グラフェン上部電極を用いた Si 量子ドット多重集積構造 からの電界電子放出 ―コレクタ電極電圧依存性評価

Characterization of Electron Field Emission from Multiply-Stacked Si Quantum Dots Structures with Graphene Top-Electrode

名大院工 [•]新林 智文, 竹本 竜也, 牧原 克典, 大田 晃生, 池田 弥央, 宮崎 誠一 Nagoya Univ. [•]Tomofumi Niibayashi, Tatsuya Takemoto, Katsunori Makihara, Akio Ohta, Mitsuhisa Ikeda and Seiichi Miyazaki E-mail: makihara@nuee.nagoya-u.ac.jp

序>SiH₄の LPCVD による極薄 Si 熱酸化膜/n-Si 上への Si 量子ドットの高密度・一括形成および ドット表面酸化を繰り返すことで形成した Si 量子ドット多重集積構造において、極薄 Au 上部電 極を形成後、順方向バイアス 6V 以上印加した場合、上層ドットに電界が集中する結果、電界電子 放出が認められることを報告してきた[1]。さらに、上部電極として単層グラフェンを転写形成し た場合、上部電極内での電子散乱が低減されることにより Au 上部電極を形成した試料と比較し て、電子放出効率が1桁以上向上した[2]。本研究では、上部電極が Si 量子ドット多重集積構造か ら放出される電子の運動エネルギー分布に及ぼす影響を調べるため、放出電流のコレクタ電極電 圧依存性を評価した。

実験>n-Si(100)基板を RCA 洗浄後、1000°C 酸素雰囲気中で~3nm の熱酸化膜を形成した。SiH4-LPCVD による Si 量子ドット(面密度: 4.7×10¹¹cm⁻²、平均ドット高さ: ~4.5nm)の自己組織化形成お よびドット表面の熱酸化(SiO₂ 膜厚: ~1.5nm)を繰り返すことで 11 層の Si 量子ドット多重集積構造 を形成した。単層グラフェンは、まず Poly-styrene 固体ソースによる LPCVD により Cu 基板上に 形成した。次に、グラフェン上に PMMA をスピンコーティングした後、Fe(NO₃)₃/9H₂O(0.5mol/L) および HNO₃:H₂O=1:5 溶液により Cu および残留 Fe の除去を行い、Si 量子ドット多重集積構造上 に転写した。その後、PMMA をアセトンおよび IPA 浸漬により除去した[3]。また、比較として極 薄 Au 上部電極(~10nm)を蒸着形成した試料を作製した。電子放出電流は、真空中(~10⁻² Pa)におい て、試料表面から~10mm の距離に配置したコレクタ電極(陽極酸化 Au プレート: 10mm×10mm)に -6~10V 印加(試料上部電極: 接地電位)して測定した。

結果及び考察>試料下部電極に試料電圧(Vs)-7V および-9V を印加して測定した Si 量子ドット多 重集積構造からの電子放出電流のコレクタ電極電圧(Vc)依存性を Fig. 1 に示す。何れの上部電極 においても放出電子が加速される Vc>0V では電子放出電流が徐々に減少する。一方、放出電子が 減速される Vc<0V では、放出電流が急激に減少する。Vs = -9V では Vc>0V においてグラフェン

電極における電子放出電流が Au 電極と比較して 2 倍程 度向上するのに対し、Vs = -7Vでは同コレクタ電極電圧 下において 1 桁以上向上することが分かった。これはグ ラフェン電極の膜厚が Au 電極の膜厚(~10nm)よりも小さ く、電子散乱が低減されることに加え、Vs=-7Vの低試料 電圧下では試料内部を加速される電子の運動エネルギー が小さいため Au 電極内での電子散乱の影響を強く受け るためであると考えられる。

結論>グラフェン電極を用いた Si 量子ドット多重集積構 造において、電子放出電流のコレクタ電極電圧依存性を 評価した結果、低試料電圧下において Au 電極と比べて 電極内での電子散乱が低減されることにより電子放出特 性が向上することが分かった。

文献>[1] D. Takeuchi et al., Thin Solid Films, 602, 68 (2016). [2] 新林智文 他、第 67 回応用物理学会春季学術講演会 12p-D511-7 (2020).

[3] K. Golap et al., Appl. Phys. Lett., 111, 013504 (2017). **謝辞>**本研究の一部は、科研費基盤研究(A)の支援を受け て行われた。またグラフェン形成および転写方法は名古 屋工業大学・カリタゴラップ准教授の御支援を頂いた。



Fig. 1 Electron emission currentcollector voltage characteristics of multiply-stacked Si-QDs with Au and graphene top electrodes.