

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246053

研究課題名(和文) ナノシリコン弾道電子源の還元効果を用いた薄膜堆積

研究課題名(英文) Thin film deposition based on reducing activity of nanosilicon ballistic electron emitter

研究代表者

越田 信義 (KOSHIDA, NOBUYOSHI)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：50143631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,900,000円

研究成果の概要(和文)：ナノシリコン弾道電子源の還元活性に基づく新しい液相薄膜堆積の基礎検討を行い、以下の知見を得た。まず弾道電子を溶液に注入したさいの電気化学効果を解析し、従来の電解メッキおよび電子ビーム誘起分解のいずれとも異なる還元作用が溶液界面で生じていることを明らかにした。その上で、この現象が金属および半導体(Si、Ge、SiGe)の薄膜成長をもたらすことを確認し、反応モデルにより堆積レートを定式化した。また、堆積した薄膜の構造・組成評価を行い、汚染フリーの室温プロセスとしての特長を実証した。さらに、対向基板上へ電子を近接照射するプリンティング方式を試み、Cu薄膜でその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Fundamental studies have been conducted for developing an alternative liquid-phase thin-film deposition technique based on the reducing activity of nanosilicon ballistic electron emitter. From electrochemical analyses of ballistic electron injection into salt solutions, it was confirmed that a unilateral reduction proceeds in different way from either conventional electroplating or electron-beam-induced decomposition. As a consequence, thin metal and semiconductor (Si, Ge, and SiGe) films are uniformly deposited on the emitting surface. The deposition rate was formulated by modeling the mechanism. The structural and compositional characterizations of deposited thin films verified the usefulness of this deposition scheme as a contamination-free room-temperature process. Further technological potential was demonstrated for thin Cu films under a printing mode in which the ballistic electrons impinge upon solution-coated target substrate arranged in parallel with a small space.

研究分野：光電子デバイス・材料工学

キーワード：ナノシリコン 弾道電子放出 還元効果 薄膜堆積 薄膜デバイス

### 1. 研究開始当初の背景

デバイスの超微細化・3次元化にともない、固体薄膜の堆積においては、ダメージフリーの低温クリーンプロセスを開発する必要性がますます高まっている。そこで、本研究ではナノシリコン素子で先に見いだした弾道電子放出が高い還元効果をもたらす可能性に着目し、“弾道電子の溶液への注入による新規の薄膜堆積法の提示”を主題として、種々の物質塩溶液における基礎過程の解明と応用をめざした。弾道電子の新たな可能性を追求する本研究は、当該分野の研究が直面している課題とニーズに応えるとともに、他分野に波及する基盤的な手段を提供する意味で、基礎と応用の両面で重要な意義をもつ。

### 2. 研究の目的

新規の固体薄膜堆積技術の開発を目的とし、ナノシリコン素子から放出される弾道電子の還元活性を利用した低温ウエットプロセスの検討を行う。具体的には、弾道電子を溶液に注入し、物質イオンの還元を誘起する方式で半導体および金属の薄膜を形成する。課題と目標を以下のように設定した。

- (1)基礎過程の解析：弾道電子の注入量・エネルギーと還元効果との相関を究明。薄膜堆積過程の解析と堆積レートの定式化。
- (2)半導体・金属薄膜の堆積：Si、Geの薄膜堆積の確認と堆積可能な金属材料範囲の確定。堆積薄膜の材料学的評価。
- (3)構造・機能の制御：積層構造の形成やSiGe薄膜の組成制御性の検証。
- (4)応用の基礎検討：薄膜素子の作製に展開するための堆積方式と要素技術を固める。

### 3. 研究の方法

ナノシリコン素子から放出される弾道電子を各種物質塩溶液に注入し、還元機能による固体薄膜の成長現象について追究した。

- (1)弾道電子の注入実験と界面反応の解析：高効率・高安定の弾道電子エミッタ作製技術の確立、サイクリックポルタモグラム測定、薄膜堆積システムの構築。
- (2)薄膜堆積機構の基礎解析：物質塩溶液への弾道電子注入で薄膜が成長するための基本要件を把握。還元モデルによる薄膜堆積レートの定量化と実験値との比較。
- (3)半導体・金属薄膜の堆積と膜質評価：電子源を溶液に浸漬する方法と電子源に溶液を滴下する二つの方法で、Si、Ge、Cuなどの薄膜形成を試行。堆積した薄膜について、断面・表面構造、厚さ、電子構造、結晶性、組成などを評価。
- (4)積層構造・混晶薄膜への展開：本手法の一貫プロセスにより、周期薄膜構造の作製を検討する。混合溶液を用いたSiGe薄膜の形成と評価を行う。
- (5)新規薄膜堆積技術としての向上：溶液を薄くコートした基板に薄いスペースを介して電子を近接照射するプリンティング方

式のシステム構築と動作実験。薄膜堆積の検証および膜質評価。

### 4. 研究成果

弾道電子の還元力による固体薄膜堆積が、当初の予測通り、従来のドライ法、ウエット法とは異なる機構によって生じ、学術的に有意な特長と発展性をもつことを明らかにした。成果のポイントを以下に示す。

#### (1)弾道電子注入と薄膜形成の解析

半導体・金属イオンの還元から核生成、薄膜成長に至る過程の中で、初段の還元反応速度が現象を支配する最重要因子であることが判明した。それをふまえ、本提案の対象となる半導体および金属の全てに共通する薄膜堆積レートを定式化した。

#### (2)半導体・金属薄膜の堆積と膜質評価

SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>溶液およびCuCl<sub>2</sub>などの金属塩水溶液へ弾道電子注入を行い、非晶質SiとGeさらには多結晶Cuなどの薄膜が電子源表面に均一に堆積される現象を観測した。また汚染のないクリーンな室温成膜であること、堆積レートは予測値と合致することを明らかにした。

#### (3)積層構造・混晶薄膜への展開

積層構造への適用性については金属薄膜で確認した。またSiCl<sub>4</sub>とGeCl<sub>4</sub>の混合溶液の導入によってSi<sub>x</sub>Ge<sub>1-x</sub>薄膜の堆積を実現し、組成比xは溶液の混合比によって制御できることを示した。

#### (4)新規薄膜堆積技術としての向上

極微量の溶液を塗布した基板と電子源を低圧不活性ガス中で近接対向させ、基板に電子照射するプリンティング方式を試行した。その結果、対向面上に純度の高い薄膜が堆積することをCuで確認した。さらに、アクティブマトリクス駆動電子源アレイの作製、ナノメートル幅のエミッション窓の形成などの要素技術も開発できた。これらは、本提案の有効性と波及性を裏付ける成果といえる。

### 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24件) 全て査読有

1. N. Koshida, A. Kojima, N. Ikegami, R. Suda, M. Yagi, J. Shirakashi, T. Yoshida, H. Miyaguchi, M. Muroyama, H. Nishino, S. Yoshida, M. Sugata, K. Totsu, and M. Esashi, Development of ballistic hot electron emitter and its applications to parallel processing: Active-matrix massive direct write lithography in vacuum and thin films deposition in solutions, Proc. SPIE Symp. on Advanced Lithography, Vol. **9423**, 942313/1-8 (2015). DOI: 10.1117/12.2085782
2. T.:Toyonaka, K. Morihara, K. Takikawa, M. Ito, and J. Shirakashi, Controlling the tunnel

- resistance of suspended Ni nanogaps using field-emission-induced electromigration, *J. Vac. Sci. & Technol.*, **33** (2), 02B107 (2015). DOI: 10.1116/1.4904731
3. R. Suda, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, N., J. Shirakashi, and N. Koshida, Deposition of thin Si and Ge films by ballistic hot electron reduction under a solution dripping mode and its application to the growth of thin SiGe films, *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 04DH11/1-5 (2015). DOI: 10.7567/JJAP.54.04DH11
  4. 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 Lett.* **3** (5), P57-P60 (2014). DOI: 10.1149/2.002405ssl
  5. N. Koshida, R. Suda, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori, and J. Shirakashi, Low-temperature deposition of thin Si, Ge, and SiGe films using reducing activity of ballistic hot electrons, *ECS Trans.* **64** (6), 405-410 (2014). DOI: 10.1149/06406.0405ecst
  6. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, R. Suda, M. Yagi, J. Shirakashi, B. Gelloz, and N. Mori, Ballistic hot electron effects in nanosilicon dots and their photonic applications (Invited), *ECS Trans.* **61** (5), 47-54 (2014). DOI: 10.1149/06105.0047ecst
  7. H. Nishino, S. Yoshida, A. Kojima, N. Ikegami, N. Koshida, S. Tanaka, and M. Esashi, Development of MEMS Pierce-type nanocrystalline Si electron-emitter array for massively parallel electron beam direct writing, *Proc. 27th IEEE Int. Conf. on MEMS (San Francisco, USA. January 26-30, 2014)*, pp. 467-470. DOI: 10.1109/MEMSYS.2014.6765678
  8. 西野 仁、吉田慎哉、小島 明、池上尚克、田中秀治、越田信義、江刺正喜、超並列電子線描画装置のためのピアース型ナノ結晶シリコン電子源アレイの作製、電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), **134** (6), 146-153 (2014). DOI: 10.1541/ieejsmas.134.146
  9. B. Gelloz, R. Mentek and N. Koshida, Ultraviolet and long-lived blue luminescence of oxidized nano-porous silicon and pure nano-porous glass, *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, **3** (5), R83-R88 (2014). DOI: 10.1149/2.022405jss
  10. 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 Lett.* **3** (5), P57-P60 (2014). DOI: 10.1149/2.002405ssl
  11. N. Ikegami, N. Koshida, A. Kojima, H. Ohyi, T. Yoshida, and M. Esashi, Active-matrix nanocrystalline Si electron emitter array with a function of electronic aberration correction for massively parallel electron beam direct-write lithography: electron emission and pattern transfer characteristics, *J. Vac. Sci. & Tech. B* **31**, 06F703/1-8 (2013). DOI: 10.1116/1.4827819
  12. A. Kojima, N. Ikegami, T. Yoshida, H. Miyaguchi, M. Muroyama, H. Nishino, S. Yoshida, M. Sugata, S. Cakir, H. Ohyi, N. Koshida, and M. Esashi, Development of maskless electron-beam lithography using nc-Si electron-emitter array, *Proc. SPIE Symp. on Advanced Lithography*, Vol. **8680**, 8680-17/1-9 (2013). DOI: 10.1117/12.2011553
  13. B. Gelloz, R. Mentek, and N. Koshida, Ultraviolet and long-lived blue luminescence of oxidized porous silicon (Invited), *ECS Trans.* **53** (4), 103-111 (2013). DOI: 10.1149/05304.0103ecst
  14. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, and B. Gelloz, Ballistic electron effects in nanosilicon and their applications (Invited), *ECS Trans.* **53** (4), 95-102 (2013). DOI: 10.1149/05304.0095ecst
  15. N. Mori, M. Tomita, H. Inari, T. Watanabe, and N. Koshida, Disorder-induced enhancement of avalanche multiplication in a silicon nanodot array, *Jpn. Appl. Phys.* **52**, 04CJ04 (2013). DOI: 10.7567/JJAP.52.04CJ04
  16. T. Ohta, B. Gelloz, and N. Koshida, Liquid phase deposition of thin Si films by ballistic electro-reduction, *Appl. Phys. Lett.* **102** (2), 022107 (2013). DOI: 10.1063/1.4788678
  17. B. Gelloz and N. Koshida, Blue phosphorescence in oxidized nano-porous silicon, *ECS J. Solid State Sci. and Tech.*, **1** (6) R158-R162 (2012). DOI: 10.1149/2.025206jss
  18. T. Ohta, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori, and N. Koshida, Liquid-phase deposition of thin Si and Ge films based on ballistic electro-reduction, *ECS Trans.* **50** (9), 691-698 (2012). DOI: 10.1149/05009.0691ecst
  19. B. Gelloz, R. Mentek, and N. Koshida, Optical properties of phosphorescent nanosilicon electrochemically doped with terbium, *Phys. Status Solidi C* **9** (12), 2318-2321 (2012). DOI: 10.1002/pssc.201200226
  20. N. Ikegami, T. Yoshida, A. Kojima, H. Ohyi, N. Koshida, and M. Esashi, Active-matrix nanocrystalline Si electron emitter array for massively parallel direct-write electron-beam

- system: First results of the performance evaluation, *J. Micro/Nanolitho. MEMS & MOEMS* **11** (3), 031406/1-9 (2012).  
DOI: 10.1117/1.JMM.11.3.031406
21. P. Granitzer, K. Rumpf, T. Ohta, N. Koshida, M. Reissner, and P. Poelt, Enhanced magnetic anisotropy of Ni nanowire arrays fabricated on nano-structured silicon templates, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 033110 (2012).  
DOI: 10.1117/1.JMM.11.3.031406
  22. B. Gelloz, A. Loni, L. Canham, and N. Koshida, Luminescence of nano-porous powders treated by high-pressure water vapor annealing, *Nano. Res. Lett.* **7**, 382/1-4 (2012).  
DOI: 10.1186/1556-276X-7-382
  23. 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 Trans.*, **45** (5), 221-228 (2012).  
DOI: 10.1149/1.3700430
  24. N. Mori, H. Minari, S. Uno, H. Mizuta, and N. Koshida, Strain effects on avalanche multiplication in a silicon nanodot array", *Jpn. Appl. Phys.* **51** (4), 04DJ01 (2012).  
DOI: 10.1143/JJAP.51.04DJ01
- 〔学会発表〕(計 32 件, うち招待講演 9 件)
1. N. Koshida, R. Suda, M. Yagi, J. Shirakashi, A. Kojima, N. Ikegami, T. Yoshida, H. Miyaguchi, M. Muroyama, S. Yoshida, K. Totsu, and M. Esashi, Applications of nanosilicon ballistic electron emitter to nanofabrication process (Invited), 2015 年 7 月 28 日, 15th IEEE Int. Conf. on Nanotechnol. Rome, Italy.
  2. N. Koshida, R. Mentek, A. Kojima, N. Ikegami, R. Suda, M. Yagi, N. Mori, and J. Shirakashi, Functional device applications of nanostructured silicon (Invited), 2015 年 6 月 16 日, Collaborative Conf. on 3D & Materials Res. 2015, Busan, Korea.
  3. N. Koshida, R. Suda, M. Yagi, N. Mori, and J. Shirakashi, Thin film deposition based on reduction effect of ballistic hot electrons, 2015 年 6 月 2 日, 2nd Int. Conf. on Nanotech., Nanomaterials & Thin Films for Energy Applications, Manchester, UK.
  4. 須田隆太郎、八木麻実子、小島明、R. Mentek、白樫淳一、越田信義、ナノシリコン弾道電子源を用いた Cu 薄膜のプリンティング堆積、2015 年 3 月 11 日、応用物理学会、東海大学、神奈川。
  5. N. Koshida, R. Suda, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori, and J. Shirakashi, Low-temperature deposition of thin Si, Ge, and SiGe films using reducing activity of ballistic hot electrons、2014 年 10 月 7 日、Electrochem. Soc. Int. Symp. on SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 6, Cancun, Mexico.
  6. 八木麻実子、須田隆太郎、小島明、M. Romain、白樫淳一、越田信義、ナノシリコン弾道電子源を用いた 族半導体薄膜の堆積、2014 年 9 月 19 日、応用物理学会、北海道大学、札幌市。
  7. M. Yagi, R. Suda, A. Kojima, R. Mentek, N. Mori, J. Shirakashi, and N. Koshida, Deposition of thin Si, Ge, and SiGe films by ballistic hot electron reduction, 2014 年 9 月 11 日, Int. Conf. Solid State Devices and Materials, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan.
  8. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, R. Suda, M. Yagi, J. Shirakashi, B. Gelloz, and N. Mori, Applications of ballistic hot electron effects in nanosilicon dots, 9th Int. Conf. on Surfaces, Coatings and Nano-Structured Materials, 2014 年 9 月 11 日, Dublin, Ireland.
  9. N. Koshida, R. Suda, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori, and J. Shirakashi, Deposition of thin Si, Ge, and SiGe films by ballistic electro-reduction, 15th Int. Union of Materials Res. Soc. – Int. Conf. in Asia 2014, 2014 年 8 月 26 日, Fukuoka University, Fukuoka, Japan.
  10. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, R. Suda, M. Yagi, J. Shirakashi, B. Gelloz, and N. Mori, Ballistic hot electron effects in nanosilicon dots and their photonic applications (Invited), 2014 年 5 月 12 日, Electrochem. Soc. Int. Symp. on Nanoscale Luminescent Materials 3, Orlando, USA.
  11. 須田隆太郎、八木麻実子、小島明、M. Romain、白樫淳一、越田信義、ナノシリコン弾道電子源を用いた Si, Ge, SiGe 薄膜の堆積、2014 年 3 月 18 日、応用物理学会、青山学院大学、相模原市。
  12. 池上尚克、小島明、吉田孝、西野仁、吉田慎哉、宮口裕、室山真徳、大井英之、越田信義、江刺正喜、超並列電子線描画装置用アクティブマトリクス nc-Si 面電子源の開発( ), 2014 年 3 月 18 日、応用物理学会、青山学院大学、相模原市。
  13. 森伸也、越田信義、ナノ結晶シリコンの光起電力特性に対する雪崩増倍効果、2014 年 3 月 18 日、応用物理学会、青山学院大学、相模原市。
  14. N. Koshida, Electronic and optoelectronic applications of nanoporous silicon (Short Course Lecture), 2014 年 3 月 9 日, 9th Int. Conf. on Porous Semiconductors Sci. and Technol., Alicante, Spain
  15. N. Koshida, Functional applications of nanostructured silicon (Invited), 2013 年 12 月 5 日, Int. Conf. on Processing &

- Manufacturing of Adv. Materials, Las Vegas, USA.
16. 西野 仁, 吉田慎哉, 田中秀治, 江刺正喜, 小島 明, 池上尚克, 越田信義, 超並列電子線描画装置のためのピアース型ナノ結晶シリコン電子源アレイの作製, 2013年11月7日, 第30回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 仙台国際センター, 仙台市.
  17. R. Suda, M. Ito, M. Yagi, A. Kojima, R. Mentek, N. Mori, J. Shirakashi, and N. Koshida, Ballistic electro-deposition of thin Si, Ge, and SiGe films, 2013年9月26日, Int. Conf. Solid State Devices and Materials, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, Japan.
  18. 伊藤光樹, 須田隆太郎, 八木麻実子, 小島明, R. Mentek, 白樫淳一, 越田信義, 2013年9月19日, 弾道電子の直接還元効果を用いた半導体薄膜堆積, 応用物理学会, 同志社大学, 京都.
  19. 池上尚克, 小島明, 吉田孝, 大井英之, 越田信義, 江刺正喜, 超並列電子線描画装置用アクティブマトリクス nc-Si 面電子源の開発(III), 2013年9月16日, 応用物理学会, 同志社大学, 京都府.
  20. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, B. Gelloz, and N. Mori, Ballistic electron emission from nanostructured Si diode and its applications (Invited), 2013年6月5日, 8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Hetero-structures, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
  21. N. Koshida, N. Ikegami, A. Kojima, R. Mentek, and B. Gelloz, Ballistic electron effects in nanosilicon and their applications (Invited), 2013年5月14日, Electrochem. Soc. Int. Symp. on Advances in Nano Systems, Toronto, Canada.
  22. 須田隆太郎, 伊藤光樹, 小島明, 白樫淳一, 越田信義, ナノシリコン弾道電子源の還元効果による Si 薄膜堆積, 応用物理学会, 2013年3月28日, 神奈川工科大学, 神奈川.
  23. 小島明, 池上尚克, 吉田孝, 宮口裕, 大井英之, 越田信義, 江刺正喜, 超並列電子線描画装置における電子光学収差補正, 応用物理学会, 2013年3月28日, 神奈川工科大学, 厚木市.
  24. A. Kojima, N. Ikegami, T. Yoshida, H. Miyaguchi, M. Muroyama, H. Nishino, S. Yoshida, M. Sugata, S. Cakir, H. Ohyi, N. Koshida, and M. Esashi, Development of maskless electron-beam lithography using nc-Si electron-emitter array, SPIE Int. Symp. on Alternative Lithographic Technologies, 2013年2月26日, San Jose, USA.
  25. N. Koshida, Multi-functionality of nanosilicon and its device applications (Invited), Electrochem. Soc. Int. Symp. on Pits and Pores 5, 2012年10月10日, Honolulu, USA.
  26. T. Ohta, R. Mentek, B. Gelloz, N. Mori, and N. Koshida, Liquid-phase deposition of thin Si and Ge films based on ballistic electro-reduction, Electrochem. Soc. Int. Symp. on "SiGe, Ge, and Related Compounds 5: Materials, Processing, and Devices", 2012年10月10日, Honolulu, USA.
  27. N. Mori, M. Tomita, H. Minari, T. Watanabe, and N. Koshida, Disorder-induced enhancement of avalanche multiplication in a silicon nanodot array, Int. Conf. Solid State Devices and Materials, 2012年9月25日, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.
  28. 池上尚克, 吉田孝, 小島明, 大井英之, 越田信義, 江刺正喜, 超並列電子線描画装置用アクティブマトリクス nc-Si 面電子源の開発(II), 応用物理学会, 2012年9月12日, 愛媛大学, 松山市.
  29. N. Mori, M. Tomita, H. Minari, T. Watanabe, and N. Koshida, Effects of atomic disorder on impact ionization rate in silicon nanodots, In. Conf. on Physics of Semiconductors, 2012年7月31日, Zurich, Switzerland.
  30. N. Koshida, T. Ohta, R. Mentek, and B. Gelloz, Photonic and related functional applications of quantum-sized nanosilicon (Invited), Int. Conf. on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, 2012年6月6日, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, Japan.
  31. A. Kojima, H. Ohyi, N. Ikegami, T. Ohta, N. Koshida, T. Yoshida, and M. Esashi, Development of MEMS electron-optics bonded on electron emitter array for massively parallel EB lithography system, 56th Int. Conf. on Electron, Ion, Photon Beam Technology and Nanofabrication, 2012年6月1日, Hawaii, USA.
  32. N. Koshida, T. Ohta, and B. Gelloz, Ballistic electron emission from nanosilicon diode and its application to ultra-thin film deposition of Si and Ge (Invited), Electrochem. Soc. Int. Symp. on Nanoscale Luminescent Materials 2, 2012年5月7日, Seattle, USA.

〔図書〕(計4件)

1. N. Koshida, Thermal Properties of Porous Silicon, in "Handbook of Porous Silicon", Part II, ed. Leigh Canham (Springer, 2015), 1017 pages (pp. 207-212).
2. N. Koshida, Thermal Properties of Nanoporous Silicon Materials, in "Porous Silicon for Biomedical Applications", ed. Helder A. Santos (Woodhead Publ., Cambridge, UK), 2014, 517 pages (pp. 35-51).

3. N. Koshida and B. Gelloz, Nanosilicon for advanced post-scaling applications, in “Nanostructured Semiconductors: from basic research to applications”, ed. P. Granitzer and K. Rumpf (Pan Stanford Publ., Singapore, 2014), 684 pages (pp. 619-654).
4. 越田信義, 小山英樹, ナノポーラスシリコンとそのデバイス, 「異種機能デバイス集積化技術の基礎と応用 - MEMS、NEMS、センサ、CMOSLSI の融合 - 」, 監修: 益一哉・年吉洋・町田克之 (シーエムシー出版、2012), 279 pages (pp. 47-57).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 処理装置及び薄膜の製造方法  
発明者: 越田信義・白樫淳一・須田隆太郎・八木麻実子  
権利者: 東京農工大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2015-031822  
出願年月日: 平成 27 年 2 月 20 日  
国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

新聞記事

日経産業新聞 (2012 年 5 月 29 日):  
記事 ”太陽電池薄膜 安価に作製”で本研究が紹介された。

研究室ホームページ

<http://www.tuat.ac.jp/~koslab/>  
で研究内容と成果を公開。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東京農工大学・大学院工学研究院・  
名誉教授  
越田 信義 (KOSHIDA NOBUYOSHI)  
研究者番号: 5 0 1 4 3 6 3 1

(2) 研究分担者

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
白樫 淳一 (SHIRAKSHI JUNICHI)  
研究者番号: 0 0 3 1 5 6 5 7