

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560388

研究課題名(和文) ナノシリコンの燐光特性制御と光デバイスへの応用

研究課題名(英文) Control of nano silicon phosphorescence and application to optical devices

研究代表者

Bernard Gelloz (Gelloz, Bernard)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・特任准教授

研究者番号：40343157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：酸化ナノシリコン層の青色燐光について基礎研究を行った。青色燐光は材料の酸化部分の分子種に由来し、シリコンナノ結晶は発光に関与しないことが分かった。青色燐光には6つの振動源をもつサブバンドが含まれており、励起エネルギーにより各強度を調整できる。紫外領域(275-290 nm)での発光が発見され、材料のポーア表面の吸着水に関連する分子種に起因することが分かった。化粧品、ディスプレイ、光電素子、太陽電池への応用研究も行った。赤・青・白色発光粉末の開発。また、電気的活性なデバイス作製のため、超臨界流体を用いたナノシリコンポーア内部への金属堆積技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：The blue phosphorescence of oxidized nano-silicon layers has been investigated. It originates from molecular species in the oxide part of the material. Silicon nanocrystals are not involved in the emission process. It includes 6 sub-bands having vibrational origin and whose respective intensities can be tuned by changing the excitation energy. A new band emitting in the ultraviolet region (275-290 nm) was found and attributed to water-related molecular species adsorbed at the surface of the porous material pores.

Applications in cosmetics, medicine, display and photovoltaics, have been studied. Red, blue or white emitting powders have been achieved. Samples emitting strong green (Tb doping), red (Eu doping) and also infrared (Er doping) were also developed. For electrically active devices, a new technique of metal deposition inside nano-silicon pores has been developed using a supercritical method. The layers are also promising as a wide bandgap material for photovoltaics.

研究分野：工学・電気電子工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：ナノシリコン 燐光 青色発光

1. 研究開始当初の背景

シリコンは、科学と経済面で非常に重要な材料として、マイクロエレクトロニクス分野で圧倒的な位置にいる。シリコンは、地球上で最も安価で最も豊富な要素であり、非毒性で、生体適合性をもつ。しかし、バルク形態時弱い発光体であることから、フォトリソグラフィの統合やスマート光バイオ材料・デバイスなど新興分野の急速な消費に深刻な制限を及ぼす。

5 nm 以下サイズのナノ結晶を含むナノシリコン層は、可視光放射のようなバルクシリコンでは不可能な光学特性を示す。その層はドライ（例：CVD）やウェット（ポーラスシリコン層のエッチング法）方式で製造できる。ポーラスナノシリコン層は、低コストで大面積および体積加工可能などの多くの利点をもつ。しかし、そのフォトルミネッセンス（PL）特性とエレクトロルミネッセンス（EL）特性は、効率や安定性が低く、主に赤/近赤外だけ放射する。

これまで、我々のグループは、ナノシリコン構造と表面化学の適切な制御により最高効率の赤色 PL(23%; 2005) と EL (1.1%; 2000)、また優れた安定性をもつ赤色 PL(2005) と EL (2006)を実現した。最近の研究では、低温から約 200 K (2009)の間で酸化ナノシリコンによる長寿命（数秒のライフタイム）の青色燐光を発見した。シリコンベースの材料からはこのような分子似の長い減衰時間が観測されたのはこれが初めてである。この現象はユニックであり、フォトリソグラフィ分野でのシリコン応用の新たな機会を生み出す。つい最近では、青色エミッタから有機分子への効率的なエネルギー変換現象を証明した。この現象はエネルギー採集やセンシングのための新しい材料としての可能性を示した。

我々は、ナノシリコン発光と青色燐光分野での指導的地位をフォトリソグラフィやオプトエレクトロニクスおよび太陽エネルギーなどの関連分野向けの新しい材料やデバイスの開発のために繋げていきたい。

2. 研究の目的

シリコンベースの光デバイスを開発するため、ナノシリコンの青色燐光特性について基礎と応用の研究を行う。詳細な材料学的解析に基づいて青色燐光の制御性と強度を高め、希土類元素への光エネルギー移動、センサ用多色発光、青色帯の光増幅、および太陽エネルギー変換への応用を図る。検討課題と目標を以下に示す。

(1) 青色燐光メカニズムの究明：青色燐光性ナノシリコンに対する電子構造と表面組

成の解析、時間分解分光測定などにより、分子的な電子構造の形成と離散化準位間の励起・緩和が青色燐光に關与していることを実証する。それをふまえて、青色燐光を高効率化するための指針を明らかにする。

(2) ナノシリコン試料のプロセス：ナノシリコンを自立膜および粉末として作製する技術を確認し、バイオセンシング用のマーカー、皮膚等の表面保護などへの適用性を検討する。

(3) 光エネルギー転移への応用：光通信で重要な波長帯の集積化光源の開発を念頭に燐光性試料にErをドーピングし、光エネルギーの転移によるErの発光増強を観測する。また、Tbなど他の希土類元素を導入し、発光の多色化を試みる。

(4) フォトリソグラフィ応用：光導電特性を測定し燐光試料における光キャリアの輸送過程を解析し、短波長帯における光電変換機能の可能性を追求する。

3. 研究の方法

(1) ナノシリコンの青色燐光の微視的機構の究明

安定な青色燐光を得るために有効な高圧水蒸気アニールに基づいて作成した試料について、表面構造、電子構造、組成の面から材料学的特質を明らかにする。具体的な解析手段にはラマンスペクトル、XPS、EDXなどを用いる。また、光学的には短パルス励起による時間分解光吸収スペクトルによる分子的なキャリア遷移過程を検出する。さらに、外部電界と燐光特性との相互作用について温度依存性も含めて測定する。これらを総合して、励起子による赤色発光と対比させながら、超微細ナノシリコンに特有の燐光過程を明らかにする。

(2) ナノシリコンの自立膜および粉末化と基礎評価

まず、ナノシリコン層を基板から剥離し、均一で大面積の自立膜を製作する。この膜の光学的測定によりバンドギャップワイドニング効果を確認するとともに、光導電、光電変換の基本特性を測定する。また自立膜を機械的に破砕し、粉末状のナノシリコン試料を得る。そのさい、自立膜作製後および破砕後の熱酸化または高圧水蒸気低温酸化によって、ナノシリコンの粒径変化と表面末端を適切に組み合わせ、発光効率を保持して発光波長を赤から青にまで制御する。またそれらの発光特性を量子効率、発光スペクトル、発光寿命などの点から定量的に評価する。

(3) ナノシリコン/希土類ハイブリッド材料の開発

目的とする発光波長に応じて、ホスト材料となるナノシリコンとゲストの希土類元素の組み合わせを設定し、上記で作製した試料に希土類元素を導入するプロセス技術を開発する。まず種々の発光色試料に光通信で重要な波長帯の発光を示すErをドーピングし、発光特性の測定によりエネルギー転移を確認する。特に分子的な準位が現れる青色燐光性試料についてはErの発光遷移との整合による発光増強を観測する。また、可視域発光が見込まれる希土類としてEu、Tbを、近赤外発光の希土類としてYb、Tmを導入し、広波長帯における発光の高機能化を図る。

(4) フォトニクス応用

発光波長を制御したナノシリコン試料の光導電特性を測定して分光感度や光キャリア輸送機構を解析するとともに、バンドギャップ拡大をはじめ、量子的な材料としての特質を確認する。また、高電界領域において予想される光キャリアのアバランシェ増倍を検証する。それらを基に、ナノシリコンの光電変換機能を量子効率のスペクトルも含めて測定し、短波長領域に対応可能な太陽電池セル要素としての適合性を確認する。

4. 研究成果

酸化ナノシリコン層の青色燐光について基礎研究を行った。青色燐光は材料の酸化部分の分子種に由来し、シリコンナノ結晶は発光に関与しないことが分かった。青色燐光には6つの振動源をもつサブバンドが含まれており、励起エネルギーにより各強度を調整できる。紫外領域(275-290 nm)での発光が発見され、材料のポーア表面の吸着水に関連する分子種に起因することが分かった。

化粧品、ディスプレイ、光電素子への応用研究も行った。赤・青・白色発光粉末の開発；Tb, Eu, Erドーピングによる強い緑・赤・赤外線発光試料の開発を行った。また、電気的活性なデバイス作製のため、超臨界流体を用いたナノシリコンポーア内部への金属堆積技術を開発した。本デバイスは太陽電池などのワイドバンドギャップ材料としても有望である。

酸化ナノシリコン層の青色燐光について基礎研究を行った。青色燐光は材料の酸化物部分の分子種に由来するものの、シリコンナノ結晶は発光プロセスに関与しないことを分かった。青色燐光には6つの振動源をもつサブバンドが含まれている。また励起エネルギーによりそれぞれの強度を調整できる。紫外領域(275-290 nm)で発光する新しいバンドが発見され、ポーラス材料のポーア表面の吸着水に関連する分子種に起因するものであることが分かった。

また、化粧品、医薬品、ディスプレイ、光電素子への応用研究を行った。赤色、青色または白色発光粉末の作製ができた。強い緑色(Tbドーピング)、赤色(Euドーピング)と赤外線(Erドーピング)の発光試料が開発された。電気的に活性なデバイス作製のため、超臨界流体を用いたナノシリコンポーア内部への金属埋め込み技術が開発された。これらの層はまた太陽電池などのワイドバンドギャップ材料として有望である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 18 件)

- (1) B. Gelloz, R. Mentek and N. Koshida, "Ultraviolet and Long-Lived Blue Luminescence of Oxidized Nano-Porous Silicon and Pure Nano-Porous Glass", *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, **3** (5), R83-R88 (Mars 2014). doi: 10.1149/2.022405jss
- (2) N. Koshida, A. Kojima, T. Ohta, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori and J. Shirakashi, "Electro-Deposition of Thin Si and Ge Films Based on Ballistic Hot Electron Injection", *ECS Solid State Letters*, **3** (5) P57-P60 (Feb 2014). DOI: 10.1149/2.002405ssl
- (3) W. Bousslama, B. Sieber, H. Elhouichet, B. Gelloz, A. Addad and M. Férid "Enhancement of the intensity ratio of ultraviolet to visible luminescence with increased excitation in ZnO nanoparticles deposited on porous anodic alumina", *Journal of Physics D: Applied Physics*, **46**, 505104 (Nov 2013). doi: 10.1088/0022-3727/46/50/505104
- (4) L. Jin, E. Kondoh, T. Oya and B. Gelloz, "Supercritical fluid deposition of copper into mesoporous silicon", *Thin Solid Films*, **545**, 357-360 (31 Oct 2013). doi: 10.1016/j.tsf.2013.08.034
- (5) W. Stambouli, H. Elhouichet, B. Gelloz, and M. Férid "Optical and spectroscopic properties of Eu-doped tellurite glasses and glass ceramics", *Journal of Luminescence*, **138**, 201-208 (Jun 2013). DOI: 10.1016/j.jlumin.2013.01.019
- (6) N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, and B. Gelloz, "Ballistic Electron Effects in Nanosilicon and Their Applications", *ECS Transactions*, **53**, 95-102 (2013). doi: 10.1149/05304.0095ecst
- (7) B. Gelloz, R. Mentek and N. Koshida, "Ultraviolet and Long-lived Blue Luminescence of Oxidized Porous Silicon", *ECS Transactions*, **53**, 103-111 (2013). doi: 10.1149/05304.0103ecst

- (8) T. Ohta, **B. Gelloz**, A. Kojima and N. Koshida, "Liquid-phase deposition of thin Si films by ballistic electro-reduction", *Applied Physics Letters*, **102**, 022107 (Jan 2013). doi: 10.1063/1.4788678
- (9) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida, "Optical properties of phosphorescent nano-silicon electro-chemically doped with terbium," *Physica Status Solidi (c)*, **9** (12), 2318-2321 (Dec 2012). DOI 10.1002/pssc.201200226
- (10) **B. Gelloz** and N. Koshida, "Blue Phosphorescence in Oxidized Nano-Porous Silicon", *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, **1** (6), R158-R162 (Oct 2012). doi: 10.1149/2.025206jss
- (11) **B. Gelloz**, A. Loni, L. Canham and N. Koshida, "Luminescence of mesoporous silicon powders treated by high-pressure water vapor annealing", *Nanoscale Research Letters*, **7**, 382 (Sept 2012). doi:10.1186/1556-276X-7-382
- (12) **B. Gelloz** and N. Koshida, "Blue Phosphorescence in Oxidized Nano-Porous Silicon", *ECS Transactions*, **45**, 177-189 (2012). doi: 10.1149/2.025206jss
- (13) N. Koshida, T. Ohta and **B. Gelloz**, "Ballistic Electron Emission from Nanosilicon Diode and its Application to Ultra-Thin Film Deposition of Silicon and Germanium", *ECS Transactions*, **45**, 221-228 (2012). doi:10.1149/1.3700430
- (14) W. Stambouli, H. Elhouichet, **B. Gelloz**, M. Férid, N. Koshida "Energy transfer induced Eu³⁺ photoluminescence enhancement in tellurite glass", *Journal of Luminescence*, **132**, 205-209 (Jan 2012). DOI: 10.1016/j.jlumin.2011.08.018
- (15) Wiem Bousslama, Habib Elhouichet, **B. Gelloz**, Brigitte Sieber, Ahmed Addad, Myriam Moreau, Mokhtar Ferid and N. Koshida, "Structural and Luminescence Properties of Highly Crystalline ZnO Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Method," *Japanese Journal of Applied Physics*, **51**, 04DG13 (1-6) (April 2012). DOI: 10.1143/JJAP.51.04DG13
- (16) R. Mentek, **B. Gelloz** and N. Koshida, "Photovoltaic Property of Wide-Gap Nanocrystalline Silicon Layers," *Japanese Journal of Applied Physics*, **51**, 02BP05 (February 2012).
- (17) N. Koshida, T. Ohta, **B. Gelloz**, and A. Kojima: *Ballistic Electron Emission from Quantum-Sized Nanosilicon Diode and its Applications*, *Current Opinion in Colloid&Interface Science*, **15**, 183-187 (Oct 2011) DOI: 10.1016/j.cossms.2011.04.003
- (18) T. Ohta, **B. Gelloz**, and N. Koshida, "Multilayered Thin Metal Film Deposition by Sequential Operation of Nanosilicon Electron Emitter in Metal-Salt Solutions", *Japanese Journal of Applied Physics*, **50**, 06GG03 (June 2011). DOI: 10.1143/JJAP.50.06GG03
- [学会発表](計 40 件)
- (1) 山口晃司, 近藤英一, **B. Gelloz**, 金蓮花: "ラフな鉄表面による散乱光の偏光特性および光学モデリング" 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 17a-E4-5, 2014 年 3 月 17 日.
- (2) R. Mentek, **B. Gelloz**, D. Hippo, and N. Koshida, "Photoelectrical characterization of organically surface-modified nanocrystalline silicon membrane cells", 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 18p-E12-14, 2014 年 3 月 18 日.
- (3) 大矢敏史, 近藤英一, **B. Gelloz**, 金蓮花: "Cu 埋め込みされたマイクロポーラスシリコンの電気特性" 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 18a-PG6-2, 2014 年 3 月 18 日.
- (4) 由井寛之, **B. Gelloz**, 金蓮花: "HWA 処理によるポーラスシリコン上のナノロッド形成の試み" 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 19a-PA6-13, 2014 年 3 月 19 日.
- (5) R. Mentek, D. Hippo, **B. Gelloz**, and N. Koshida, "Photovoltaic Effect in Nanocrystalline Porous Silicon Membrane Cells with Large Open-Circuit Voltage", *Porous Semiconductor Science and Technology*, p. 332 (Alicante-Benidorm, 2014). 9th Int. Conf. On Porous Semiconductors Science and Technology, Alicante, Spain (2014/3/13).
- (6) R. Suda, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, **B. Gelloz**, N. Mori, J. Shirakashi, and N. Koshida, "Application of Ballistic Hot Electron Emission from Nanocrystalline Porous Silicon to Thin Film Deposition of Si, Ge, and SiGe", *Porous Semiconductor Science and Technology*, p. 134 (Alicante-Benidorm, 2014). 9th Int. Conf. On Porous Semiconductors Science and Technology, Alicante, Spain (2014/3/10).
- (7) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida: "Interrelated Ultraviolet and Long-lived Blue luminescence bands of Oxidized Nanocrystalline Porous Silicon", 2013 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Fukuoka, Japan (2013/9/26).
- (8) R. Mentek, **B. Gelloz**, O. Hippo and N. Koshida: "Large open-circuit-voltage photovoltaic effect in nanocrystalline silicon layers", 2013 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Fukuoka, Japan (2013/9/27).

- (9) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida: "Blue and UV Luminescence Properties of Oxidized Nanosilicon and Pure Porous Glass", 2013年 第74回応用物理学会学術講演会, 同志社大 (2013/09/16).
- (10) R. Mentek, **B. Gelloz**, O. Hippo and N. Koshida: "Large open-circuit-photovoltage effect in nanocrystalline silicon membrane cells", 2013年 第74回応用物理学会学術講演会, 同志社大 (2013/09/18).
- (11) N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, **B. Gelloz**, and N. Mori, "Thin Silicon Film Deposition by Operation of Nanosilicon Electron Emitter in SiCl₄ Solution", *8th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, ICSI-8*, Fukuoka, Japan (2013/06/10).
- (12) K. Yamaguchi, A. Muhammad, **B. Gelloz**, E. Kondoh, and L. Jin, "Scattering light pattern of rough surface," *The 6th International Conference on Spectroscopic Ellipsometry*, Kyoto, Japan, (May, 30, 2013).
- (13) N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, and **B. Gelloz**, "Ballistic Electron Effects in Nanosilicon and Their Applications", *ECS Spring Meeting*, Toronto, Canada (2013/05/14).
- (14) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida, "Ultraviolet and long-lived Blue Luminescence of oxidized Porous Silicon", *ECS Spring Meeting*, Toronto, Canada (2013/05/14).
- (15) 金蓮花, 大矢敏史, 近藤英一, **B. Gelloz**: "超臨界流体を用いたメソポーラスシリコンへのCu 埋め込み", 2013年 春季 第60回応用物理学会学術講演会, 神奈川工業大 (2013/03/28).
- (16) R. Mentek, **B. Gelloz**, 筆宝大平, 越田信義: "ワイドギャップナノ結晶シリコン自立膜セルの光起電特性", 2013年 春季 第60回応用物理学会学術講演会, 神奈川工業大 (2013/03/28).
- (17) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida: "Interlinked Ultraviolet and Blue Emissions in Oxidized Nano-silicon", 2013年 春季 第60回応用物理学会学術講演会, 神奈川工業大 (2013/03/28).
- (18) **B. Gelloz**, R. Mentek and N. Koshida, "Relaxation Processes and Functions of Blue Phosphorescent Porous Silicon", *ECS Fall Meeting*, Honolulu, USA (2012/10/08).
- (19) R. Mentek, **B. Gelloz**, D. Hippo and N. Koshida, "Photovoltaic Characterization Of Wide-Gap Nanocrystalline Silicon membranes cells", *Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, Kyoto, Japan (2012/9/26).
- (20) **B. Gelloz** and N. Koshida: "Effect of Exposure to Various Liquids on the Blue Luminescence of oxidized Nano-silicon", 2012年 秋季 第73回応用物理学会学術講演会, 松山大 (2012/09/12).
- (21) R. Mentek, **B. Gelloz**, 筆宝大平, 越田信義: "Photovoltaic Property of Free-standing Nanocrystalline Silicon Layers", 2012年 秋季 第73回応用物理学会学術講演会, 松山大 (2012/09/13).
- (22) R. Mentek, **B. Gelloz**, and N. Koshida, "Photovoltaic Characterization Of Wide-Gap Nanocrystalline Silicon Layers", *Photovoltaic Technical Conference: Thin film and Advanced Solutions*, Session 1, Aix-en-Provence, France (2012/06/06).
- (23) N. Koshida, T. Ohta, R. Mentek and **B. Gelloz**: "Photonic and Related Functional Applications of Quantum-sized Nanosilicon", *ICOOPMA*, Nara, Japan, (2012/06/06).
- (24) **B. Gelloz** and N. Koshida: "Optical Properties of Phosphorescent Nanosilicon Doped with Rare-Earths", *ICOOPMA*, Nara, Japan, (2012/06/04).
- (25) **B. Gelloz** and N. Koshida, "Blue Phosphorescence in Oxidized Nano-Porous Silicon and Related Functions", *ECS Spring Meeting*, Seattle, USA (2012/05/08).
- (26) N. Koshida, T. Ohta and **B. Gelloz**, "Ballistic Electron Emission from Nanosilicon Diode and its Application to Ultra-Thin Film Deposition of Silicon and Germanium", *ECS Spring Meeting*, Seattle, USA (2012/05/08).
- (27) **B. Gelloz**, A. Loni, L. Canham and N. Koshida, "Luminescence of nano-porous powders treated by high-pressure water vapor annealing", *8th Int. Conf. On Porous Semiconductors Science and Technology*, Malaga, Spain (2012/03/26).
- (28) R. Mentek, **B. Gelloz**, Daihei Hippo, N. Koshida, "Photovoltaic Characterization of Wide-gap Nanocrystalline Silicon Layers", 2012年 春季 第59回応用物理学会学術講演会 早稲田大学 (2012/03/18).
- (29) **B. Gelloz**, Armando Loni, Leigh Canham, N. Koshida, "Luminescence of Nanosilicon Powders Treated by High-Pressure Water Vapor Annealing", 2012年 春季 第59回応用物理学会学術講演会 早稲田大学 (2012/03/18).
- (30) L. Jin, T. Tsutaki and **B. Gelloz**, "Polarization analysis of scattering light using a facet model", *SPIE 5th Conference of the international society for optical engineering*, San Diego, USA (2011/08/03).
- (31) T. Ohta, H. Yoshimura, **B. Gelloz**, and N. Koshida, "Thin Silicon Film Deposition by Unilateral Electroreduction at the Surface of Nanosilicon Ballistic Electron Emitter", *ECS Fall Meeting*, Boston, USA (2011/10/12).

- (32) **B. Gelloz**, K. Nishikawa and N. Koshida, “Blue and Red Luminescence Bands in Oxidized Porous Si and Effect of External Electric Field”, *ECS Fall Meeting*, Boston, USA (2011/10/11).
- (33) W. Bousslama, H. Elhouichet, **B. Gelloz**, B. Sieber, M. Moreau, M. Férid, and N. Koshida, “Structural and luminescence properties of highly crystalline ZnO nanoparticles prepared by sol-gel method”, *Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, Nagoya, Japan (2011/09/29).
- (34) R. Mentek, **B. Gelloz**, and N. Koshida, “Photovoltaic Property of Wide-Gap Nanocrystalline Silicon Layers” *Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, Nagoya, Japan (2011/09/28).
- (35) R. Mentek, **B. Gelloz**, N. Koshida, “Photovoltaic characterization of Wide-gap Nanocrystalline Silicon Layers”, 2011年 秋季 第72回応用物理学会学術講演会, 山形 (2011/09/01).
- (36) **B. Gelloz** and N. Koshida, “Optical Properties of Blue-Phosphorescent Nanosilicon Doped with Rare-Earths”, 2011年 秋季 第72回応用物理学会学術講演会, 山形 (2011/08/31).
- (37) T. Ohta, **B. Gelloz**, N. Koshida, “Thin Silicon Film Deposition by Operation of Nanosilicon Electron Emitter in SiCl₄ Solution”, *ICSI-7*, Leuven, Belgium (2011/08/30).
- (38) N. Koshida, T. Ohta, R. Mentek, and **B. Gelloz**, “Functional Device Applications of Nanosilicon”, *2011 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2011)*, Daejeon, Korea (2011/06/30).
- (39) N. Koshida, T. Ohta, R. Mentek, and **B. Gelloz**, “Multi-functionality of Quantum-sized Nanosilicon”, *Collaborative Conference on 3D & Materials Research (3DMR 2011)*, Jeju island, Korea (2011/06/28).
- (40) R. Mentek, **B. Gelloz**, and N. Koshida, “Photovoltaic Characterization Of Wide-Gap Nanocrystalline Silicon Layers”, *Photovoltaic Technical Conference: Thin film and Advanced Solutions*, Session 1, Aix-en-Provence, France (2011/05/25).

〔図書〕(計 1 件)

- (1) N. Koshida and **B. Gelloz**, *Nanosilicon for advanced post-scaling applications*, pp. 619-653, Chapter 14 in “Nanostructured Semiconductors: from basic research to applications”, Ed. P. Granitzer and K. Rumpf (Pan Stanford Publishing, 2013).

(1)研究代表者

Bernard Gelloz (Bernard Gelloz)

名古屋大学 工学研究科 特任准教授
研究者番号 : 40343157