

令和元年6月21日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05762

研究課題名(和文) Si-Ge系スーパーアトム構造のセルフアライン集積による光・電子物性制御

研究課題名(英文) Formation of Self-Aligned Super-Atom-like Si-Ge based Quantum Dots and Characterization of Their Optical and Electrical Properties

研究代表者

宮崎 誠一 (Seiichi, Miyazaki)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70190759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 154,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Si極薄熱酸化膜上にGeコアSi量子ドットを高密度・一括形成し、PL発光において、Geコアの量子準位間での電子・正孔再結合が支配的であることを明らかにした。また、PをGeコアに添加することで、真性GeコアSi量子ドットに比べ正帯電を低電圧化できることが分かった。発光デバイスを作製し、室温発光特性を評価した結果、GeコアSi量子ドット内に電子・正孔を交互あるいは同時注入することで、量子準位間での電子・正孔再結合に起因する発光が起こることを明らかにした。さらには、Si細線上にGeコアSi量子ドットを高密度形成した場合、細線構造に起因した発光波長の狭帯化が生じることも実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、シリコンULSIプロセスとの整合性が高く、シリコン・フォトンクスにおいて実現が極めて困難であると考えられていた電流注入型シリコン系レーザの開発に繋がると期待できる。さらには、飛躍的な進歩を遂げているシリコンULSI技術をベースにSi系量子ドットトランジスタやフローティングメモリデバイスを組み合わせ、将来の少数電子・少数光子を使った大規模な高度情報処理へと発展する可能性が高い。

研究成果の概要(英文)：In this research, we fabricated Si-QDs with Ge core (pseudo-super atom structure) with an areal density as high as $\sim 10^{11}$ cm⁻², and studied the carrier recombination dynamics in the Si-Ge pseudo-super atom structures. Based on the obtained results, we designed and fabricated a light emitting device containing Si-QDs with Ge core embedded in a SiO₂ layer, and their luminescence characteristics were evaluated at room temperature. As a result, we found that the hole confinement in the Ge core plays an important role on radiative recombination in the Si-QDs with Ge core. In addition, we also found that the delta-doping of P or B atoms into Si-shell or Ge-core has potential to increase carrier injection efficiency. The results obtained in this research will lead to the development of current-injection type Si-based laser very compatible with Si-ULSI process that have been thought to have extreme difficulty in realizing silicon photonics.

研究分野：半導体工学

キーワード：Si系量子ドット スーパーアトム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Ge-Si系スーパーアトムを活性層に用いて、室温・低電圧(1V程度)で駆動できる極薄の高効率・高速エレクトロルミネッセンス(EL)デバイスが実現できれば、飛躍的な進歩を遂げているシリコンULSI技術をベースにSi系量子ドットトランジスタやフローティングメモリデバイスを組み合わせて、将来の少数電子・少数光子を使った大規模な高度情報処理へと発展する可能性が高い。Si-Ge系量子ドットからの発光においては、電子-正孔対の発光再結合レートが低いこと、ドットのサイズばらつきを反映して発光スペクトルがブロードであること、電流注入によるキャリア反転分布の実現が困難であることが、Si-Ge系量子ドットをレーザに応用するうえで課題となっている。本研究は、価電子制御によりキャリア発光再結合効率を向上させたコア/シェル量子ドットを三次元規則配列することにより、均一サイズのドットを高密度形成するとともに、電流注入方向に自己整合的に積層したドットへ δ ドーピングすることで電流注入の高効率化とキャリア濃度の増大を達成することにより、高効率・高輝度で発光するシリコン系EL材料を新たに創出することを意図した、これまでに実施・報告例のない研究である。

2. 研究の目的

Si-Ge系スーパーアトム(コア/シェル量子ドット)において発光強度を飛躍的に高めるための価電子制御手法を確立し、これを高密度・規則配列した三次元自己整合集積構造を形成し、電流注入型レーザへ応用可能な高濃度キャリア注入と高効率キャリア再結合を実現できるSi系エレクトロルミネッセンス材料を創成することを目的とした。具体的には、歪、不純物元素を導入したコア/シェル量子ドットにおいて、電子状態、キャリア再結合ダイナミクスを精査し、直接遷移型への価電子状態変調による高輝度発光への指針を得る。さらに、極薄シリコン酸化膜上に二次元規則配列したドット上に自己整合的にドットを積層(縦積み)させて三次元自己集積構造を形成することで、ドットサイズの均一化とドット間トンネル結合の強化を行い、キャリア注入効率の増加と発光波長の狭帯化を実現し、高効率発光素子の開発を目指す。

3. 研究の方法

コア/シェル量子ドットにおいて、ドットサイズ、形成条件を系統的に変化させた試料の構造、電子状態を評価して価電子制御技術の確立に注力するとともに、フォトルミネッセンス(PL)および電子・正孔の交互/同時注入によるEL特性を評価することで、発光特性の制御指針を明らかにした。28年度以降は、Si系量子ドット三次元自己整合集積構造において、キャリア輸送特性およびEL特性を評価し、キャリアの注入効率および濃度を向上させることによりEL発光の高輝度化に取り組んだ。さらに、三次元自己整合集積構造をシリコンラインパターンに結合させ、高濃度キャリア注入を行い、EL強度の増幅および発光スペクトルの狭帯化に取り組んだ。具体的には、Si(100)基板上に1000°Cで極薄SiO₂膜を形成した後、希釈HF処理を施し、pure SiH₄ガスおよび5%He希釈GeH₄ガスを用いた減圧化学気相堆積法(Low Pressure Chemical Vapor Deposition; LPCVD)により、GeコアSi量子ドットを自己組織化形成した。

4. 研究成果

(1) GeコアSi量子ドットの発光特性

GeH₄-LPCVDの精密制御によりGeコアサイズの異なるコア/シェルドットを形成し、コアサイズが発光特性に及ぼす影響を評価した結果、コアサイズ~7nmのコア/シェルドットのPLスペクトルには、0.64~0.72eVにブロードなスペクトルが観測され、コアサイズの縮小により高エネルギー側にシフトしたPLスペクトルが観測された(Fig. 1)。これらの結果は、GeコアSi量子ドットからのPLは、Geコアの量子準位間の発光再結合であることを示し、Geコアサイズの縮小による発光エネルギーのシフトは、量子化エネルギーが増加した結果として解釈できる。

Si熱酸化膜上に形成したGeコアSi量子ドット(面密度:~10¹¹cm⁻², 平均ドット高さ:~8.0nm)の室温PLスペクトルを測定した結果、0.6~0.8eVのブロードなスペクトルが得られ、真性ドットからのPLスペクトルは、4成分(Comp. 1:~0.695eV, Comp. 2:~0.726eV, Comp. 3:~0.751eV, Comp. 4:~0.656eV)で分離することができる。一方、Geコア形成時にPH₃をパルス導入して形成したP添加GeコアSi量子ドットでは、真性ドットの4成分に加え、新たな成分(Comp. 5:~0.684eV)が認められる。これらの成分は、72~300KのPLスペクトルにおいても同様に認められるものの、いずれの成分もエネルギー位置の温度依存性は殆ど認められなかった。これは、形成したGeコアSi量子ドットがSiおよびGeに比べ熱膨張率が小さいSiO₂に内包されている結果として解釈できる。各成分の積分強度の温度依存性をまとめた結果、Comp. 5は温度依存性が極めて弱く、熱的消光過程における活性化エネルギーを算出した結果、Comp. 5の活性化エネルギーは~11meVであり、Comp. 1-4に

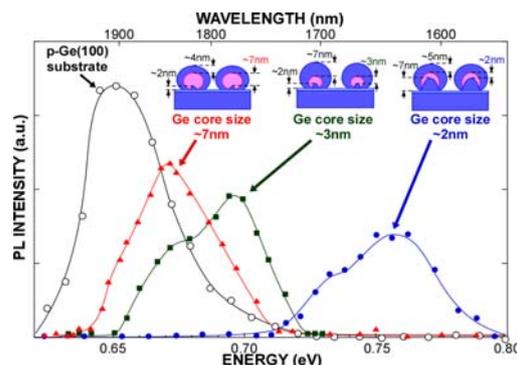


Fig. 1 PL spectra for Si-QDs with different sized Ge core. Schematic illustrations of this system are shown in the inset.

比べて低いことが分かった。また、Comp. 1 と Comp. 5 のエネルギー差がバルク Ge における P ドナーのイオン化エネルギー(~12meV)と同程度であることから、Comp. 1-3 は、Ge コアの量子準位間の発光再結合であり、Comp. 5 は Ge コアの価電子帯の第一量子準位と P ドナー準位間の発光再結合であると解釈できる。Comp. 4 は、エネルギー位置が Comp. 5 より僅かに低エネルギーであることから、Si クラッドの伝導帯の量子準位を占有している電子がその波動関数の Ge コアへの浸み出しにより Ge コアの価電子帯の量子準位へ遷移することに伴った発光であると考えられる。

(2)不純物添加が Ge コア Si 量子ドットの局所電気特性に及ぼす影響

p-Si(100)基板上に 1000°C で膜厚~2.9nm の SiO₂ 膜を形成し、Ge コア Si 量子ドット(面密度: ~2×10¹¹cm⁻², Ge コア高さ: ~5.0nm)を自己組織化形成した。尚、GeH₄-LPCVD 時に He 希釈 1%PH₃ ガスを導入することで P 添加を行った。その後、80°C の H₂O, H₂O₂ 混合溶液にて、~1.1nm のケミカル酸化膜をドット表面に形成した。ケルビンフォース顕微鏡で Rh コート Si 探針を用いて、表面形状像および表面電位像を同時測定した結果、表面走査前の表面電位は一樣であることが確認できた。しかしながら、接地電位の探針で表面走査した後では、真性 Ge コア Si 量子ドットの表面電位には明瞭な変化は認められないものの、P 添加 Ge コア Si 量子ドットの場合、表面走査した領域の表面電位が走査していない領域に比べ約 30mV 増加した。真性ドットの場合、同様の表面電位変化が探針バイアス+1V で生じることから、この電位変化は添加した P がドット中でドナーとして働いており、探針がドット表面に接触したときに伝導帯から電子が探針に引き抜かれたためにイオン化 P ドナーが顕在化した結果として説明できる。探針に負バイアスを印加して二次元電流像を測定した結果、真性ドットでは、負バイアス 0.85V 以上において明瞭なコントラストが認められ、ドットを介した電流が検出できていることが分かった。一方、P 添加ドットでは、同様の電流像が-0.83V においても認められ、電流レベルが負バイアスの増加に伴い増大することが分かった。この結果は、P 添加ドットでは、探針負バイアス印加により伝導電子が基板へ放出され、ドットが正帯電することによって、探針からの電子トンネルレートが増大したためと解釈できる。

(3)電子・正孔交互注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造の発光特性

p-Si(100)基板上に 850°C で膜厚~2nm の SiO₂ 膜を形成し、希釈 HF 処理後、Ge コア Si 量子ドットを自己組織化形成した後、リモート O₂ プラズマにより厚さ~2nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。尚、各工程における原子間力顕微鏡(AFM)表面形状像測定から、Ge コア Si 量子ドットが面密度~10¹¹cm⁻²(平均コアサイズ:~6.0nm)で形成されていることを確認している。ドット表面酸化後、SiH₄ および GeH₄-LPCVD と酸化を繰り返すことにより、Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造を形成した。その後、SiH₄ と Ar 希釈 O₂ (Ar:O₂=30:20)を用いたリモートプラズマ支援 CVD により約~10nm の SiO₂ 薄膜を堆積した後、上部および下部 Au/Al 電極を形成した。PL 測定は、励起光源に半導体レーザー(波長:976nm、出力: ~0.33W/cm²)を用いて室温で行った。EL 測定は、p-Si 基板の上部電極周辺部に電子供給源を形成するため試料表面に 100W ハロゲンランプから赤外線フィルタを通して 100-800nm の光を照射し、矩形波電圧(500kHz, duty ratio:50%)を印加して基板裏面から行った。

形成した Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造からは、0.65~0.87eV にブロードな PL スペクトルが認められ、単層ドットと同様に 4 成分(Comp.1:~0.71, Comp.2: ~0.75eV, Comp.3:~0.79eV, Comp.4:~0.83eV)でピーク分離できる。EL スペクトルでは、電圧振幅±1.0V で 0.75eV 近傍に発光ピークが認められ、電圧振幅の増大に伴い EL 強度は増大し、このとき高エネルギー側の増大がより顕著であった。また、得られた EL スペクトルは PL と同様に 4 成分でピーク分離でき、印加電圧の増加による各成分のピークエネルギー位置の変化は認められなかった。高周波容量-電圧測定(1MHz)を可視光照射下において行った場合、反転容量が蓄積容量まで増加することから、光照射により上部電極周辺で光生成された電子が電極下の反転層に供給され、電極周辺部がキャリアの供給源となることが確認できる。従って、これらの結果は、パルスバイアス印加により基板からドットへ交互に注入された電子-正孔の量子準位間での発光再結合で説明できる。各 EL 成分の積分強度を印加電圧に対してまとめた結果、Comp.1 は±3V 以上において飽和傾向を示すものの、Comp.2-4 は印加電圧に対して指数関数的に増大することが分かった。尚、Comp.4 は±3V 以下では認められない。これらの結果から、Comp.2 は Ge コアにおける第一量子準位、Comp.3-4 は Ge コアにおける高次の量子準位を介した再結合発光であり、Comp.1 は Si クラッドから Ge コアへの電子波動関数の浸み出しにより生じる Si クラッドの伝導帯の量子準位と Ge コアの価電子帯の量子準位を介した電子-正孔再結合に起因した発光であると考えられる。

矩形波電圧印加において、低レベルを電子注入が起こる負バイアス値(V_N)-4V で一定として高レベルである正バイアス値(V_P)依存性を調べた結果(Fig. 2)、V_P=0V において、単一成分(Comp.1)の EL 信号が認められ、V_Pの増大に伴い EL 強度は高エネルギー側でより顕著に増大した。また、EL スペクトルを同様にピーク分離し各成分の積分強度を V_Pに対してまとめた結果、0~2V および 3V 以上では、各成分の積分強度は指数関数的に増加するものの、2~3V 近傍において一旦飽和する傾向が認められた。V_P=0V では、V_N=-4V 印加による電子注入・保持に起因してドットが負帯電する結果、0V 印加時にも正孔注入が起こり、Si クラッドの伝導帯の

量子準位と Ge コアの価電子帯の量子準位を介した電子-正孔再結合に起因した発光が生じたと解釈できる。 $0 < V_p < 2V$ では、 $V_N = -4V$ 印加により電子注入・保持したドットに V_p を印加した際に注入される正孔と電子の再結合が支配的であると考えられる。一方、 $V_p > 3V$ では、正バイアスの増加により保持電子の放出に続いて正孔の注入・保持が起こり、 $V_N = -4V$ 印加時の電子注入による発光が増強すると考えられる。これらの結果は、 V_N が一定の場合、 $0 < V_p < 2V$ では正孔注入律速のため、 V_p 印加時において主に発光し、 $V_p > 3V$ では、電子注入律速となるため、 V_N 印加での発光が支配的となったとして解釈できる。

(4) 電子・正孔同時注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造の発光特性

p-Si(100)基板上に $850^\circ C$ で膜厚 $\sim 2nm$ の SiO_2 膜を形成し、Ge コア Si 量子ドットを自己組織化形成した後、リモート O_2 プラズマにより $\sim 2nm$ のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。尚、各工程における AFM 表面形状像測定から、Ge コア Si 量子ドットが面密度 $\sim 10^{11} cm^{-2}$ (平均コアサイズ: $\sim 6.0nm$) で形成されていることを確認している。その後、再び SiH_4 および GeH_4 -LPCVD と酸化を行うことで、Ge コア Si 量子ドット 2 層積層構造を形成した。形成した Ge コア Si 量子ドット 2 層積層構造からは、 $0.6\sim 0.8eV$ のブロードな PL スペクトルが観測され、単層ドットの場合と同様に 4 成分 ($\sim 0.68, 0.71, 0.74, 0.78eV$) でピーク分離できることが分かった。また、発光サイト(ドット層数)の倍増により PL 積分強度が ~ 2 倍に増加した。Ge コア Si 量子ドット 2 層積層構造において、順方向パルス電圧 (1kHz, duty ratio: 50%) を印加して室温 EL を測定した結果、印加電圧 3V において、 $\sim 0.85eV$ 近傍に明瞭な発光ピークが認められ、印加電圧の増大に伴い EL 強度が増大することが分かった。尚、印加電圧の増加による発光エネルギー位置の変化は認められなかった。これらの結果は、順方向バイアス印加により Al 上部電極からドットへの電子注入と p-Si(100)基板から Ge コアへの正孔注入が同時に起こることにより、Ge コアの量子準位間で電子-正孔対が発光再結合したとして説明できる。また、EL スペクトルは PL に比べて高エネルギー側にシフトし狭帯化していることが分かる。これは、上部 Al 電極からドットに注入された電子が高次の量子準位を介して正孔と再結合した結果として解釈できる。

(5) Si 細線構造への高密度 Si 量子ドット形成と発光特性

p-Si(100)基板に電子線リソグラフィおよびドライエッチングを用いて高さ 300nm、幅 400nm のライン&スペース構造を形成し、RCA 洗浄後、 $1000^\circ C$ 、 $2\%O_2$ 中で膜厚 3.5nm の酸化膜を形成した。その後、希釈 HF 処理を施した後、Ge コア Si 量子ドットを自己組織化形成した後、リモート O_2 プラズマにより $\sim 2nm$ のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。この一連のプロセスを 3 回繰り返して、Ge コア Si 量子ドット/ SiO_2 多重集積構造を形成した。その後、上部および下部電極として Al 電極を真空蒸着した。

基板温度 $560^\circ C$ 、 SiH_4 ガス圧力 0.5Torr で LPCVD を行った結果、ライン幅 400nm (スペース幅 400~1000nm) の Si 細線上面、側面および底面(スペース)において Si 量子ドットの形成が認められ、ドット面密度 ($\sim 2 \times 10^{11} cm^{-2}$) およびサイズに顕著な差は認められなかった。この結果から、幅 $\sim 400nm$ の溝内部においても Si 初期核発生・成長が均一に進行し、立体構造上に均一サイズの Si 量子ドットが高密度・一括形成できることが分かる。この結果を基に、Si 細線構造上に Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造 (Ge コアサイズ: $\sim 6nm$) を形成し、Al 電極を形成した LED 構造において、順方向パルス電圧 (1kHz, duty ratio: 50%) を印加し、Si 細線構造の劈開面から室温 EL を測定した結果、4V 以上の順方向パルス電圧印加で $0.75eV$ 近傍に室温 EL が認められた。また、印加電圧の増大に伴い、EL 強度は増加するものの、発光のエネルギー位置に変化は認められなかった。これらの結果は、順方向バイアス 4V 以上印加することで、Al 上部電極からドットへの電子注入と p-Si(100)基板から Ge コアへの正孔注入が同時に起こることにより、Ge コアの量子準位間で電子-正孔対が発光再結合し、発光再結合により生じた光が Si 細線構造内を伝搬した結果として説明できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① K. Makihara, M. Ikeda, N. Fujimura, K. Yamada, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electroluminescence of superatom-like Ge-core/Si-shell quantum dots by alternate field-effect-induced carrier injection, Applied Physics Express, Vol. 11, p. 011305 (4pages), 2018, 査読有
<https://doi.org/10.7567/APEX.11.011305>

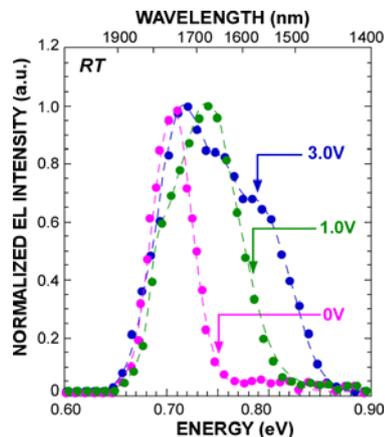


Fig. 2 Normalized EL spectra measured at different V_p in square wave bias, where V_N was kept constant at $-4.0V$.

- ② Ryo Nagai, Kentaro Yamada, Shuntaro Fujimori, Mitsuhisa Ikeda, Katsunori Makihara, Akio Ohta, and Seiichi Miyazaki, Characterization of electron charging and transport properties of Si-QDs with phosphorus doped Ge core, *Semiconductor Science and Technology*, Vol. 33, p. 124021(4 pages), 2018, 査読有
<https://orcid.org/0000-0002-0357-1859>
- ③ S. Miyazaki, K. Yamada, K. Makihara, and M. Ikeda, Processing and Characterization of High Density Si/Ge Quantum Dots for Electroluminescent Devices, *ECS Transactions*, Vol. 80, pp. 167-172, 2017, 査読有
<http://ecst.ecsdl.org/content/80/4/167.full.pdf>
- ④ S. Miyazaki, K. Makihara, A. Ohta, and M. Ikeda, Processing and Characterization of Si/Ge Quantum Dots, *Technical Digest of Int. Electron Devices Meeting 2016*, pp. 826-830, 2016, 査読有
 DOI:10.1109/IEDM.2016.7838532
- ⑤ K. Yamada, K. Kondo, K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, and S. Miyazaki, Effect of Ge Core Size on Photoluminescence from Si Quantum Dots with Ge Core, *ECS Transactions*, Vol. 75, pp. 695-700, 2016, 査読有
<http://ecst.ecsdl.org/content/75/8/695.full.pdf>
- ⑥ T. Yamada, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyazaki, Study on electroluminescence from multiply-stacking valency controlled Si quantum dots, *Thin Solid Films*, Vol. 602, pp. 48-51, 2016, 査読有
<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.10.007>
- ⑦ K. Kondo, K. Makihara, M. Ikeda, and S. Miyazaki, Photoluminescence study of high density Si quantum dots with Ge core, *Journal of Applied Physics*, Vol. 119, p. 033103 (5 pages), 2016, 査読有
<https://doi.org/10.1063/1.4940348>

他、6 篇

〔学会発表〕（計 81 件）

- ① [招待講演] 宮崎誠一、Si-Ge 系コア・シェル量子構造の高密度集積と光・電子物性制御、第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-C304-3、早稲田大学 西早稲田キャンパス、2018 年 3 月 17 日-20 日
- ② [Invited] S. Miyazaki, K. Yamada, Y. Nakashima, K. Makihara, A. Ohta, and M. Ikeda, Fabrication of Multiple Stack Si/Ge Quantum Dots for Light/Electron Emission Devices, *The 1st International Semiconductor Conference for Global Challenges*, Nanjing, China, July 2017.
- ③ [Invited] S. Miyazaki, K. Yamada, M. Ikeda, and K. Makihara, Study of Light Emission from Si Quantum Dots with Ge Core, *Frontiers in Materials Processing Applications, Research and Technology*, Bordeaux, France, July 2017.
- ④ [Invited] S. Miyazaki, Challenges in Si-Based Nanotechnology: Fabrication and Characterization of Multistack Si/Ge Quantum Dots for Novel Functional Devices, *The International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2017*, Makassar, Indonesia, Sept. 2017.
- ⑤ [Plenary] S. Miyazaki, High Density Formation of and Light Emission from Silicon Quantum Dots with Ge Core, *11th Workshop on Si-based Optoelectronic Materials and Devices*, Nanjing, China, June 16-19, 2016, Plenary 1.
- ⑥ [Invited] S. Miyazaki, K. Makihara, A. Ohta, and M. Ikeda, Processing and Characterization of Si/Ge Quantum Dots, *International Electron Devices Meeting 2016 (IEDM)*, 826-830, 2016.
- ⑦ [Invited] S. Miyazaki, D. Takeuchi, M. Ikeda, and K. Makihara, Formation and Characterization of Si Quantum Dots with Ge Core for Functional Devices, *2016 International Conference on Solid State Devices and Materials*, Tsukuba, Sep. 27-29, 2016, D-5-01.
- ⑧ [Invited] S. Miyazaki, Characterization of light emission from Si quantum dots with Ge core, *International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials 2016*, Granz, Austria, May 29-June 3, 2016, H2-2.
- ⑨ [Invited] S. Miyazaki, Study on Light Emission from Si Quantum Dots with Ge Core, *The 9th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures*, Montreal, May 18-22, 2015, S2.3-1.

他、国際会議招待講演 5 件、国内学会招待講演 5 件、国際会議発表 29 件、国内学会発表 33 件

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/miyazakilab/>

学生の受賞

- ① 中島裕太、第 5 回応用物理学会東海支部 学術講演発表奨励賞、硬 X 線光電子分光法による Si 量子ドット多重集積構造のオペランド分析、2018 年 1 月 6 日
- ② 山田健太郎、第 17 回日本表面学会中部支部学術講演会 講演奨励賞、高密度 Ge コア Si 量子ドットの室温 EL 特性評価、2017 年 12 月 16 日

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：牧原 克典

ローマ字氏名：(MAKIHARA, Katsunori)

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号（8 桁）：90553561

研究分担者氏名：大田 晃生

ローマ字氏名：(OHTA, Akio)

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：大学院工学研究科

職名：助教

研究者番号（8 桁）：10553620

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：池田 弥央

ローマ字氏名：(IKEDA, Mitsuhsa)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。