## Reduced-Pressure CVD により形成した Ge コア Si 量子ドットの構造評価と 室温発光特性評価

Structural and Light-emission Properties of Si Quantum Dots with Ge Core

名大院工<sup>1</sup>, IHP - Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik<sup>2</sup>, <sup>3</sup>Technische Universität Berlin <sup>°</sup>牧原 克典<sup>1,2</sup>, Yuji Yamamoto<sup>2</sup>, Markus Andreas Schubert<sup>2</sup>, 田岡 紀之<sup>1</sup>, Bernd Tillack<sup>2,3</sup>, 宮﨑誠一<sup>1</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, IHP - Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik<sup>2</sup>, <sup>3</sup>Technische Universität Berlin <sup>°</sup>Katsunori Makihara<sup>1</sup>, Yuji Yamamoto<sup>2</sup>, Markus Andreas Schubert<sup>2</sup>, Noriyuki Taoka<sup>1</sup>, Bernd Tillack<sup>2</sup>, and Seiichi Miyazaki<sup>1</sup>

E-mail: makihara@nuee.nagoya-u.ac.jp

**序**>LPCVD において、SiH<sub>4</sub>および GeH<sub>4</sub>の反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化 膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成でき[1]、このコア/シェル構造のフォトルミネ ッセンス (PL) は、Ge コアからの発光が支配的であることを明らかにした[2]。本研究では、高 H<sub>2</sub>希釈 SiH<sub>4</sub>および GeH<sub>4</sub>を用いた Reduced-pressure CVD により 200mm-Si ウェハ上に高密度・一括形成した Ge コア Si 量子ドットの構造および室温 PL 特性を評価するとともに、EL 特性も評価した。

**実験**>p-Si (100) 基板上に 650°C ウェット酸化により膜厚~7nm の SiO<sub>2</sub> 膜を形成した後、高真空熱処理 により SiO<sub>2</sub> 膜の薄膜化(~3nm)を行った。その後、高 H<sub>2</sub> 希釈 SiH<sub>4</sub> ガスを用いた Reduced-pressure CVD により Si 量子ドットを自己組織化形成した後、H<sub>2</sub> 希釈 GeH<sub>4</sub>および SiH<sub>4</sub> ガスを用いて、Si 量子ドット 上への Ge および Si の選択成長を行った。その後、EB 蒸着による非結晶 Si (a-Si) 膜を~200nm 堆積 し、P 原子注入後に 300°C 熱処理を行った後、Al リングパターン電極を形成した。PL 測定の励起光源 には半導体レーザー(波長:976nm、出力:~0.33W/cm<sup>2</sup>)を用い、EL 測定は、矩形波電圧(duty ratio:50%)を 印加して基板表面から行った。

結果および考察>各 CVD 工程後の AFM 表面形状像測定において、ドット面密度(~10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>)に顕著 な変化は認められず、サイズ分布から算出した平均高さが随時増大していることを確認している。断 面 TEM-EDX マッピングでは、GeH4-CVD 後では予め形成した Si 量子ドット上に均一に Ge が堆積し ており、その後の 650°C 熱処理においては顕著な変化は認められないものの、SiH4-CVD 後では明瞭な コア/シェル構造が認められる(Fig. 1)。尚、Ge コア高さは AFM 像から得られた平均ドット高さの差 (~1.6nm)と矛盾しない。形成した LED からは、EL スペクトルでは電圧振幅-1.0V で 0.65~0.85eV にブ ロードな EL スペクトルが認められ、電圧の増大に伴い EL 強度は増大し、高エネルギ側の増大がより

顕著であった(Fig. 2)。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。これらの結果は、順方向バイアス印加 により、a-Si 層から電子注入と p-Si 基板か ら正孔注入が進行し、電子-正孔の量子準 位間での発光再結合が生じたと説明でき、 印加電圧の増加に伴って Ge コアにおける 高次の量子準位を介した再結合発光が支配 的になると考えられる。

結論>Ge コア Si 量子ドットにおいて、p-Si(100)基板から正孔を a-Si 層から電子を同時注入すると、Ge コア内の量子準位間での電子-正孔再結合に起因する EL 発光が顕在化することが分かった。

文献>[1] Y. Darma et al., Nanotech. 14, 413 (2003). [2] K. Kondo et al., J. Appl. Phys. 119, 033103 (5pages) (2016).

**謝辞>**本研究の一部は、 科研費基盤研究(A)およ び国際共同研究加速基金 (A)の支援を受けて行わ れた。



Fig. 1 Cross-sectional EDX mapping images of a) after Ge deposition on the pre-grown Si-QDs, b) after annealed at 650°C, and c) Si-cap formation at 650°C.



Fig. 2 Room temperature EL spectra taken at different applied biases from LED having Si–QDs with Ge–core and their deconvoluted spectra evaluated from the spectral analysis using a Gaussian curve fitting method. A schematic illustration of the LED is also shown in the inset.