

「新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製」

平成 13 年度採択研究代表者

大串 秀世

(産業技術総合研究所 ダイヤモンド研究センター 招聘研究員)

「高密度励起子状態を利用したダイヤモンド紫外線ナノデバイスの開発」

1. 研究実施の概要

本研究では、当チームが見出した高品質ダイヤモンド薄膜における励起子の紫外線発光の特異な非線形現象を発光デバイス等のナノデバイスに利用することを目的に、ダイヤモンドの高密度励起子の発光機構解明やダイヤモンドによる紫外発光ナノデバイスの製作を行う。平成 13 年度の 4 ヶ月の準備期間を経て、平成 14 年から本格的研究に入り、ダイヤモンドの励起子による発光機構の解明と発光デバイスの製作に関して 90% 近く達成でき、最終年度に向かって十分な準備ができたと考えている。

発光機構の解明については、今までに非線形効果がボーズ粒子である励起子の Bose-Einstein 凝縮(BEC)と強い相関があることを明らかにし、ダイヤモンドの励起子による BEC の実現が可能であることを指摘してきた。そして、前年度までに、BEC の特徴である励起子ガスの化学ポテンシャルがゼロになる条件を見出すことに成功した。この結果は試料の格子温度と励起子ガス温度が平衡状態になっている条件で達成されたものであり、擬平衡状態で励起子ガスの化学ポテンシャルがゼロになる結果は世界初である。今年度はこの化学ポテンシャルがゼロである証拠をいろいろな角度から検証し、いくつかの試料において化学ポテンシャルがゼロになるに必要な高密度な励起子 ($> 4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ at 40 K) の存在を確認した。さらに、昨年度までにほぼ完成した発光領域の空間分布測定可能な超真空一高励起カソードルミネッセンス装置を用いた実験により、励起子密度が BEC の臨界密度になった時期待たれる超流動現象に関連した現象を観測することに成功した。

pn 接合による発光ダイオードの試作・評価については、昨年度成功した (001) 面リンドープの n 型ダイヤモンド薄膜をベースに、(001) 面 pn 接合を作製しその電気的な特性と発光特性を評価し、現段階で (100) 面を用いた世界最高の性能を持つ pn 接合ダイオードの製作とこれにより電流注入により励起子による 235nm の波長を持つ紫外線発光を室温下で観測することに成功した。

2. 研究実施内容

2-1 研究目的

ダイヤモンドが半導体材料として将来実用に資するために必要なことは、ダイヤモンドだけにしか期待できない新しい原理・現象を持っていることである。この観点で、励起子

による Bose-Einstein 凝縮 (BEC) を利用した発光デバイスの提案ができれば、新原理による紫外発光デバイスとして、水銀レスの蛍光灯への応用をはじめ多くの可能性が期待でき、そのインパクトは計り知れないものがある。本研究では、この新原理によりダイヤモンドによる紫外線ナノデバイスを開発することを目的にしており、励起子発光機構の解明と励起子発光等を利用する紫外線ナノデバイスのためのプロセス技術の確立とプロトタイプ of デバイス試作を行う。

2-2 方法

(1) 発光機構の解明については、昨年度に引き続き、ダイヤモンドの励起子による Bose-Einstein 凝縮 (BEC) の実現の可能性を、低温の領域での励起子の発光スペクトルから詳細に調べた。まず、今まで展開してきた間接遷移型半導体における励起子発光の詳細な理論をもとに、実験結果のスペクトルの波形解析 (カーブ・フィッティング) から、励起子のガス温度、系の化学ポテンシャルを厳密に決定する方法については、今まで紆余曲折を経たが、今年度になりほぼ完全なものが出来上がった。また実験としては、本研究目的のために立ち上げてきて、昨年度ほぼ完成した発光領域の空間分布測定可能な超真空一高励起カソードルミネッセンス装置を用いた実験を開始し、空間的な発光領域を特定することに成功し、超流動現象と関連すると思われるデータを取得することに成功した。

(2) pn 接合による発光ダイオードの試作・評価については、前述したように、昨年度成功した (001) 面リンドープの n 型ダイヤモンド薄膜をベースに、(001) 面 pn 接合を作製しその電気的な特性と発光特性の評価を実施した。

2-3 結果および結論

(1) 発光機構

(a) 波形解析法の高度化:

発光スペクトルの波形解析については平成 15 年度までにその骨子となるべき理論的考察をほぼ完了したが、その後、実際の波形解析に当たっていくつか修正・改良すべき点が見つかりこれについて検討してきた。一般に実験で観測される発光スペクトルの強度は測定条件によって影響を受ける可能性があり、今までの波形解析ではこの影響を 1 つのフィッティングパラメータとして展開してきたが、図 1 に示すように発光スペクトルをその積分強度で規格化することにより、測定条件によるフィッティングパラメータを導入しないで済むことが可能になった。また、励起子の衝突によるスペクトルのブローデニングについて調べ、発光スペクトルの温度依存性から、我々が観測している発光スペクトルで励起子間の衝突が支配的になっていることが結論できた。さらに、分光器のエネルギー分解能の影響を数学的に波形解析に取り入れ、発光スペクトルに影響する物理パラメータの中で温度依存性を示すものをすべて、化学ポテンシャルとそのときの励起子ガスの温度およびスペクトルのピーク位置の 3 つフィッティングパラメータで記述できるようにした。この結果、広範囲の温度領域で観測スペクトルと理論的スペクトルがよく一致するようになり、本研究における波形解析法で用いたいくつかの基本的仮定の妥当性および観測スペクトルの精度の良さを証明するものである。

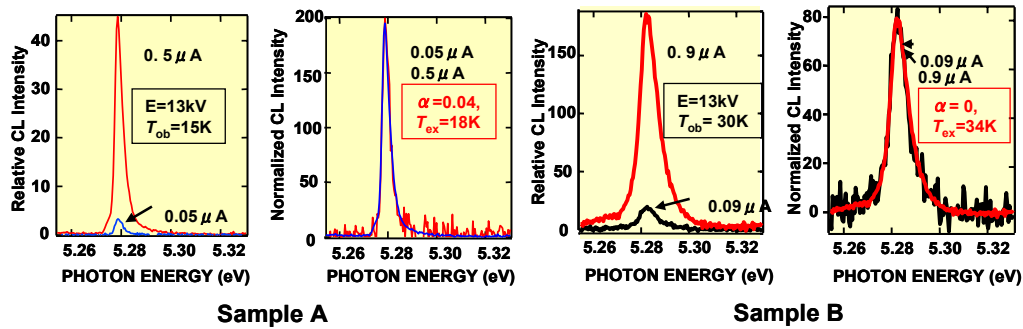


図 1: Sample A と B での励起子発光スペクトル(左: 相対発光強度、右: 規格化スペクトル): Sample A, B とも、図中に示されるビーム電流値付近で 1 桁以上変化してもで化学ポテンシャルがゼロになり、励起子密度が臨界密度に達していることを示す。

(b) 化学ポテンシャルゼロの領域と超流動現象の可能性

図 1 は 2 つの CVD ダイヤモンド薄膜 (Sample A と B) での励起子発光スペクトル(左: 相対発光強度、右: 規格化スペクトル)を示したものである。Sample A での観測温度 15K、ビーム電流 $0.05 \mu\text{A}$ と $0.5 \mu\text{A}$ 、また Sample B では観測温度 30K、ビーム電流 $0.09 \mu\text{A}$ から $0.9 \mu\text{A}$ の場合の発光スペクトルとともに、左側が相対発光強度、右側が規格化した発光スペクトル強度を示している。Sample A と B とも、ビーム電流が 1 桁増加すると発光強度も 1 桁増加しているが、規格化したスペクトルの波形はともに同一になっている。このときの波形解析の結果、Sample A と B とも化学ポテンシャルがゼロ ($\alpha=0$) になっており、励起子の密度が臨界密度に達している。密度が一定で発光領域が 1 桁増加したことは、発光領域が何らかの機構で急激に増加したことに対応する。この機構として BEC に伴う超流動現象が生じている可能性がある。

また、Sample B のスペクトルをみると、ピーク位置に対して対象形に近いローレンチェン型の波形を有していることが分かる。波形解析では、前述したように励起子間の衝突時間を基に不確定性原理から期待される半値幅の増加を考慮して解析しており、このことに注目すると発光スペクトルの半値幅が励起子の密度とボーア半径を用いた見積もられる衝突時間から期待される半値幅と非常に良い一致を示し、化学ポテンシャルがゼロのところで BEC を実現するために必要な臨界密度(今の場合、 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)に達していることを確認することができた。

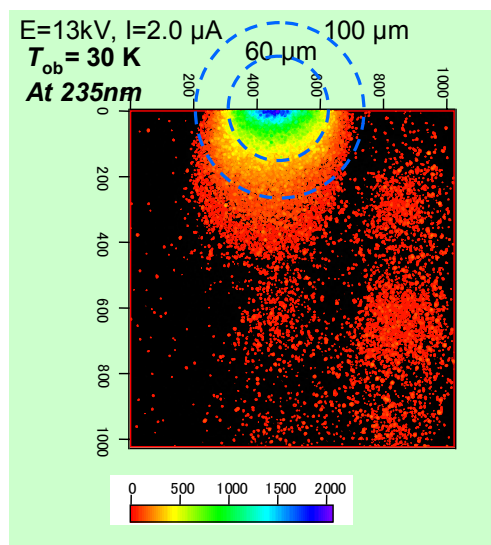


図 2: CVD ダイヤモンド薄膜からの T0 フォノンを伴う自由励起子発光の照射領域の付近の発光分布。

(c) 超流動現象観測の試み

励起子密度がBECの臨界密度になった時期期待される超流動現象を観測することを目的に、昨年度までにはほぼ完成した発光領域の空間分布測定可能な超真空—高励起カソードルミネッセンス装置を用いた実験を開始した。図5は化学ポテンシャルがゼロになる条件を満たす試料に加速電圧13KeV、ビーム電流 $2\mu\text{A}$ 、ビーム径 $60\mu\text{m}$ の電子ビームを照射したときに観測されるビーム照射付近の自由励起子発光の面内分布を示したものである。図に示されるようにビーム照射領域から $200\mu\text{m}$ 離れた場所からも励起子発光が観測されたが、このような現象は単純な励起子の拡散現象からは説明することができず、期待通りの超流動現象が観測されている可能性がある。現在いろいろな条件下でこの現象について調査をおこなっているが、超流動現象と断定するために更なる詳細な研究が必要であり、今後の大きな研究課題である。

(2) pn 制御技術の開発と励起子発光デバイスの試作

本年度は、前述した(001)面のPドーピング成功をもとに、(001)面を用いたpn接合ダイオードの試作を行った。最近製作したpn接合の I - V 特性をみると $\pm 30\text{V}$ の印加電圧で11桁以上の整流特性が得られ、ダイヤモンドのpn接合としては世界最高のダイオード特性が得られた。 C - V 特性も若干異なる面があるが、他の半導体の標準的なpn接合特性と同様な傾向のデータが得られている。

図3はpn接合での発光特性を示したもので、(a)と(b)は異なった印加電圧における波長領域200nmから600nmの発光スペクトルである。図に示されるように、順方向電圧43–71V、

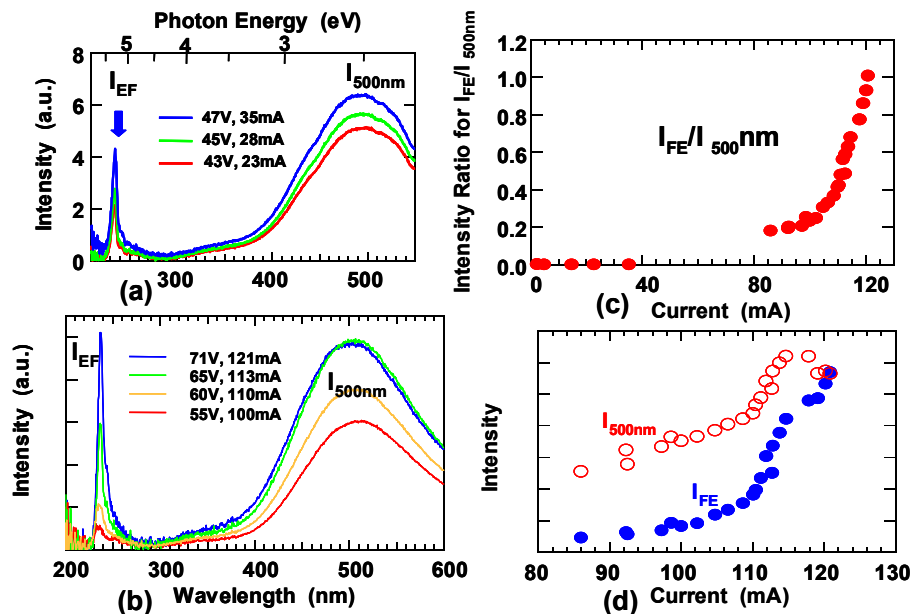


図3: (001)面基板を用いたダイヤモンドpn接合ダイオードの発光特性: (a), (b)印加電圧、電流を変化したときの発光特性、 I_{FE} :自由励起子発光、 I_{500} :欠陥関連発光、(c) I_{FE} と I_{500} の電流依存性、(d) I_{FE} と I_{50} の電流依存性。

電流 23 - 35 mA から 100 - 121 mA の発光スペクトルは励起子による紫外光領域のシャープなスペクトル(I_{BF})と欠陥に関連する 500nm 付近の可視光領域のブロードなスペクトルで構成されている(I_{500})。500 nm の発光は主として窒素と空孔との複合欠陥によるものと考えられる。

今、図 3(c)に示した 自由励起子発光強度と欠陥関連の発光強度と比(I_{BF}/I_{500})をみると、順方向の電流を増加するに従って励起子発光強度が非線形に増加していくのが観測される。これは発光領域の励起子密度が増加することにより、欠陥関連の発光や非発光過程による再結合速度が実効的に飽和あるいは減少することを示唆している。実際図 3(d)に示されるよう I_{500} は電流を増加するにしたがって一度増加するがその後減少を示す結果が得られる。この現象は電流注入によって発生する励起子密度が実効的に欠陥密度より多くなることによって発生したものと解釈できる。これは従来の直接遷移型半導体による発光ダイオードでは、観測されない現象である。つまり、直接遷移型半導体では電流注入によって発生する自由電子正孔対の再結合速度が速く、定常状態に存在する自由電子正孔対密度が高密度にならず欠陥関連による再結合過程が飽和するようなことが起こらないためと思われる。このように、ダイヤモンドの励起子を発光デバイスに応用する際に、非発光センターの密度が少々多くても大きな内部量子効率を得られることを意味しており、ダイヤモンド発光デバイスの開発にとって有利で重要な点である。

3. 研究実施体制

「紫外線発光ナノデバイス」グループ

- ①研究分担グループ長：大串 秀世（産業技術総合研究所 ダイアモンド研究センター、招聘研究員）
- ②研究項目：ダイヤモンド薄膜合成、pn 制御技術、ナノテクノロジー、高密度励起子状態の実験的解明、ダイヤモンド紫外線発光デバイスの製作と評価

「紫外線ナノセンサーグループ」

- ①研究分担グループ長：久米 博（(独) 国立環境研究所、主任研究員）

「ナノ構造評価グループ」グループ

- ①研究分担グループ長：市野瀬 英喜（北海道大学 エネルギー変換マテリアル研究センター、教授）
- ②研究項目：デバイス化のためのナノテクノロジーとその評価

「ナノ加工」グループ

- ①研究分担グループ長：川原田 洋（早稲田大学理工学部、教授）
- ②研究項目：ダイヤモンドナノデバイス化プロセス技術の確立

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

- Characteristics of excitonic emission in diamond, Hideyo Okushi, Hideyuki Watanabe, Shokichi Kanno, Phys.Stat.Sol,(a) 202, No.11, 2051-2058(2005)
- Ohmic Contacts on p-type Homoepitaxial Diamond and Their Thermal Stability, Y.G.Chen, M.Ogura, S.Yamasaki, H.Okushi, Semiconductor Science and Technology, Vol.20, 860-863(2005)
- Hydrogen passivation effects on carbon dangling bond defects accompanying a nearby hydrogen atom in p-type CVD diamond, N.Mizuochi, M.Ogura, H.Isoya, H.Okushi, S.yamasaki, Physica B, accepted
- Growth of phosphorus-doped diamond using tertiarybutylphosphine and trimethylphosphine as dopant gases, Hiromitsu Kato, Wataru Futako, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, Diamond and Related Materials, 14, p.340-343(2005)
- n-type doping of (001) oriented single crystalline diamond by phosphorus, Hiromitsu Kato, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, Applied Physics Letters, 86, p.222111-1-222111-3(2005)
- Growth and Characterization of phosphorus-doped diamond using organophosphorus gases, Hiromitsu Kato, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, Physica Status Solidi A-Applied Research, 202, p.2122-2128(2005)
- A role of boron atoms in heavily boron-doped homoepitaxial diamond growth, Norio Tokuda, Takeyasu Saito, Hitoshi Umezawa, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, Diamond and Related Materials, in press
- Electrical characterization of homoepitaxial diamond p-n⁺ junction, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Sung-Gi Ri, Yigang Chen, Hideyuki Watanabe, Kung-ho Park, Hideyo Okushi, Diamond and Related Materials, in press
- Strong Excitonic Emission from (001)-Oriented Diamond P-N Junction, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyuki Watanabe, Sung-Gi Ri, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, Japanese Journal of Applied Physics, Express Letter Vol.44, No.38, L1190-L1192(2005)
- Electrical and optical characterizations of (001)-oriented homoepitaxial diamond p-n junction, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyuki Watanabe, Sung-Gi Ri, Yigang Chen, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, , Diamond and Related Materials, in prss
- Electrical and Optical Characterization of Boron Doped (111) Homoepitaxial Diamond Films, S.-G.Ri, H.Kato, M.Ogura, H.Watanabe, T.Makino, S.Yamasaki, H.Okushi, Diamond Relat. Mater. 14 (2005) 1964

- Surface Conductive Layers on Oxidized (111) Diamonds, Sung-Gi Ri, Christoph E. Nebel, Daisuke Takeuchi, Bohuslav Rezek, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, 87 (2005) 262107, Applied Physics Letters,
- Negative electron affinity on hydrogen terminated diamond, D. Takeuchi, S.-G. Ri, H. Kato, C. E. Nebel, S. Yamasaki, Physica Status Solidi (a), 202 (11) 2098-2103 (2005)
- Passivation effects of deuterium exposure on boron-doped CVD homoepitaxial diamond, Masahiko Ogura, Norikazu Mizuochi, Satoshi Yamasaki, Hideyo Okushi, Diamond and Related Materials, Vol. 14, 11-12, p. 2023-2026 (November 2005)
- Surface Conductive Layers on (111) Diamonds after oxygen treatments, Sung-Gi Ri, Christoph E. Nebel, Daisuke Takeuchi, Bohuslav Rezek, Norio Tokuda, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi
Diamond Relat. Mater., in press.
- Hydrogen Plasma Etching Effect on Homoepitaxial Diamond (001) Film Growth with Atomically Flat Surface, Sung-Gi Ri, Hideyuki Watanabe, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi
J. Crystal Growth, under review.
- CH₄/H₂ Ratio Dependence of Boron-doped (111) Homoepitaxial Diamond Film Quality, Sung-Gi Ri, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Hideyuki Watanabe, Toshiharu Makino, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi
Diamond Relat. Mater., in press.
- Total photoyield experiments on hydrogen terminated n-type diamond, D. Takeuchi, S.-G. Ri., H. Kato, C. E. Nebel, S. Yamasaki, Diamond & Related Materials 14, 2019-2022 (2005)
- Secondary photoelectron emission experiments on p-, intrinsic, and n-type diamond, D. Takeuchi, S.-G. Ri., H. Kato, C. E. Nebel, S. Yamasaki, Diamond & Related Materials, in press (2005)
- Diamond Schottky barrier diodes with low specific on-resistance, Yigang Chen, Masahiko Ogura, Toshiharu Makino, Satoshi Yamasaki and Hideyo Okushi, Semiconductor Science and Technology, vol. 20, No. 12 (December 2005) pp. 1203-1206.
- Hydrogen-vacancy related defects in CVD homoepitaxial diamond films studied by electron paramagnetic resonance and cathodoluminescence, N. Mizuochi, H. Watanabe, J. Niitsuma, T. Sekiguchi, H. Okushi, S. Yamasaki, Appl. Phys. Lett. v. 88, 091912-091915 (2006)
- Hydrogen passivation effects on carbon dangling bond defects accompanying a nearby hydrogen atom in p-type CVD diamond, N. Mizuochi, M. Ogura, J. Isoya, H. Okushi, S. Yamasaki, Physica B, v. 376-377, p. 300-303 (2006)
- Nitrogen incorporation in a homoepitaxial diamond thin film, H. Watanabe, H. Kume,

- N.Mizuochi, S.Yamasaki, S.Kanno, H.Okushi, Diamond and related materials, in press (2006)
- The Raman spectrum of nano-structured onion-like fulleren, Xiaomin Wang, Bingshe Xu, Xuguang Liu, Husheng Jia and Hideki Ichinose Physica B, vol. 357 (2005), 277-281.
 - Theoretical investigation of the reflectivity of fullerene, Xu Bingshe, Han Peide, Liang Jian, Liu Xuguang, Bao Huiqiang, Li Tibao, Chen Mingwei and Hideki Ichinose, Solid State Communications, vol. 133 (2005), 353-356
 - Optical Properties in 2D Photonic Crystal Structure Using Fullerene and Azafullerene Thin Films, Xu Bingshe, Han Peide, Wang Liping, Li Jian, Liu Xuguang, Chen Mingwei, Hideki Ichinose, Optics Communications, 2005, 250:120-125.
 - Raman Spectrum of Nanostructured Onion-like Fullerenes, Wang Xiaomin, Xu Bingshe, Liu Xuguang, Jia Husheng, Hideki Ichinose, Physica B, 2005, 357: 277-281.
 - New Structured One-dimensional Material-nano Carbon Surpentine Tube, Transactions of Materials and Heat Treatment, Xu Bingshe, Liu Xuguang, Liang Wei, Ichinose Hideki, 2005, 26(3):10-14.
 - CCVD preparation and morphology of onion-like fullerenes, Li Tianbao, Xu Bingshe, Han Peide, Zhang Yan, Wang Xiaomin, Liu Xuguang, Hideki Ichinose, New Carbon Materials, 2005, 20(1): 23-27.
 - Synthesis and Characteristics of Fe-encapsulating Onion-like Fullerenes, Li Tianbao, Liu Guanghuan, Liu Xuguang, Xu Bingshe, Hideki Ichinose, Transactions of Materials and Heat Treatment, 2005, 26(3): 28-30.
 - Investigation on HRTEM and optical property of metal-encapsulating onion-like fullerenes, Wang Xiaomin, Guo Junjie, Jia Husheng, Liu Xuguang, Hideki Ichinose, Xu Bingshe, Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2005, 24(4): 265.
 - HRTEM characterization of Y-type carbon nanotubes, Wang Xiaomin, Guo Junjie, Jia Husheng, Liu Xuguang, Hideki Ichinose, Xu Bingshe, Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2005, 24(4): 551-554.
 - Structural characterization of onion-like fullerenes synthesized by metal nanoparticle catalysis, Wang Xiaomin, Xu Bingshe, Liu Xuguang, Hideki Ichinose, New Carbon Materials, 2004, 19(3): 209-213.
 - Direct Evidence for Root Growth of Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes by Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition, T. Iwasaki, G. Zhong, T. Aikawa, T. Yoshida, H. Kawai, J. Phys. Chem. B, 109, 42, 19556-19559 (2005)
 - 先端放電型マイクロ波プラズマ CVD による単層カーボンナノチューブ配向成長, 岩崎 孝之, 鍾 国倣, 大泊 巖, 川原田 洋, プラズマ・核融合学会誌, 81, (9), 665-668 (2005) (招待論文)

- Characterization of the Locally Modified Diamond Surface using a Kelvin Probe Force Microscope, M. Tachiki, Y. Kaibara, Y. Sumikawa, M. Shigeno, H. Kanazawa, T. Banno, K. S. Song, H. Umezawa, H. Kwarada , Surf. Sci., 581, 2-3, 207-212 (2005)
- 多結晶ダイヤモンドを用いた電解質溶液 FETs のバイオセンサへの応用, 宋 光燮, 中村雄介, 出川 宗里, 佐々木 順紀, 梅沢 仁, 川原田 洋, 日本結晶成長学会誌, 58, 4, 473-476 (2005)
- 表面修飾ダイヤモンドトランジスタによる DNA 及びバイオセンシング応用, 川原田 洋, 宋光燮, 化学と工業, 58-4, 473-476 (2005)
- Low Temperature Synthesis of Extremely Dense and Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes, G. Zhong, T. Iwasaki, K. Honda, Y. Furukawa, I. Ohdomari, H. Kwarada , Jpn. J. Appl. Phys., 44, 1558-1561 (2005)
- Very high yield growth of vertically aligned single-walled carbon nanotubes by point-arc microwave plasma CVD, G. Zhong, T. Iwasaki, K. Honda, Y. Furukawa, I. Ohdomari, H. Kwarada , Chem. Vapor. Depos., 11 (3), 127-130 (2005)
- Micropatterning Oligonucleotides on Single Crystal Diamond Surface by Photolithography, G. J. Zhang, H. Umezawa, H. Hata, T. Zako, T. Funatsu, I. Ohdomari, H. Kwarada , Jpn. J. Appl. Phys., 44, 295-298 (2005)
- Characteristics of Diamond Electrolyte Solution-Gate FETs (SGFETs) and Applications to Biosensors, K. S. Song, H. Kwarada, New Diamond and Frontier Carbon Technology, 15, 325-335 (2005)
- Diamond MISFETs for High Frequency Applications, H. Umezawa, K. Hirama, T. Arai, H. Hata, H. Takayanagi, T. Koshiba, K. Yohara, S. Mejima, M. Satoh, K. S. Song, H. Kwarada , Jpn. J. Appl. Phys., 45 (2006)(in press)
- 70 nm Channel Diamond MISFET and Suppression of Short Channel Effect, H. Umezawa, T. Arima, S. Miyamoto, H. Matsudaira, H. Kwarada, IEEE Elect. Device Lett., 27 (2006)(in press)
- Origin of the metallic properties of heavily boron-doped superconducting diamond, T. Yokoya, T. Nakamura, T. Matsushita, T. Muro, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kwarada, T. Oguchi , Nature, 438 (7068), 647-650 (2005)
- Advantage on Superconductivity of Heavily Boron-Doped (111) Diamond Films, H. Umezawa, T. Takenouchi, Y. Takano, K. Kobayashi, M. Nagao, I. Sakaguchi, M. Tachiki, T. Hatano, G. Zhong, M. Tachiki, H. Kwarada, Phys. Rev. B, 73 (2006) (in press)
- Characterization of diamond metal-insulator-semiconductor field-effect transistors with aluminum oxide gate insulator, K. Hirama, S. Miyamoto, H. Matsudaira, K. Yamada, H. Kwarada, T. Chikyo, H. Koinuma, K. Hasegawa, H. Umezawa , Appl. Phys. Lett. 88, 112117 (2006) (in press)

- Fabrication of T-shaped gate diamond Metal-Insulator-Semiconductor Field-Effect Transistors, K. Hirama, S. Miyamoto, H. Matsudaira, H. Umezawa, H. Kwarada , Jpn.J.Appl.Phys.(2006) (Accepted)

(2) 特許出願

H17 年度出願件数 : 5 件 (CREST 研究期間累積件数 : 9 件)