

電界放出誘起成長ナノ電子源の 計算機シミュレーションによる輝度評価

Computational Brightness Evaluation of Nano-Structured Field Emitter Grown by Field Emission Induced Growth

名大院工 ○中原 仁, 伊藤 真一, 齋藤 弥八

Nagoya Univ. ○Hitoshi Nakahara, Shinichi Ito, Yahachi Saito

E-mail: nakahara@nagoya-u.jp

我々の研究グループでは、電界放出誘起成長 (Field Emission Induced Growth: FEIG) を用いたナノ電子源の開発を行っており、これまで、FEIG 電子源を搭載した走査電子顕微鏡による動作検証、電流-電圧 (I-V) 特性評価によるエミッタ成長プロセスの解析、成長-崩壊サイクルによる電子源特性の変化を報告してきた。しかしながら、電子源性能で最も重要な指標の一つである輝度に関しては、仮想光源サイズを実験的に求めることが困難であるため、I-V 特性の Fowler-Nordheim(FN) 解析で得た電子放出面積を代用して見積もってきた。今回は、FEIG 電子源の電子軌道計算を行うことで仮想光源サイズを求め、ナノ電子源の形状と輝度との関係を解析した結果を報告する。

計算に用いた電子源のモデルは、半径 200nm のベース構造の上に半径 r_{tip} (1~100nm) の半球状のナノ構造を載せたものである。電子源から 10mm 離して設置したアノードとの間に電圧を印加し、エミッタ表面の局所電界から局所放出電流密度を求めて電子軌道計算を行うことで、印加電圧に対するエミッション電流、アノードを通過するビーム電流、仮想光源サイズ等を計算した。また、比較のためにナノ構造が載っていない単純なタングステン針形状 (先端曲率半径 1~100nm) の計算も行った。計算には電界解析ソフト ELFIN と荷電粒子軌道解析ソフト ELF/BEAM(いずれもエルフ社) を用いた。

図 1 はエミッション電流 (I_e) が $5\mu\text{A}$ の条件下で計算した仮想光源半径 r_{vs} 、ビーム電流 I_b 、平均輝度 B の r_{tip} 依存性である。図 (a) から、 r_{vs} は $r_{tip} > 20\text{nm}$ では FEIG 電子源、タングステン電子源ともに r_{tip} の減少に伴って減少しているが、 $r_{tip} < 20\text{nm}$ になると、FEIG 電子源がそのまま減少を続けるのに対してタングステン電子源は増加に転ずることがわかる。 I_b (図 (b)) は、タングステン電子源が r_{tip} に大きく依存せずに I_e の 1/100 程度の値であるのに対し、FEIG 電子源は r_{tip} の減少に伴って急激に増加し、 $r_{tip} = 1\text{nm}$ では I_e のオーダーになっている。この結果、輝度 (図 (c)) はタングステン電子源が $10^{10}\text{A}/\text{cm}^2\cdot\text{sr}$ 程度で頭打ちになるのに対し、FEIG 電子源は r_{tip} を小さくした分だけ向上し、 $r_{tip} = 1\text{nm}$ ではタングステン電子源より 5 桁近く大きな値を実現できることがわかる。

なお、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C) 24560024) の助成を受けて実施している。

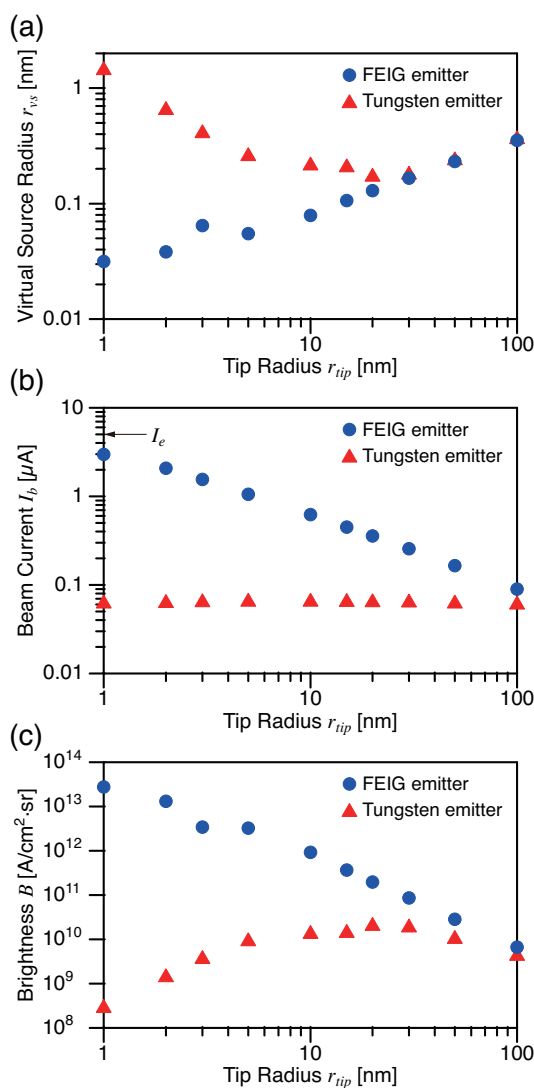


図 1: r_{vs} 、 I_b 、 B の先端曲率半径依存性