コンビナトリアルテクノロジーによる新構造太陽電池の開発”, 工業材料, **53**, 40-44, 2005.
- 福元博基, 山本隆一, “組成制御されたポリピリジンの合成と物性評価”, 高分子加工, **54**(9), 8-14, 2005.
- K. Horiba, A. Chikamatsu, H. Kumigashira, M. Oshima, N. Nakagawa, M. Lippmaa, K. Ono, M. Kawasaki, H. Koinuma, “In vacuo photoemission study of atomically controlled La_{1-x}Sr_xMnO₃ thin films: Composition dependence of the electronic structure”, Physical

- Review B, **71**(15), 155420 , 2005.
- T. Makino, Y. Segawa, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Optical properties of excitons in ZnO-based quantum well heterostructures"*, Semiconductor Science and Technology, **20**(4), S78-S91, 2005.
 - W. Q. Lu, Y. Yamamoto, V. V. Petrykin, M. Kakihana, H. Koinuma, K. Shibuya, M. Lippmaa, Y. Matsumoto, *"Flux-assisted reactive solid phase epitaxy of highly c-axis oriented $Ru(Eu_{1.5}Ce_{0.5})Sr_2Cu_2O_{10}$ thin films"*, Physica C-Superconductivity and Its Applications, **422**(1-2), 46-50, 2005.
 - K. Arai, J. Yamaguchi, M. Haemori, K. Itaka, H. Koinuma, *"Fabrication of liquid crystal polymer films and their passivation effect for organic devices"*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, **44**(6A), 4164-4166, 2005.
 - A. Chikamatsu, H. Wadati, M. Takizawa, R. Hashimoto, H. Kumigashira, M. Oshima, A. Fujimori, N. Hamada, T. Ohnishi, M. Lippmaa, K. Ono, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"In situ angle-resolved photoemission study on $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ thin films grown by laser MBE"*, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **144**, 511-514, 2005.
 - M. Haemori, J. Yamaguchi, S. Yaginuma, K. Itaka, H. Koinuma, *"Fabrication of highly oriented rubrene thin films by the use of atomically finished substrate and pentacene buffer layer"*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, **44**(6A), 3740-3742, 2005.
 - R. Hashimoto, A. Chikamatsu, H. Kumigashira, M. Oshima, N. Nakagawa, T. Ohnishi, A. Lippmaa, H. Wadati, A. Fujimori, K. Ono, A. Kawasaki, H. Koinuma, *"Spectral evidence for inherent "dead layer" formation at $La_{1-y}Sr_yFeO_3/La_{1-x}Sr_xMnO_3$ heterointerface"*, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **144**, 479-481, 2005.
 - K. Horiba, M. Taguchi, N. Kamakura, K. Yamamoto, A. Chainani, Y. Takata, E. Ikenaga, H. Namatame, A. Taniguchi, A. Awaji, A. Takeuchi, D. Miwa, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, H. Kumigashira, M. Oshima, M. Lippmaa, M. Kawasaki, H. Koinuma, K. Kobayashi, S. Shin, *"Hard X-ray photoemission study of Mn 2p core-levels of $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ thin films"*, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **144**, 557-559, 2005.
 - D. Kobayashi, R. Hashimoto, A. Chikamatsu, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Ohnishi, M. Lippmaa, K. Ono, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Sr surface segregation and water cleaning for atomically controlled $SrTiO_3(001)$ substrates studied by photoemission spectroscopy"*, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **144**, 443-446, 2005.
 - T. Ohsawa, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *"Photochemical identification of a possible adsorbed pentacene molecule on the $SrTiO_3(001)$ "*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, **44**(6A), 4142-4144, 2005.

- H. Wadati, D. Kobayashi, A. Chikamatsu, R. Hashimoto, M. Takizawa, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Mizokawa, A. Fujimori, M. Oshima, M. Lippmaa, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"In situ photoemission study of $La_{1-x}Sr_xFeO_3$ epitaxial thin films"*, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **144**, 877–880, 2005.
- J. Yamaguchi, S. Yaginuma, M. Haemori, K. Itaka, H. Koinuma, *"An in-situ fabrication and characterization system developed for high performance organic semiconductor devices"*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1–Regular Papers Short Notes & Review Papers, **44**(6A), 3757–3759, 2005.
- Naraso, J. I. Nishida, S. Ando, J. Yamaguchi, K. Itaka, H. Koinuma, H. Tada, S. Tokito, Y. Yamashita, *"High-performance organic field-effect transistors based on π -extended tetrathiafulvalene derivatives"*, Journal of the American Chemical Society, **127**(29), 10142–10143, 2005.
- T. Edura, J. Mizuno, K. Tsutsui, M. Saito, M. Tokuda, H. Onozato, T. Koizumi, Y. Wada, M. Haemori, H. Koinuma, *"Fabrication of flat micro-gap electrodes for molecular electronics"*, Electrical Engineering in Japan, **152**(2), 39–46, 2005.
- K. Itaka, N. Myojin, M. Yamashiro, J. Yamaguchi, H. Koinuma, *"Molecular beam epitaxy of highly oriented pentacene thin films on an atomically flat sapphire substrate"*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1–Regular Papers Brief Communications & Review Papers, **44**(8), 6249–6251, 2005.
- M. Takizawa, D. Toyota, H. Wadati, A. Chikamatsu, H. Kumigashira, A. Fujimori, M. Oshima, Z. Fang, M. Lippmaa, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Manifestation of correlation effects in the photoemission spectra of $Ca_{1-x}Sr_xRuO_3$ "*, Physical Review B, **72**(6), 060404, 2005.
- K. Itaka, T. Wakisaka, I. Mihara, S. Yaginuma, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *"Sharp metal-insulator transition in $Sr(Ti_{1-x}V_x)O_3$ thin films on $SrTiO_3$ substrates"*, Thin Solid Films, **486**(1–2), 222–225, 2005.
- U. S. Joshi, R. Takahashi, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *"Structure of NiO and Li -doped NiO single crystalline thin layers with atomically flat surface"*, Thin Solid Films, **486**(1–2), 214–217, 2005.
- H. Koinuma, *"Chemistry and electronics of oxides from carbon dioxide to perovskite"*, Thin Solid Films, **486**(1–2), 2–10, 2005.
- W. Q. Lu, Y. Yamamoto, V. V. Petrykin, M. Kakihana, Y. Matsumoto, U. S. Joshi, H. Koinuma, T. Hasegawa, *" c -axis oriented epitaxial $Ru(Eu_{1.5}Ce_{0.5})Sr_2Cu_2O_{10-d}$ thin films grown by flux-mediated solid phase epitaxy"*, Thin Solid Films, **486**(1–2), 79–81, 2005.
- N. Matsuki, Y. Abiko, K. Miyazaki, M. Kobayashi, H. Fujioka, H. Koinuma, *"Field-effect a -Si : H solar cells with transparent conductive oxide comb-shaped electrodes"*, Thin

- Solid Films, **486**(1-2), 210-213, 2005.
- Y. Matsumoto, T. Ohsawa, R. Takahashi, H. Koinuma, *"Surface termination effect on the photocatalysis on atomically controlled SrTiO₃(001) surface"*, Thin Solid Films, **486**(1-2), 11-14, 2005.
 - T. Mihara, K. Shibuya, T. Ohnishi, H. Koinuma, M. Lippmaa, *"Transport properties of ultrathin oxide films and nanostructures"*, Thin Solid Films, **486**(1-2), 63-66, 2005.
 - K. Shibuya, T. Ohnishi, T. Uozumi, M. Lippmaa, H. Koinuma, *"The effect of annealing on SrTiO₃ field-effect transistor devices"*, Thin Solid Films, **486**(1-2), 195-199, 2005.
 - S. Yaginuma, J. Yamaguchi, K. Itaka, H. Koinuma, *"Pulsed laser deposition of oxide gate dielectrics for pentacene organic field-effect transistors"*, Thin Solid Films, **486**(1-2), 218-221, 2005.
 - T. Makino, Y. Segawa, S. Yoshida, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Free-carrier effects on zero- and one-phonon absorption onsets of n-type ZnO"*, Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Brief Communications & Review Papers, **44**(10), 7275-7280, 2005.
 - D. Toyota, I. Ohkubo, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Ohnishi, M. Lippmaa, M. Takizawa, A. Fujimori, K. Ono, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Thickness-dependent electronic structure of ultrathin SrRuO₃ films studied by in situ photoemission spectroscopy"*, Applied Physics Letters, **87**(16), 162508, 2005.
 - T. Makino, Y. Segawa, S. Yoshida, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, M. Kawasaki, H. Koinuma, *"Spectral shape analysis of ultraviolet luminescence in n-type ZnO:Ga"*, Journal of Applied Physics, **98**(9), 093520, 2005.
 - T. Ohnishi, M. Lippmaa, T. Yamamoto, S. Meguro, H. Koinuma, *"Improved stoichiometry and misfit control in perovskite thin film formation at a critical fluence by pulsed laser deposition"*, Applied Physics Letters, **87**(24), 241919, 2005.
 - T. Edura, H. Takahashi, M. Nakata, K. Tsutsui, K. Itaka, H. Koinuma, J. Mizuno, Y. Wada, *"Electrical characterization of single grain and single grain boundary of pentacene thin film by nano-scale electrode array"*, Current Applied Physics, **6**(1), 109-113, 2006.
 - M. Haemori, T. Edura, K. Tsutsui, K. Itaka, Y. Wada, H. Koinuma, *"Fabrication of combinatorial nm-planar electrode array for high throughput evaluation of organic semiconductors"*, Applied Surface Science, **252**(7), 2568-2572, 2006.
 - K. Itaka, M. Yamashiro, J. Yamaguchi, S. Yaginuma, M. Haemori, H. Koinuma, *"Combinatorial approach to the fabrication of organic thin films"*, Applied Surface Science, **252**(7), 2562-2567, 2006.
 - U. S. Joshi, Y. Matsumoto, K. Itaka, M. Sumiya, H. Koinuma, *"Combinatorial synthesis of Li-doped NiO thin films and their transparent conducting properties"*, Applied Surface

- Science, **252**(7), 2524–2528, 2006.
- M. Katayama, K. Itaka, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *“Design and development of an ultra-compact drum-shaped chamber for combinatorial pulsed laser deposition”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2461–2465, 2006.
 - H. Koinuma, T. Chikyow, *“Special issue – CMST-3 – Proceedings of the Third Japan-US Workshop on Combinatorial Material Science and Technology – Loisir Hotel, Okinawa, Japan 7–10 Decemeber, 2004 – Preface”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2445–2445, 2006.
 - T. Ohnishi, H. Koinuma, M. Lippmaa, *“Pulsed laser deposition of oxide thin films”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2466–2471, 2006.
 - H. Sano, T. Matsumoto, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *“A combinatorial approach to the discovery and optimization of $YCa_4O(BO_3)_3$ -based luminescent materials”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2493–2496, 2006.
 - R. Takahashi, Y. Yonezawa, M. Ohtani, A. Kawasaki, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *“Combinatorial exploration of flux material for $Bi_4Ti_3O_{12}$ single crystal film growth”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2477–2481, 2006.
 - R. Takahashi, Y. Yonezawa, M. Ohtani, M. Kawasaki, K. Nakajima, T. Chikyow, H. Koinuma, Y. Matsumoto, *“Perfect $Bi_4Ti_3O_{12}$ single-crystal films via flux-mediated epitaxy”*, Advanced Functional Materials, **16**(4), 485–491, 2006.
 - K. Hiram, S. Miyamoto, H. Matsudaira, K. Yamada, H. Kwarada, T. Chikyo, H. Koinuma, K. Hasegawa, H. Umezawa, *“Characterization of diamond metal-insulator-semiconductor field-effect transistors with aluminum oxide gate insulator”*, Applied Physics Letters, **88**(11), 112117, 2006.
 - Keisuke Ohara, Takeo Ohsawa, Hideomi Koinuma, Yuji Matsumoto, *“Photochemical Approach to Analysis of Ferroelectric Transition in $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ Epitaxial Films”*, Japanese Journal of Applied Physics Part 2–Letters, **45**(11), L339, 2006.
 - S. Meguro, M. Lippmaa, T. Ohnishi, T. Chikyow, H. Koinuma, *“XML-based data management system for combinatorial solid-state materials science”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2634–2639, 2006.
 - T. Ohsawa, K. Nakajima, Y. Matsumoto, H. Koinuma, *“Combinatorial discovery of anomalous substrate effect on the photochemical properties of transition metal-doped epitaxial $SrTiO_3$ heterostructures”*, Applied Surface Science, **252**(7), 2603–2607, 2006.
 - Sohei Okazaki, Noriaki Okazaki, Xiaoru Zhao, Hidetaka Sugaya, Sei-Ichiro Yaginuma, Ryota Takahashi, Makoto Murakami, Yuji Matsumoto, Toyohiro Chikyow, Hideomi Koinuma, Tetsuya Hasegawa, *“High-throughput characterization of local conductivity of $Nd_{0.9}Ca_{0.1}Ba_2Cu_3O_{7-d}$ thin film by the low-temperature scanning microwave*

microscope”, Applied Surface Science, 252(7), 2615–2621, 2006.

- Z. K. Tang, M. Kawasaki, A. Ohtomo, H. Koinuma, Y. Segawa, “Self-assembled ZnO nano-crystals and exciton lasing at room temperature”, Journal of Crystal Growth, 287(1), 169–179, 2006.
- X. R. Zhao, W. Q. Lu, S. Okazaki, Y. Konishi, K. Akahane, T. Ishibashi, K. Sato, Y. Matsumoto, H. Koinuma, T. Hasegawa, “High-throughput characterization of $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ combinatorial thin films by magneto-optical imaging technique”, Applied Surface Science, 252(7), 2628–2633, 2006.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数:3 件(CREST 研究期間累積件数:19 件)