

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00355

研究課題名（和文）光を高度に操った炭化ケイ素半導体中スピン欠陥の量子状態制御

研究課題名（英文）Quantum state control with advanced optical technique for spin defects in silicon carbide

研究代表者

大島 武（Ohshima, Takeshi）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・センター長

研究者番号：50354949

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,200,000円

研究成果の概要（和文）：炭化ケイ素（SiC）中のシリコン空孔（Vsi）に着目し、量子センシングの実用化に必要な技術開発に関する研究を実施した。具体的には、小型デバイス化へ向けたSiCとSi貼り合わせ構造の試作、粒子線描画（PBW）を活用したVsiの三次元自在形成技術を開発した。更に、SiCデバイス中にPBWによりVsiを局所形成し、デバイス動作による局所の温度上昇の計測に成功した。また、Vsiでは励起状態の光検出磁気共鳴（ODMR）により温度計測をするため感度が上がらないという課題を解決するため、励起状態のODMRの情報をODMRコントラストが高い基底状態のODMRへ反映させる同時共鳴ODMRの開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では結晶成長技術やデバイス作製技術が確立しつつある炭化ケイ素（SiC）半導体を母材として選定し、スピン欠陥であるシリコン空孔（Vsi）の量子センシング技術への応用を目指した。特に、小型化デバイス化、Vsiの位置選択形成や高性能化に着目し、課題解決に向けた研究を推進した。シリコン（Si）とSiCの貼り合わせ構造作製の成功、粒子線描画（PBW）によるVsiの三次元的に自在形成の成功、PBWによりSiCデバイス中に局所形成したVsiを用いたデバイス内温度計測の実証、更には温度計測の感度を飛躍的に向上させる同時共鳴ODMR法を開発したことは、将来の量子センサ開発に向けて大いに意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, technologies that are needed toward the real applications of quantum sensing were studied, focusing on silicon vacancy (Vsi) in silicon carbide (SiC). Thus, the fabrication of the SiC/Si structure toward compact quantum sensing devices and the development of methodology for three-dimensional creation of Vsi using particle beam writing (PBW) were carried out. In addition, the increase in local temperature in a SiC device due to device operation was measured using Vsi created by PBW. Also, in order to solve the issue that the sensitivity of temperature measurement is not high (temperature is detected using ODMR for excited state which has low ODMR contrast), the simultaneously-resonated optically detected magnetic resonance (SRODMR) was developed.

研究分野：半導体工学

キーワード：結晶工学 スピン欠陥 光物性 量子センシング

1. 研究開始当初の背景

私たちの生活をより安全、安心、快適にするため様々な次世代技術が必要となる。政府が掲げる Society 5.0 ではサイバー（仮想）空間とフィジカル（現実）空間の高度な融合があり、フィジカル空間の様々な機器から大量情報がリアルタイムでサイバー空間に収集される。サイバー空間では、人工知能等を活用し大量データを解析することで高付加価値の情報とし、フィジカル空間の必要な箇所へタイムリーにフィードバックする。この実現には、高感度なセンシング、安全・安定な情報伝送、高速・省エネの解析システムが不可欠である。半導体を中心としたエレクトロニクス技術は、私たちの生活に大いに貢献し、現在の高度な社会を創り出してきた。しかし、Society 5.0 では大量情報処理を担うコンピュータは、従来のスーパーコンピュータでは消費電力の増大から限界は近い。情報伝送に関してもコンピュータの発達から従来の素因数分解に基づいた暗号技術では不完全となり、盗聴不可能な安全な暗号通信が必要となっている。加えて、Society 5.0 では様々な場所でセンシングが行われるため、高感度、省エネなセンサの開発は不可欠である。これらの問題を解決する技術として、近年、量子コンピュータ、量子暗号通信や量子センシングといった量子技術が提案され、世界的に激しい開発競争が行われている。

量子技術では、安定、且つ確実に動作する演算子（量子ビット）や量子センサの実現が重要となる。これらに対して、原子や超伝導など様々な提案がなされているが、本提案で着目したワイドバンドギャップ半導体のひとつである炭化ケイ素（SiC）中には、電子スピンを有する発光中心（スピン欠陥）、例えば、シリコン空孔（ V_{Si} ）が存在する。 V_{Si} は構造的に安定、室温動作可能と、それぞれ、原子、超伝導で問題となる課題を解決できる利点がある。ワイドバンドギャップ半導体中のスピン欠陥では、ダイヤモンド中の窒素-空孔（NV）が有力候補のひとつであり世界的に精力的な研究が進められている[1]。しかし、ダイヤモンドは大口径基板やデバイス作製技術が未確立といった課題がある。研究代表者は、超低損失パワーエレクトロニクス用半導体として研究開発が進められ、大口径基板、デバイス作製技術ともに発達している SiC に着目し、世界に先駆けて SiC 中のスピン欠陥を用いた量子技術に関する研究を開始していた。それまでに陽子線描画を用いることで V_{Si} が面内の任意位置に形成できること、形成した V_{Si} を用いて量子センシングの基礎原理である光検出磁気共鳴（ODMR）の観測に成功していた[2]。

2. 研究の目的

SiC の優位性は SiC の有するデバイス化技術であり、SiC 中 V_{Si} による量子センシングを真の技術にする、即ち、ダイヤモンド NV では達成できない小型量子センサ実現に向けて大きく飛躍させることが重要であると考え。そこで本研究では、小型量子センサ実現に向けた要素技術である「SiC 中に形成した導波路を用いた V_{Si} の励起」、「SiC と Si 貼り合せ技術の開発と Si 中に形成したフォトダイオードによる V_{Si} からの発光検出」、更に、「量子センシングの高感度化で重要な V_{Si} 高輝度化と高い ODMR コントラストを達成する」ことを目的とした。

3. 研究の方法

試料は六方晶（4H）SiC を用いた。 V_{Si} の形成には、研究代表者らがこれまで開発してきた陽子線描画[2]に加え、マイクロメートル径に集束したヘリウムイオン（He）ビームによる描画（以降、陽子線描画とヘリウムイオン描画を合せて PBW と呼ぶ）を用い、陽子及びヘリウムというイオン種の選択、更にそれらの加速エネルギーを変化（0.5~3MV）させることで表面から数 μm から数十 μm まで自在に V_{Si} を形成した。光導波路の形成に関しては、光導波路の設計及び形成プロセスに関する検討を行い、リアクティブエッチングや化学処理などによる加工を試みた。

SiC 基板と Si 基板を貼り合わせる技術の開発を進めるとともに、Si 側に受光用のフォトダイオードの作製を行った。更に、フォトダイオード付き Si 基板に貼り合せた光導波路付き SiC を用いて、SiC 中の任意の位置に PBW により V_{Si} を導入し、共焦点蛍光顕微鏡（CFM）により V_{Si} を観察した。 V_{Si} 高輝度及び高 ODMR コントラストについては、残留する欠陥の除去のための熱処理の最適条件を検討するとともに、スピン操作を工夫することで ODMR の高コントラスト化を図った。

4. 研究成果

図1に陽子線エネルギー0.5、1.5及び3MeVを用いてPBWを行ったSiC pnダイオードの室温フォトルミネッセンス（PL）マッピング結果を示す[3]。PBW

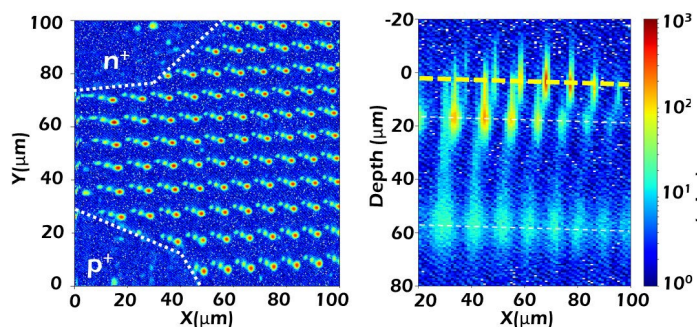


図1 PBWによりSiCダイオード中に形成された V_{Si} のPLマップ（室温）。（左）面内観察像、（右）深さ方向像

を用いることで狙った位置（面内）に規則的に並んだ V_{Si} の格子が形成できていることが分かる（左図）。加えて、異なる3つのエネルギーを用いて照射したことから、表面から3つの深さに V_{Si} が形成できていることが確認できる（右図）。このことから、エネルギーを選択しPBWを行うことで3次的に自在に V_{Si} を形成できると帰結できる。

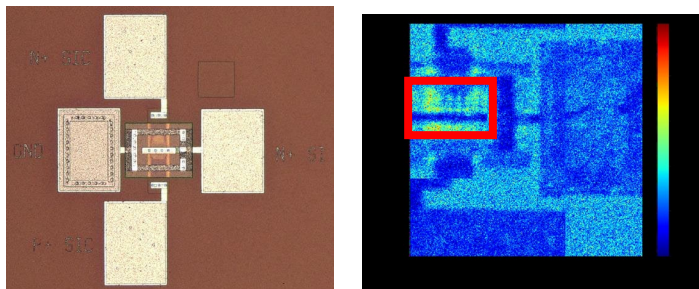


図2 (左) SiC/Si 貼り合わせ基板に形成されたデバイス。(右) 室温 PL マップ。赤色四角囲み中が PBW を行った部分

次に PBW を用いて SiC/Si 貼り合わせ基板上に作製したデバイス内に V_{Si} を形成した（図2）。室温での PL マッピングを測定から PBW を行った部位から V_{Si} の発光が観察され、PBW を用いることで SiC/Si 貼り合わせ基板においても任意位置に V_{Si} の形成に成功した。

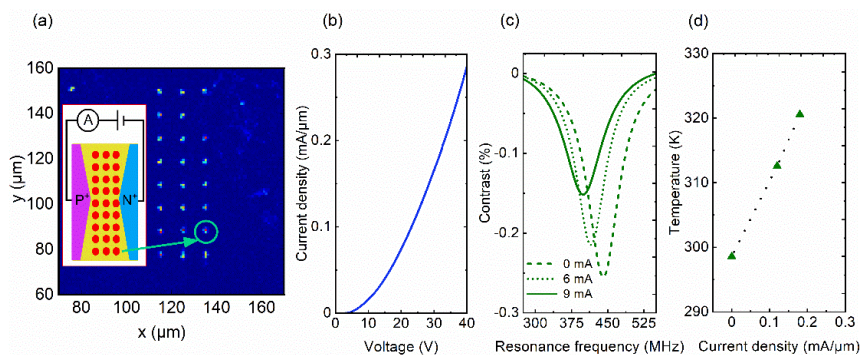


図3 (a) PBWによりSiCダイオード中に形成した V_{Si} の PL マップ。緑色丸内の V_{Si} を用いて局所温度計測を行った。(b) SiC ダイオードの電流-電圧曲線、(c) 順方向電流が0、6及び9mAの時のODMRシグナル。(d) 得られたODMRシグナルの値から得られた順方向電流と温度の関係

SiC デバイスの任意位置に V_{Si} を形成する技術を確認したことから、PBW で SiC ダイオードに局所的に V_{Si} を形成し、SiC ダイオード内の温度センシングを試みた[4]。図3に得られた結果を示す。図3(a)はPBWによって V_{Si} を形成した SiC ダイオードの室温 PL マップである。3×8の V_{Si} からの発光点の配列が観察される。SiC ダイオードの電流-電圧特性を図3(b)に示す。温度計測は SiC ダイオードに順方向電流を流し、その際に図3(a)中に緑色の丸印で示した V_{Si} を用いて温度測定を実施した。得られた ODMR シグナルを図3(c)に示す。電流が0~9mAと増加するに従い、ODMR値(ディップ位置)が450MHz付近から減少していくことが分かる。ODMR周波数から温度を見積もった結果を図3(d)に示す。図より、電流が流れていない時は297K付近であるが、電流の増加とともに温度が上昇し0.2mA/ μ m(9mA)では320Kに達することが明らかとなった。以上から、世界で初めて SiC デバイスの動作による局所温度上昇の観測に成功した。

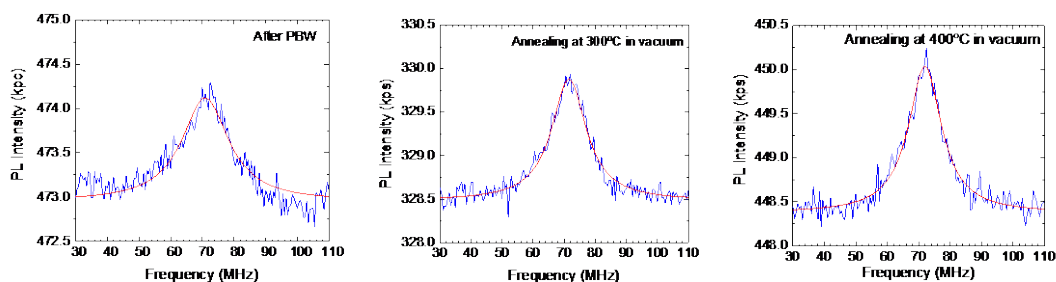


図4 PBWにより形成された V_{Si} (a) PBWのODMRシグナル(室温)。(a) 見熱処理、(b) 300°C、30分間、真空中 (c) 400°C、30分間、真空中での熱処理

V_{Si} の特性改善については、PBW後の熱処理温度と V_{Si} の発光、ODMR特性の関係を調べた[5]。図4に0.5 MeVの陽子線を用いてPBWを行うことで形成した V_{Si} の ODMR シグナルを示す。(a)、(b)及び(c)は、それぞれ、熱処理無、300°C、400°C熱処理の結果である。図より、熱処理温度の上昇とともにODMRシグナルのコントラスト(ピーク値とバックグラウンドの比)が向上していることが分かる。熱処理については800°Cまで行ったが、600°CまでPL強度は強くなるが、それ以上温度では低下すること、ODMRコントラストも同様で600°Cにピークがあることが判明した。以上のことより、 V_{Si} は照射のみで形成はできるが、600°C熱処理を行うことでより量子センシングの観点での特性が向上すると帰結できた。

V_{Si} を用いた量子センシングでは、磁場計測は基底状態のODMRを用いるが、基底状態のODMRが温度によって変化を示さないため、温度計測については励起状態でのODMRを用いる。しかし、励起状態のODMRシグナルは小さく、且つ、コントラストが非常に小さいため、温度計測では積算時間が長く必要になり、加えて、積算時間を長くしてもS/N比が上がらないため結果的には感度が高くないといった問題がある(図5)。本研究では、この課題を解決するためのスピン操作技術の開発を行った[6]。具体的には、温度に依存する励起状態のODMRの情報を基底状態のODMRで観測するという同時共鳴ODMR(SRODMR)法を開発した。この方法では二つのシグナルジェネレーターを用い、一つは基底状態でODMRが観測される周波数(無磁場であれば70MHz)に固定する。この状態で二つ目のシグナルジェネレーター

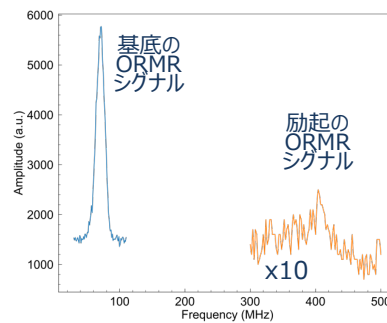


図5 SiC中の V_{Si} の基底及び励起状態のODMRシグナル。無磁場、室温の場合

を掃引する。この状況で基底状態のODMRピークの高さを観測する。図6に基底状態のODMRピーク強度と二つ目のシグナルジェネレーターの周波数の関係を示す。図より基底状態のODMRシグナルピーク強度が400MHzで最低値を示すこと

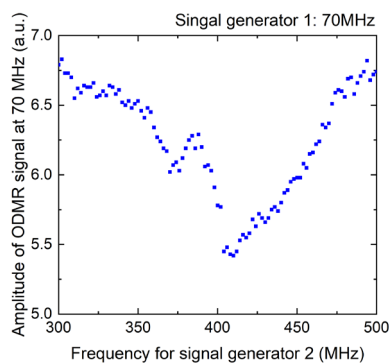


図6 SiC中の V_{Si} の基底状態のODMRシグナル強度と直ぐなるジェネレーターの周波数の関係。無磁場、室温の場合。シグナルジェネレーターは70MHz一定値。

が見て取れる。この400MHzは励起状態でODMRを示す値であり、励起状態の電子スピンの情報が基底状態で読み取れることを表す。これは以下の描像によって説明できる。ジェネレーター1(70MHz)でスピン偏極した電子は、励起光によりスピン状態を保持して励起状態に遷移する。ジェネレーター2の値が励起状態でODMRを示す400MHz以外ではジェネレーター2の値には影響されず基底状態に戻るため発光強度は変化せず通常のODMRシグナルが観測される。一方で、ジェネレーター2が400MHzとなったところでは、励起状態でも共鳴が発生するため、基底状態で偏極した電子の一部が逆に偏極し直す、即ち、スピン偏極率が低下することになる。その結果、基底状態のODMRシグナル強度が低下する。本研究で開発したSRODMRと通常の方法の励起状態のODMRを比較したものを図7に示す。SRODMR及び通常のODMRでは400MHzに最低値及び最大値が観測できるが(温度計測ができればいいことを意味する)、シグナル強度はSRODMRの方が一桁以上大きいことが見て取れる。このことは、SRODMRは従来法に比べ高感度な計測が可能となることを意味する。図8にSRODMRで決定した励起状態の共鳴周波数と温度の関係を示す。図にはAnisimovらの報告値[7]も合わせて示したが、SRODMRと報告値は一つの直線関係にあり、良い一致を示している。更に、SRODMRでは高感度化が図られたため、従来は観測できなかった120°Cまでの測定にも成功した。

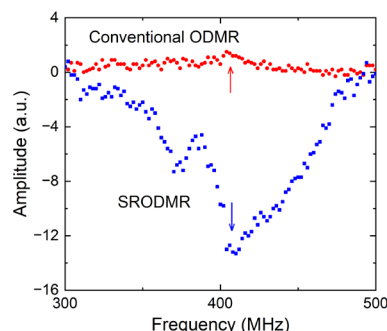


図7 同時共鳴ODMR(SRODMR)シグナルと通常のODMRシグナルの比較

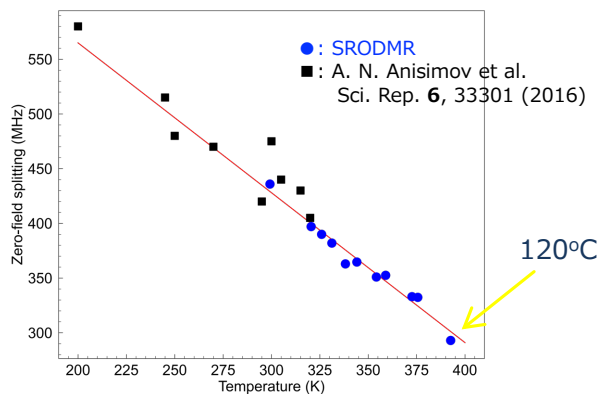


図8 励起状態のODMR周波数と温度の関係。青丸印はSRODMRでの計測結果。黒四角印は報告値[7]

【参考文献】

- [1] G. Waldherr, T. Ohshima *et al.*, Nature **506** (2014) 204.
- [2] H. Kraus, T. Ohshima, *et al.*, Nano Lett. **17** (2017) 2865.

- [3] Y. Yamazaki, *et al.*, Mater. Sci. Forum **1004** (2020) 343.
- [4] T. M. Hoang, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118** (2020) 044001.
- [5] Y. Chiba, *et al.*, Mater. Sci. Forum 1004 (2020) 337.
- [6] Y. Yamazaki, *et al.*, Submitted to Phys. Rev. Applied.
- [7] A. N. Anisimov, *et al.*, Sci. Report 6 (2016) 33301.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件/うち国際共著 11件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Anderson Christopher P., Glen Elena O., Zeledon Cyrus, Bourassa Alexandre, Jin Yu, Zhu Yizhi, Vorwerk Christian, Crook Alexander L., Abe Hiroshi, Ul-Hassan Jawad, Ohshima Takeshi, Son Nguyen T., Galli Giulia, Awschalom David D.	4. 巻 8
2. 論文標題 Five-second coherence of a single spin with single-shot readout in silicon carbide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabm5912-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abm5912	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Zwier Olger V., Bosma Tom, Gilardoni Carmem M., Yang Xu, Onur Alexander R., Ohshima Takeshi, Son Nguyen T., van der Wal Caspar H.	4. 巻 131
2. 論文標題 Electromagnetically induced transparency in inhomogeneously broadened divacancy defect ensembles in SiC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 094401~094401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0077112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Parker R. A., Dontschuk N., Sato S.-I., Lew C. T.-K., Reineck P., Nadarajah A., Ohshima T., Gibson B. C., Castelletto S., McCallum J. C., Johnson B. C.	4. 巻 130
2. 論文標題 Infrared erbium photoluminescence enhancement in silicon carbide nano-pillars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 145101~145101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0055100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 de Vries Mitchell O., Sato Shin ichiro, Ohshima Takeshi, Gibson Brant C., Bluet Jean Marie, Castelletto Stefania, Johnson Brett C., Reineck Philipp	4. 巻 9
2. 論文標題 Fluorescent Silicon Carbide Nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2100311~2100311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202100311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hijikata Yasuto, Komori Shota, Otojima Shunsuke, Matsushita Yu-Ichiro, Ohshima Takeshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Impact of formation process on the radiation properties of single-photon sources generated on SiC crystal surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 204005 ~ 204005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0048772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagy Roland, Dasari Durga Bhaktavatsala Rao, Babin Charles, Liu Di, Vorobyov Vadim, Niethammer Matthias, Widmann Matthias, Linkewitz Tobias, Gediz Izel, Stohr Rainer, Weber Heiko B., Ohshima Takeshi, Ghezellou Misagh, Son Nguyen Tien, Ul-Hassan Jawad, Kaiser Florian, Wrachtrup Jorg	4. 巻 118
2. 論文標題 Narrow inhomogeneous distribution of spin-active emitters in silicon carbide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 144003 ~ 144003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0046563	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shang Z., Berencen Y., Hollenbach M., Zhou S., Kraus H., Ohshima T., Astakhov G.V.	4. 巻 15
2. 論文標題 Microwave-Assisted Spectroscopy of Vacancy-Related Spin Centers in Hexagonal SiC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 034059-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.15.034059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Narahara Takuma, Sato Shin-ichiro, Kojima Kazutoshi, Hijikata Yasuto, Ohshima Takeshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Influences of hydrogen ion irradiation on NcVsi formation in 4H-silicon carbide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 021004 ~ 021004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abdc9e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hoang Tuan Minh, Ishiwata Hitoshi, Masuyama Yuta, Yamazaki Yuichi, Kojima Kazutoshi, Lee Sang-Yun, Ohshima Takeshi, Iwasaki Takayuki, Hisamoto Digh, Hatano Mutsuko	4. 巻 118
2. 論文標題 Thermometric quantum sensor using excited state of silicon vacancy centers in 4H-SiC devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 044001 ~ 044001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0027603	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamazaki Yuichi, Chiba Yoji, Sato Shin-ichiro, Makino Takahiro, Yamada Naoto, Satoh Takahiro, Kojima Kazutoshi, Hijikata Yasuto, Tsuchida Hidekazu, Hoshino Norihiro, Lee Sang-Yun, Ohshima Takeshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Carrier dynamics of silicon vacancies of SiC under simultaneous optically and electrically excitations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 021106 ~ 021106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028318	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Castelletto Stefania, Maksimovic Jovan, Katkus Tomas, Ohshima Takeshi, Johnson Brett C., Juodkazis Saulius	4. 巻 11
2. 論文標題 Color Centers Enabled by Direct Femto-Second Laser Writing in Wide Bandgap Semiconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 72 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano11010072	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Bourassa Alexandre, Anderson Christopher P., Miao Kevin C., Onizhuk Mykyta, Ma He, Crook Alexander L., Abe Hiroshi, Ul-Hassan Jawad, Ohshima Takeshi, Son Nguyen T., Galli Giulia, Awschalom David D.	4. 巻 19
2. 論文標題 Entanglement and control of single nuclear spins in isotopically engineered silicon carbide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 1319 ~ 1325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-020-00802-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miao Kevin C., Blanton Joseph P., Anderson Christopher P., Bourassa Alexandre, Crook Alexander L., Wolfowicz Gary, Abe Hiroshi, Ohshima Takeshi, Awschalom David D.	4. 巻 369
2. 論文標題 Universal coherence protection in a solid-state spin qubit	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1493 ~ 1497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abc5186	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 元木秀, 佐藤真一郎, 佐伯誠一, 増山雄太, 山崎雄一, 土方泰斗, 大島武
2. 発表標題 電子線照射によって形成した4H-SiC中シリコン空孔の濃度定量
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎雄一, 増山雄太, 児島一聡, 土田秀一, 星乃紀博, 大島武
2. 発表標題 基底・励起準位同時共鳴を用いたシリコン空孔量子センサ温度計測高感度化
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島武
2. 発表標題 ワイドバンドギャップ半導体中の発光・スピン欠陥による量子センシング
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会第18回研究集会「結晶成長技術とデバイスの新展開」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島武
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2021年日本表面真空学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎雄一, 千葉陽史, 佐藤真一郎, 牧野高紘, 山田尚人, 佐藤隆博, 土方泰斗, 児島一聡, 土田秀一, 星乃紀博, 大島武
2. 発表標題 炭化ケイ素中のシリコン空孔を用いた量子センシング
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第7回講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島武
2. 発表標題 ワイドバンドギャップ半導体の量子科学技術への展開
3. 学会等名 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第7回講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター 量子センシングプロジェクト https://www.qst.go.jp/site/semiconductor/ 量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所 プロジェクト「半導体照射効果研究」 https://www.qst.go.jp/site/semiconductor/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	黒木 伸一郎 (Kuroki Shin-ichiro) (70400281)	広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授 (15401)	
研究 分 担 者	波多野 睦子 (Hatano Mutsuko) (00417007)	東京工業大学・工学院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関