

Thu. Nov 4, 2021

Room C

Surface Engineering/Thin Film/Semiconductor/Magnetic, Electronic, and Photonic devices/Electronic Material Processing(SE/TF/EMP/MI/MS)

[2Ca07-13] TF/SE/EMP/MI/MS

Chair:

10:00 AM - 12:00 PM Room C (Takamatsu)

[2Ca07R] Analysis of vibrational states of H in Pd nanofilm by inelastic neutron scattering
 *Takahiro Ozawa¹, Maiko Kofu², Mitsutaka Nakamura², Kazuki Iida³, Toshiya Otomo⁴, Osamu Yamamuro⁵, Ryota Shimizu⁶, Taro Hitosugi⁶, Katsuyuki Fukutani^{1,7} (1. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 2. J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency, 3. Neutron Science and Technology Center, Comprehensive Research Organization for Science and Society, 4. Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 5. Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, 6. School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, 7. Advanced Science Research center, Japan Atomic Energy Agency)

10:00 AM - 10:15 AM

[2Ca08] Low damage Radical oxidation of Gold Nanoparticle Plasmon

*Kazuyasu Watanabe¹, Takeshi Kitajima¹, Toshiki Nakano¹ (1. National Defense Academy)

10:15 AM - 10:30 AM

[2Ca09Y] Low temperature deposition of c-axis oriented gallium nitride films using high-density convergent plasma sputtering device
 *Taisei Motomura¹, Tatsuo Tabaru¹, Masato Uehara¹ (1. Sensing System Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

10:30 AM - 10:45 AM

[2Ca10S] Characterization of mist chemical vapor deposited Al₂O₃ thin films and its applications in GaN-based MIS-HEMTs
 *Tomohiro Motoyama¹, Ali Baratov², Rui Shan Low², Shun Urano², Yusui Nakamura³, Masaaki Kuzuhara⁴, Joel T. Asubar², Zenji Yatabe³ (1. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University,

2. Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 4. School of Engineering, Kwansei Gakuin University)

10:45 AM - 11:00 AM

[その他] Break time

11:00 AM - 11:15 AM

[2Ca12] Modulation of Metal-Insulator Transition Properties in the strain-controlled VO₂ micro sample

*Ai I. Osaka¹, Rui Li¹, Liliang N. Pamasi², Ken Hattori², Hidekazu Tanaka¹, Azusa N. Hattori¹ (1. SANKEN, Osaka University, 2. Graduate School of Science and Technology, NAIST)

11:15 AM - 11:30 AM

[2Ca13] Creation of single photon source/spin defect in SiC toward quantum applications

*Takeshi Ohshima¹ (1. National Institutes for Quantum Science and Technology)

11:30 AM - 12:00 PM

Surface Engineering/Thin Film/Semiconductor/Magnetic, Electronic, and Photonic devices/Electronic Material Processing(SE/TF/EMP/MI/MS)

[2Ca07-13] TF/SE/EMP/MI/MS

Chair:

Thu. Nov 4, 2021 10:00 AM - 12:00 PM Room C (Takamatsu)

[2Ca07R] Analysis of vibrational states of H in Pd nanofilm by inelastic neutron scattering

*Takahiro Ozawa¹, Maiko Kofu², Mitsutaka Nakamura², Kazuki Iida³, Toshiya Otomo⁴, Osamu Yamamuro⁵, Ryota Shimizu⁶, Taro Hitosugi⁶, Katsuyuki Fukutani^{1,7} (1. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 2. J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency, 3. Neutron Science and Technology Center, Comprehensive Research Organization for Science and Society, 4. Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 5. Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, 6. School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, 7. Advanced Science Research center, Japan Atomic Energy Agency)

10:00 AM - 10:15 AM

[2Ca08] Low damage Radical oxidation of Gold Nanoparticle Plasmon

*Kazuyasu Watanabe¹, Takeshi Kitajima¹, Toshiki Nakano¹ (1. National Defense Academy)

10:15 AM - 10:30 AM

[2Ca09Y] Low temperature deposition of c-axis oriented gallium nitride films using high-density convergent plasma sputtering device

*Taisei Motomura¹, Tatsuo Tabaru¹, Masato Uehara¹ (1. Sensing System Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

10:30 AM - 10:45 AM

[2Ca10S] Characterization of mist chemical vapor deposited Al₂O₃ thin films and its applications in GaN-based MIS-HEMTs

*Tomohiro Motoyama¹, Ali Baratov², Rui Shan Low², Shun Urano², Yusui Nakamura³, Masaaki Kuzuhara⁴, Joel T. Asubar², Zenji Yatabe³ (1. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 2. Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 4. School of Engineering, Kwansei Gakuin University)

10:45 AM - 11:00 AM

[その他] Break time

11:00 AM - 11:15 AM

[2Ca12] Modulation of Metal-Insulator Transition Properties in the strain-controlled VO₂ micro sample

*Ai I. Osaka¹, Rui Li¹, Liliang N. Pamasi², Ken Hattori², Hidekazu Tanaka¹, Azusa N. Hattori¹ (1. SANKEN, Osaka University, 2. Graduate School of Science and Technology, NAIST)

11:15 AM - 11:30 AM

[2Ca13] Creation of single photon source/spin defect in SiC toward quantum applications

*Takeshi Ohshima¹ (1. National Institutes for Quantum Science and Technology)

11:30 AM - 12:00 PM

中性子非弾性散乱による Pd ナノ薄膜中水素の振動状態の解析

○小澤 孝拓^{1*}, 古府 麻衣子², 中村 充孝², 飯田 一樹³, 大友 季哉⁴, 山室 修⁵,
清水 亮太⁶, 一杉 太郎⁶, 福谷 克之^{1,7}

¹東大生研, ²原子力機構 J-PARC セ, ³総合科学研究機構, ⁴高エネ研, ⁵東大物性研, ⁶東工大物質理工学院, ⁷原子力機構先端研

Analysis of vibrational states of H in Pd nanofilm by inelastic neutron scattering

○Takahiro Ozawa^{1*}, Maiko Kofu², Mitsutaka Nakamura², Kazuki Iida³, Toshiya Otomo⁴, Osamu Yamamuro⁵, Ryota Shimizu⁶, Taro Hitosugi⁶ and Katsuyuki Fukutani^{1,6}

¹ Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, ²J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency, ³Neutron Science and Technology Center, Comprehensive Research Organization for Science and Society, ⁴Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), ⁵Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, ⁶School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, ⁷Advanced Science Research center, Japan Atomic Energy Agency

水素化物の電子物性は水素原子の振動状態や電子状態と密接に関わっており、それらは水素の格子位置や濃度に依存する。特に表面近傍では、バルクと異なる電荷分布や格子歪みに起因してバルク中とは異なるサイトに水素が吸蔵される可能性があり[1], また次元性や空間反転対称性に関連して表面やナノ薄膜それ自体が特有な物性を示し得ることから、表面近傍やナノ薄膜水素化物では新奇な物性が期待されている。これまで我々は、Pd ナノ薄膜において水素吸蔵に伴う近藤効果の発現を示唆する電気抵抗極小現象を発見した[2]。バルク Pd では八面体(O)サイトに水素が吸蔵されることで知られるが、ナノ粒子では一部の水素が四面体(T)サイトを占有することが中性子回折や非弾性散乱実験により報告されている[3,4]。しかし基板とナノ薄膜の散乱強度の問題からナノ薄膜の中性子散乱実験はほとんど行われおらず、二次元表面近傍の水素サイトや振動状態に関する知見は依然として乏しい。本研究では、非干渉性散乱断面積の小さいAl箔を基板として用い、J-PARCの大強度中性子ビームを用いることでPdナノ薄膜中水素の振動準位の観測に成功したので報告する。

試料は10~12 μm のアルミ箔両面にマグネトロンスパッタによって成膜した8 nmの多結晶Pdナノ薄膜を用いた。AlとPdの総量はそれぞれ約10 g, 65 mgである。中性子非弾性散乱実験はJ-PARCのBL-01 (4SEASONS)で行った。試料の水素化はその場での水素ガス曝露によって行った。Fig. 1にPdH_{0.19}とPdH_{0.73}の非弾性散乱スペクトルを□と○で示す。入射エネルギー E_i はそれぞれ(a)168 meV, (b)332 meVである。水素濃度によらず60 meVと135 meVあたりに明瞭な散乱ピークが観測された。これらはOサイトにおける水素の第一および第二振動励起に対応し、Oサイト占有の水素が存在することを示している。特に100 meV以下の振動ピークの形状はナノ粒子とよく似ていることがわかった。一方、ナノ粒子において160 meVあたりに見られたTサイト水素の存在を示す振動ピークは観測されず、高エネルギー領域の振動状態はバルクと似ていることがわかった。本講演では格子緩和やポテンシャル形状の観点からPdの二次元表面近傍の水素の振動状態について議論する。

- [1] T. Ishimoto *et al.*, J. Phys. Chem. Lett. 7 (2016) 736.
[2] T. Ozawa *et al.*, 2019 年日本表面真空学会学術講演会 (2019).
[3] H. Akiba *et al.*, J. Am. Chem. Soc. 138 (2016) 10238.
[4] M. Kofu *et al.*, Phys. Rev. B 96 (2017) 054304.

*E-mail: t-ozawa@iis.u-tokyo.ac.jp

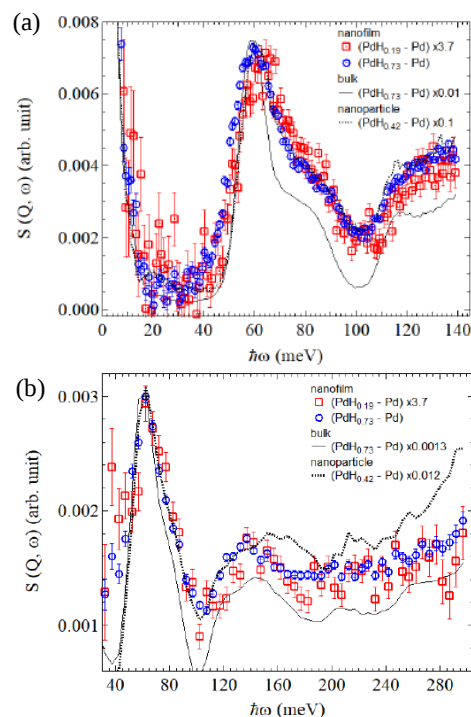


Fig. 1. PdH_{0.19}およびPdH_{0.73}ナノ薄膜の非弾性散乱スペクトル。(a) $E_i = 168$ meV, (b) $E_i = 332$ meV. 点線はバルクとナノ粒子を用いた先行研究の結果[4].

金ナノ粒子プラズモンによるシリコンの低ダメージラジカル酸化

○渡邊 一葉*, 北嶋 武, 中野俊樹

防衛大学校

Low damage Radical oxidation of Gold Nanoparticle Plasmon

○Kazuyasu Watanabe*, Takeshi Kitajima and Toshiki Nakano

National Defense Academy

1. はじめに

金ナノ粒子のプラズモンが近年注目されている¹。我々は金ナノ粒子のプラズモンを応用し、イオン衝撃によるプラズマ照射表面へのダメージの低減と良質な極薄膜形成への活用を図ってきた²。今回は、シリコンの室温でのラジカル酸化に対する効果を調べた。

2. 実験結果

超高真空チャンバー内で $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 基板上に電子ビーム蒸着によって Au (C) を 2 分蒸着する。次に酸化用チャンバー内で 1Pa の酸素プラズマを生成、30line/inch の SUS304 製シングルメッシュを通過したラジカル(R)、プラズマ光(L)を 10 分間試料へ照射する。イオン照射(I)を加える際にはメッシュを外す。プラズマ光に代えて、白色 LED とフィルターで構成する緑色または青色光を照射する場合は試料面を 90° 回転した。図 1 に各処理条件での XPS のスペクトルを示す。図 2 にその強度比(SiO_2/Si)と SiO_2 のケミカルシフトをプロットした。強度面積比(SiO_2/Si)は $\text{RLC}(\text{緑色光}) < \text{RLC}(\text{青色光}) < \text{RL} < \text{RLC}(\text{プラズマ光} + \text{緑色光}) < \text{RLC}(\text{プラズマ光}) < \text{RIL}$ の順で増加した。ケミカルシフトは $\text{RLC}(\text{緑色光})$ 、 $\text{RLC}(\text{プラズマ光} + \text{緑色光})$ 、 $\text{RLC}(\text{青色光})$ 、 $\text{RLC}(\text{プラズマ光})$ 、 RL 、 RIL の順番で熱酸化膜に近く、 RIL 条件では乖離が見られる。この結果から金ナノ粒子のプラズモンによって低ダメージ酸化が進行していると考えられる。今後、膜質の向上を静電容量及び漏れ電流の測定によって確認する。

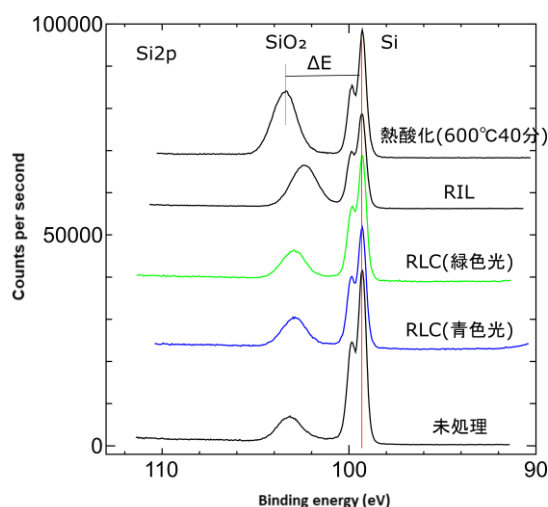
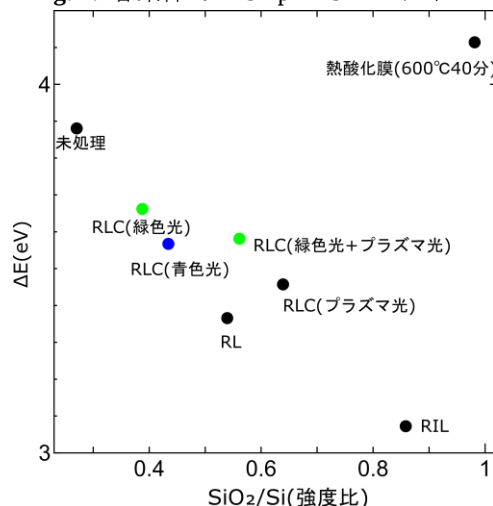


Fig. 1. 各条件での Si2p XPS スペクトル

Fig. 2. SiO_2 のケミカルシフトと SiO_2 と Si の強度比

文 献

- 1 Aihui Liang, Qingye Liu, Guiqing Wen, Zhiliang Jiang. Trends in Analytical Chemistry, Vol 37, 2012.
- 2 Takeshi Kitajima, Machiko Miyake, Kohei Honda, and Toshiki Nakano, J.Appl. Phys. 127, 2020.

*E-mail: em59026@nda.ac.jp

高密度収束プラズマスパッタリング装置を用いた *c* 軸配向窒化ガリウム薄膜の低温成膜

○本村 大成^{1*}, 田原 竜夫¹, 上原 雅人¹

¹ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 センシングシステム研究センター

Low temperature deposition of *c*-axis oriented gallium nitride films using high-density convergent plasma sputtering device

○Taisei Motomura^{1*}, Tatsuo Tabaru¹ and Masato Uehara¹

¹ Sensing System Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

III-V 族窒化物の窒化ガリウム (GaN) は光学素子やパワー半導体などの応用に適していることから、化学気相反応を主とした成膜法において、現在も結晶成長に関する様々な研究が行われている。そのような中、我々は物理気相成長法の一つであるスパッタ成膜法による低温成膜の特長を活かしつつ薄膜の品質を向上させるために、外部コイルと永久磁石によって発生させた収束磁場を用いて高密度プラズマをターゲットに収束照射可能なスパッタリング装置 (Convergent Plasma Sputtering Device: CPSD) を提案してきた¹⁾。CPSD では基板を収束磁場外に設置するため、収束磁場を横切る荷電粒子の拡散が抑制され、プラズマ中のイオン束やターゲットからの二次電子束の基板への流入が抑えられ基板のイオンダメージや温度上昇を抑制する効果が期待される。本発表では CPSD を用いて GaN 薄膜の低温成膜を行った実験について、基板温度依存性の結果をもとに報告する。

CPSD を用いて、液体 Ga ターゲット、窒素ガス圧力 0.2 Pa、ターゲット-基板間距離 50 mm とし、基板ヒーター温度を非加熱 (~80°C) から 800°C まで変化させ、サファイア(0001)基板上にスパッタ成膜を実施した。Fig.1 にヒーター温度を(a) 非加熱、(b) 200°C、(c) 600°C にして得られた GaN 薄膜の 2θ - χ plane における X 線回折パターンを示す。ヒーター温度の上昇とともに、GaN(0002)回折ピークが鋭くなり、(b) 200°C において GaN(0002)の明瞭な回折ピークが得られた。(c) 600°C においては、GaN(0002)および GaN(10-11)の回折ピークが得られた。発表では、得られた GaN 薄膜の ϕ スキャンや極点図などの X 線回折測定結果および表面

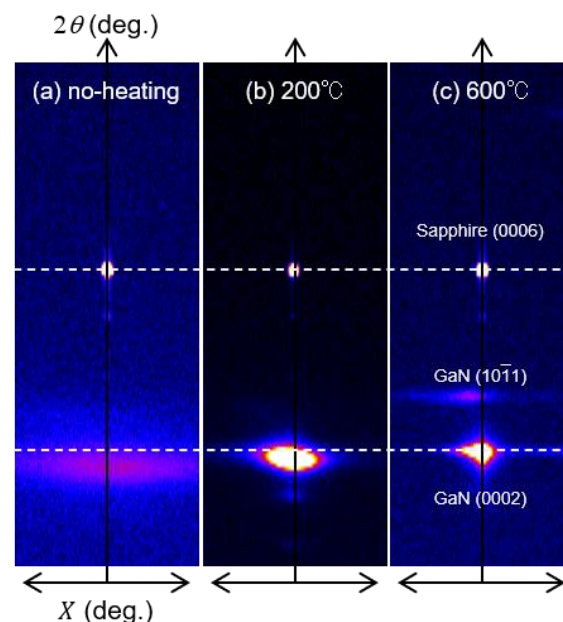


Fig. 1. XRD scans on 2θ - χ plane of the deposited films at various T_s : (a) no-heating (b) 200 °C, (c) 600 °C. The drawing range of χ axis is ± 11 degrees. The 2θ axis corresponds to the out-of-plane scan ranging from 30 to 50 degrees.

AFM 像をもとに、窒化ガリウム薄膜の *c* 軸配向性の基板温度依存性について述べ、スパッタ GaN 薄膜の低温成膜の可能性について議論する。

文 献

- 1) T. Motomura and T. Tabaru, Rev. Sci. Instrum. **89**, 63501 (2018).

*E-mail: t.motomura@aist.go.jp

ミスト CVD 法により作製した Al_2O_3 薄膜と GaN 系 MIS-HEMT への応用

○本山 智洋¹, Ali Baratov², Rui Shan Low², 浦野 駿²,
中村 有水³, 葛原 正明⁴, Joel T. Asubar^{2*}, 谷田部 然治^{3*}

¹熊本大学大学院自然科学教育部, ²福井大学大学院工学研究科

³熊本大学大学院先端科学研究部, ⁴関西学院大学工学部

Characterization of mist chemical vapor deposited Al_2O_3 thin films and its applications in GaN-based MIS-HEMTs

○Tomohiro Motoyama¹, Ali Baratov², Rui Shan Low², Shun Urano²,
Yusui Nakamura¹, Masaaki Kuzuhara³, Joel T. Asubar^{2*}, Zenji Yatabe^{1*}

¹Kumamoto University, ²University of Fukui, ³Kwansei Gakuin University

1. はじめに

AlGaIn/GaN ヘテロ構造は低損失で高速動作が可能な次世代高出力/高周波・パワーデバイスとして注目されている。順バイアス印可時の障壁を形成するためには、金属-ゲート絶縁膜-半導体(MIS)構造が重要である。このゲート絶縁膜には比較的高い比誘電率(〜9)、広いバンドギャップ(〜7 eV)を有する Al_2O_3 薄膜が頻繁に用いられている¹⁾。また原子層堆積(ALD)法により Al_2O_3 ゲート絶縁膜を堆積することが多い。本研究では低コスト・エコフレンドリーな酸化物薄膜形成として知られるミスト化学気相成長(mist-CVD)法²⁾により作製した Al_2O_3 ゲート絶縁膜を有する mist- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ ダイオードの作製、評価・解析を行った。

2. 実験方法

ミスト CVD 法により Al_2O_3 薄膜を作製した。原料溶液には Al 供給源としてアルミニウムアセチルアセトナート[$\text{Al}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$]、溶媒にはメタノールを用いた。堆積温度は 400 °C でキャリアガスには窒素を用いた。MIS ダイオードの作製には SiC 基板上の AlGaIn/GaN ヘテロ構造を使用した。 AlGaIn 層厚は 24 nm、Al 組成比は 25 %である。 Al_2O_3 薄膜の評価のため、Si 基板上にもミスト CVD 法により Al_2O_3 を堆積した。

3. 結果と考察

Fig. 1 に Si 基板上に堆積した mist- Al_2O_3 膜厚の堆積時間依存性を示す。Mist- Al_2O_3 膜厚と堆積時間には線型関係があり良好な膜厚制御性を有している。本実験条件では堆積速度は約 30 nm/min であり、一般的な ALD よりも高速であった。X 線回折測定より mist-

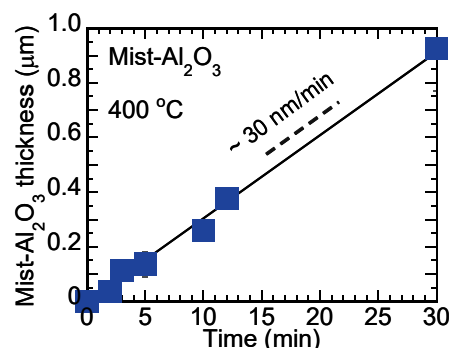


Fig. 1. Mist- Al_2O_3 堆積速度

Al_2O_3 薄膜はアモルファス構造であることが確認され、加えて X 線光電子分光法による測定から禁制帯幅は 6.5 eV、X 線反射率測定より密度は 2.78 g/cm³、分光エリプソメトリー測定から屈折率は 1.64 となり、ALD 法で作製したアモルファス Al_2O_3 と同等の値となった³⁾。すなわち低コストかつエコフレンドリーなミスト CVD 法で ALD 法と同等の膜質を有する Al_2O_3 薄膜が速い堆積速度で得られたことを示唆している。

作製した mist- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaN}$ ダイオードの容量-電圧($C-V$)測定結果より、順バイアス領域において急峻な容量の立ち上がりを確認でき、良好な $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}$ 界面が形成されたことが示唆された。 $C-V$ 特性の数値計算結果と実験値とのフィッティングにより界面準位密度 D_{it} を算出した結果、 $E_c - 0.8$ eV 付近で約 2×10^{11} eV⁻¹cm⁻² となり ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}$ で報告されている D_{it} よりも良好な値が得られた⁴⁾。

文 献

- 1) J. Asubar et al.: J. Appl. Phys. **129**, 121102 (2021).
- 2) Kawaharamura et al: AIP Adv. **3**, 032135 (2013).
- 3) Z. Yatabe et al.: Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 070905 (2019).
- 4) R. S. Low et al.: Appl. Phys. Express **14**, 031004 (2021).

*E-mail: joel@u-fukui.ac.jp, yatabe@cs.kumamoto-u.ac.jp

11:00 AM - 11:15 AM (Thu. Nov 4, 2021 10:00 AM - 12:00 PM Room C)

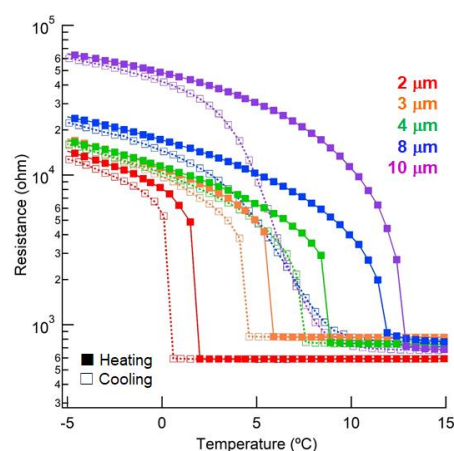
[その他] Break time

マイクロ空間でのひずみ制御による VO₂ の相転移特性変調○大坂 藍^{1*}、李 瑞¹、Liliany N. Pamasi²、服部 賢²、田中 秀和¹、服部 梓¹¹大阪大学産業科学研究所, ²奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科Modulation of Metal-Insulator Transition Properties in the strain-controlled VO₂ micro sample○A. I. Osaka^{1*}, R. Li¹, L. N. Pamasi², K. Hattori², H. Tanaka¹ and A. N. Hattori¹¹Osaka Univ., SANKEN, ²NAIST, Graduate School of Science and Technology

1. はじめに

代表的な強相関金属酸化物であり室温付近で MIT を示す VO₂ は、10¹-10⁴ 倍に及ぶ巨大な抵抗変化から、スイッチングデバイスやボロメーターなどの応用が期待されている。VO₂ では、熱や光、ひずみなどの外部刺激によって絶縁体から金属に敏感に変化することが知られており、デバイス化にあたっては、温度変化に対する抵抗の上昇度など応答性の増大、任意の転移温度の選択などが求められる。VO₂ では MIT 過程で絶縁体と金属相ドメインが共存する相分離現象が観察され、MIT の最小単位は、数百 nm-数μm サイズの電子相ドメインである^{1,2)}。これまでの主な研究対象となっているバルク・薄膜試料では、多数の電子相の平均化された MIT を特性として観察しているため、特性制御が困難である。そこで我々は、精密にサイズ制御された VO₂ 試料を作り出し、マイクロ空間内に電子相を閉じ込め、マイクロ空間サイズに依存して発生するひずみを用いることで MIT 特性変調を試みた。

膜厚 15 nm の VO₂ 薄膜を Pulsed Laser Deposition 法を用いて TiO₂(001)単結晶基板上にエピタキシャル成長させ、フォトリソグラフィーとドライエッチングで線幅 (w)、電極間距離 (l) を 2-10 μm とした試料を作製し、2 端子配置で抵抗の温度依存性(R-T)特性を評価した。VO₂ のマイクロサイズ細線試料(w = l = 2-10 μm)の R-T 曲線を Fig. 1 に示す。全ての試料が金属-絶縁体転移に伴って 1 桁以上の抵抗変化を示すが、その MIT 挙動(抵抗変化率、転移温度)に違いが見られた。2 μm 試料では cooling, heating 過程の両方でステップ抵抗変化が観察された。一方、試料サイズが 10 μm になるとかなりの抵抗変化で、かつ転移点が上昇していることがわかる。転移点の上昇は、VO₂ の強相関性をつかさ

Fig. 1. VO₂ マイクロ試料(w=l=2-10 μm)の R-T 曲線。

どる V 原子の d 電子の軌道重なり度合いが歪み負荷に応答して起こることが知られており、空間閉じ込め効果によって発生するひずみによって転移温度が変調できることを示唆している。また、試料サイズの増加に伴い、ヒステリシスの幅が大きくなっている。ヒステリシスの幅は転移点の分布を反映しており^{1,2)}、ヒステリシス幅の増加は試料中に閉じ込められた電子総数の増加と転移点の分布の広がりによるものと考えられる。

発表では、サイズに依存したひずみ構造と電気伝導特性の相関、空間内の電子相の相転移点の分布特性などを示し、巨視的、微視的な視点から MIT 特性の変調法について議論する。

文 献

- 1) S. Tsubota *et al.*, Appl. Phys. Express, **10** (2017) 115001.
- 2) A. N. Hattori *et al.*, Crystals, **10** (2020) 631.

*E-mail: osakaai@sanken.osaka-u.ac.jp

炭化ケイ素中への単一光子源・スピン欠陥の形成と量子科学技術への応用

○大島 武^{1*}¹ 量子科学技術研究開発機構

Creation of single photon source/spin defect in SiC toward quantum applications

○Takeshi Ohshima^{1*}¹National Institutes for Quantum Science and Technology

1. はじめに

半導体のバンドギャップ中に孤立した準位を持つ欠陥の発光やスピンを単一光子源、量子ビット、量子センサといった量子技術に応用する研究が盛んに行われている。バンドギャップ中の孤立した欠陥ということで、母材としてはワイドバンドギャップ半導体が有利であり、例えば、ダイヤモンドでは負に帯電した窒素-空孔 (NV) 中心が有名である¹⁾。本講演で着目する炭化ケイ素 (SiC) もワイドバンドギャップ半導体のひとつであり、超低損失パワーエレクトロニクス応用などの研究開発が進んでおり、高品質な大型基板が入手可能、デバイス作製プロセスが発達しているなど母材として有利な点がある²⁾。

2. SiC 中の単一光子源

これまでに、SiC 中で単一光子源として振る舞う欠陥は、負に帯電したシリコン空孔 (V_{Si})、中性の複空孔 ($V_{Si}V_C$)、炭素アンチサイト-炭素空孔 ($C_{Si}V_C$)、負に帯電した窒素-空孔 (N_CV_{Si})、更には、構造は未同定であるが酸素が関与すると考えられる表面欠陥 (本稿では「表面 SPS」と呼ぶ) が発見されている³⁾ (Fig. 1)。 V_{Si} は室温でのスピン・発光制御が達成されており量子センシング応用が、 $V_{Si}V_C$ は数 K といった低温ではあるが高度なスピン・発光制御が報告されており量子情報通信への応用が期待される。 $C_{Si}V_C$ や表面 SPS は、スピン操作は未報告であるが、高輝度であることから単一光子源として期待される。 N_CV_{Si} は、ダイヤモンド NV と同様にスピン欠陥としての応用が多いに期待されるが、物性、スピン制御が未発達であり、今後の研究の進展が望まれる。

3. 単一光子源・スピン欠陥形成技術

単一光子源の形成には、一般的には結晶成長中に導

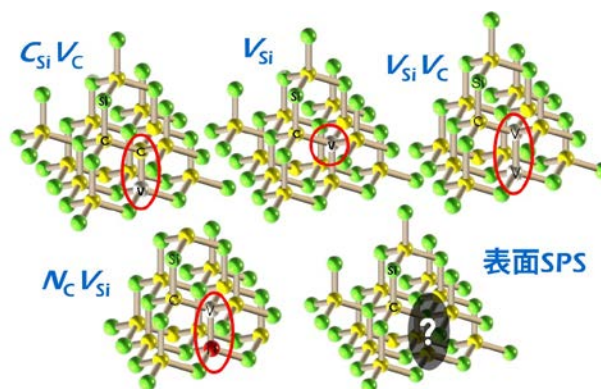


Fig. 1. SiC 中の単一光子源の模式図

入、または結晶成長後の各種プロセスで導入があるが、後者では、放射線照射が良く用いられる。SiC の場合も同様であり、表面 SPS 以外は放射線照射及び照射後の熱処理条件を工夫することで形成できる。放射線照射に関しては、その種類、エネルギーや照射量、更には照射方法を選択することで、形成位置 (深さ) や濃度を制御することができる。例えば、ミリメートルレベルの厚さの試料に深さ方向も含め均一にこれら欠陥を導入といった場合は、MeV 級のエネルギーに加速した電子線が有効であるし、狙った位置や深さという場合は集束イオンビームが有効となる。表面 SPS は酸化により形成できるため、特に放射線照射は必要としないが、形成後にガンマ線照射をすることで酸化膜と SiC の界面を改質させて生成量などを制御するといったことが試みられている。

文 献

- 1) 水落憲和: 応用物理 **87**, 251 (2018).
- 2) T. Kimoto, H. Watanabe: Appl. Phys. Express **13**, 120101 (2020).
- 3) 大島武: 応用物理 **90**, 352 (2021).

*E-mail: ohshima.takeshi@qst.go.jp