

P 添加 Si 量子ドット多重集積構造の電界電子放出特性評価

Characterization of Electron Field Emission from Multiply-Stacking Phosphorus Doped Si Quantum Dots

¹名大院工, ²学振特別研究員

^{○1,2} 竹内 大智, ¹ 牧原 克典, ¹ 大田 晃生, ¹ 宮崎 誠一

¹Nagoya Univ., ²JSPS Research Fellow

^{○1,2} Daichi Takeuchi, ¹ Katsunori Makihara, ¹ Akio Ohta and ¹ Seiichi Miyazaki

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

序＞これまでに、n-Si(100)基板上に高密度形成した Si 量子ドット多重集積構造において、極薄 Au 電極形成後、導電性 AFM 探針を用いて表面形状像と二次元電流像を大気中で非接触測定することで、電子放出に起因した高伝導領域が検出できることを報告した[1]。さらには、電子放出エネルギー分布測定の結果、2eV 付近にピークを有し高エネルギー側に裾を引いたスペクトルが得られ、上層 2 層目の放出が支配的であることが分かった。本研究では P 添加 Si 量子ドット多重集積構造からの電界電子放出のエネルギー分布を測定し、P 添加が電子放出に及ぼす影響を調べた。

実験＞n-Si(100)基板を RCA 洗浄後、1000°C、2%O₂ 中で膜厚 3.5nm の酸化膜を形成した。その後、100mmφの石英管に配置した 1 ターンのコイル状アンテナで励起したリモート型 ICP プラズマを用いて、Ar プラズマ処理および H₂ プラズマ処理を順次行って、反応活性サイトとなる表面 OH 結合の密度を制御した。引き続き、同一チャンバ内で SiH₄-LPCVD により高密度の Si ドット(面密度: 4.5×10¹¹cm⁻²)を自己組織化形成した。尚、P 添加は Si 量子ドット形成時に、デルタドーピングを行った。P 添加 Si 量子ドット形成後、リモート He 希釈 1%O₂ プラズマにより~2nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。この一連のドライプロセスを 6 回繰り返して、Si 量子ドット/SiO₂ 多重集積構造を形成した。尚、その後、上部電極として極薄 Au 層(~10nm)を、また、基板裏面に Al コンタクト層を真空蒸着した。形成した P 添加 Si 量子ドット 6 層集積構造からの放出電子のエネルギー分布は、超高真空中(~10⁻⁸Torr)で測定した(Fig. 1)。尚、電子放出は、Au 上部電極の電位を一定とし、試料への印加電圧(V_s)を変化させた。

結果及び考察＞P 添加 Si 量子ドット 6 層集積構造からの放出電子のエネルギー分布測定の結果、V_s = -14V で真性 Si ドットと同様に、2eV および 3.5eV 近傍にピークを有するスペクトルが認められた。これは、Si 量子ドット内の第一量子化準位の伝導電子が放出するためには、上部極薄酸化膜 2 層をトンネルする必要がある、上層量子ドット 2~3 層に、平均電界より高い電界が集中し電界放出に至っていると考えられる。しかしながら、V_s を増大させた場合、放出電子数は飛躍的に上昇するものの、V_s = -15V では 3.5eV 近傍の信号強度が顕著に増大し、さらには、-16V 印加では、6eV 近傍に新たなピークが認められた。真性ドットにおいては、同程度の印加電圧ではこれらのエネルギー領域に明瞭な信号は認められないことから、P 添加 Si 量子ドット積層構造では、ドット内のイオン化 P ドナーに起因した正帯電が顕在化することで、上層から中層の量子ドットに、平均電界より高い電界が集中するとともに、ドナー準位を介した電子放出も起きていると考えられる。

結論＞P 添加 Si 量子ドット 6 層集積構造からの電子放出エネルギー分布測定の結果、イオン化 P ドナーの顕在化により印加電圧の増大により電子放出に寄与するドット層が増加することが分かった。

文献＞[1]竹内大智 他、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 (19p-A5-4) 2014

謝辞＞本研究の一部は科研費基盤研究(A)および若手研究(A)の支援を受けて行われた。

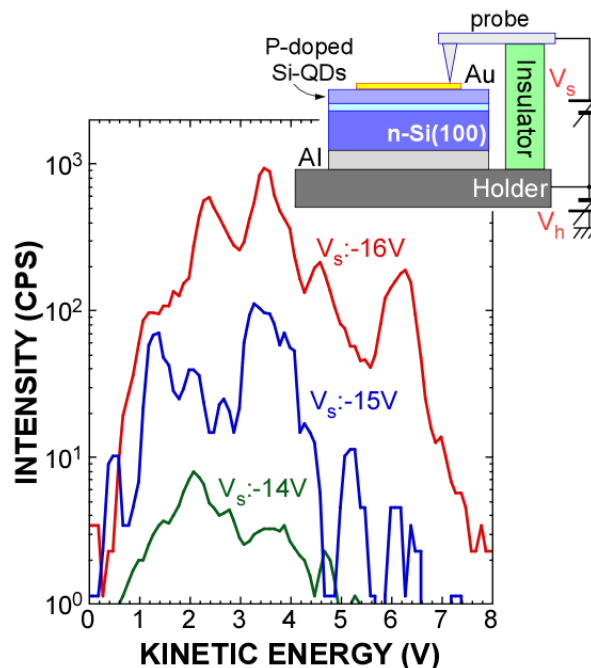


Fig. 1 Energy distribution of 6-stacked P-doped Si-QDs structure with negative bias application to sample holder and Al back contact with respect to Au top electrode, respectively. The schematic view of the measurement setup is shown in the inset.