

## 単層グラフェンを表面電極に用いた nc-Si 弾道電子源の特性 — 放出効率および出力電子エネルギー制御性の向上 —

Characteristics of nc-Si ballistic electron emitter with a monolayer graphene surface electrode — Enhanced emission efficiency and output electron energy regularity —

東京農工大 ○小島明, 須田隆太郎, 越田信義  
Tokyo Univ. of Agri. & Tech.  
A.Kojima, R. Suda, N.Koshida

### 【はじめに】

先に、ナノシリコン(nc-Si)弾道電子エミッタ[1]の表面電極として多層グラフェン膜が有効に機能し、電子放出効率と放出電子のエネルギー分布が向上することを報告した[2]。今回は、単層のグラフェン膜を用いた場合について、室温に加えて低温での測定を新たに行い、効率と電子エネルギー分布に対するさらなる改善効果を検証した。

### 【実験】

$n^+$ -Si 単結晶基板上に CVD 法により堆積した non-doped poly-Si 層に陽極酸化処理を施し、poly-Si 層に nc-Si 層を形成した後に電気化学的酸化を行い、nc-Si 層を構成する Si ナノドットの内部界面に極薄酸化膜を形成した。nc-Si 層は電子エミッタにおいてホットエレクトロンを生成する電子ドリフト層となる。nc-Si 層上に表面電極として単層グラフェンを積層した構造の電子エミッタと、比較のための従来構造の Au (t9 nm) /Ti (t1 nm)の金属薄膜を成膜した電子エミッタの 2 種類を作成した。単層グラフェンは金属触媒(銅薄膜)からの転写により nc-Si 表面上に形成した。また、Au/Ti の金属薄膜は RF スパッタリング法により連続的に成膜している。これらの電子エミッタについて、電子放出特性と放出電子エネルギー分布を室温と 150K の温度で測定した。

### 【結果と考察】

単層グラフェンを用いたエミッタでは、多層グラフェンや従来の金属薄膜の場合に比べて効率が大幅に向上し、同時にエネルギー分散も著しく低減した。図 1(a),(b)は、室温において単層グラフェン表面電極と従来構造の電子エミッタそれぞれの放出電子エネルギー分布を測定した結果である。図 1(a)のエネルギー分布は図 1(b)と比較してシャープで低いエネルギー損失を示した。単層グラフェンは、ホットエレクトロンを低損失、高確率で透過させるため[3]、nc-Si 弾道電子エミッタの表面電極によく適している。図 2(a)は、単層グラフェン表面電極の電子エミッタを 150K に冷却した時の放出電子エネルギー分布を示す。分布の半値幅が 200–300meV まで狭帯化されると同時に、分布のピークエネルギーが、印加電圧  $V_b$  の増加に対し弾道性から予測されるように高エネルギー側にシフトする。nc-Si 弾道電子エミッタの放出電子エネルギーの高い制御性が単層グラフェンによって明確に現れた。図 2(b)は室温(RT)での図 1(a),(b)と 150K での図 2(a)のデータから各条件における電子のエネルギー損失  $E_{loss}$  を計算した結果である。低温では、単層グラフェン表面電極の効果がさらに顕著となり、エネルギー損失がより抑えられる。nc-Si 層での電子の多重トンネリングが支配的になる 150K において、弾道伝導に基づく高いエネルギー制御性によって加速されたホットエレクトロンが、単層グラフェン表面電極を低エネルギー損失で透過し、放出されることを示唆している。

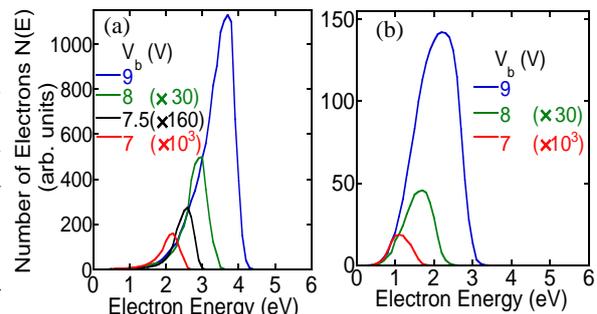


図 1. 放出電子エネルギー分布の比較 (室温), (a) 単層グラフェン表面電極, (b) 従来構造

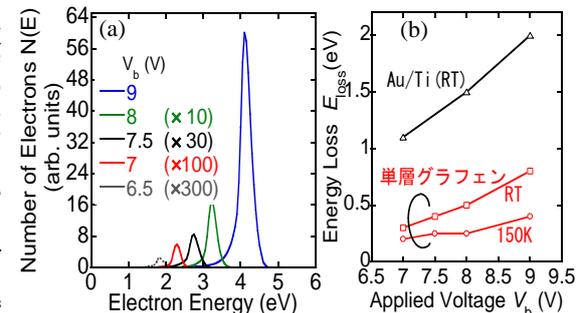


図 2. (a) 150K における単層グラフェン表面電極の放出電子エネルギー分布, (b) 各条件における電子のエネルギー損失  $E_{loss}$

[1] N. Koshida, X. Sheng, and T. Komoda, Appl. Sur. Sci. 146, 371 (1999). [2] 小島 他, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会[14p-424-14] (2017). [3] N. Barrett et. al, Phys. Rev. B71, 035427 (2005).