短焦点発散静電レンズによる平面位置情報拡大投影手法の空間分解能

Spatial resolution of electrostatic divergent lens with extremely short focal length

京都大院工　○(M1) 前田 然波，後藤 康仁

Grad. Sch. Eng., Kyoto Univ., °Saba Maeda and Yasuhito Gotoh

E-mail: maeda.saba.88u@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

新しいナノ構造分析手法として、焦点距離の短い発散静電レンズを用いた平面上の位置情報の拡大投影手法を提案した[1]。平面電極と開口電極から構成される単孔レンズにおいて、電極間隔を極めて小さくした時に焦点距離が非常に短くなることを利用する。平面電極から放出される荷電粒子には、放出角度の分布があり、これによって空間分解能が決まると考えられる。このような荷電粒子の軌道を数値計算により求め、空間分解能の評価を行った。

2. 数値計算

平面のエミッタ電極から 60 nm 離れた位置に、厚み 40 nm、開口径 200 nm の開口電極を対向させた単孔レンズを想定し、0°から 80°の角度で放出された荷電粒子の軌道計算を行った。計算領域は軸方向(z 方向)1600 nm、径方向(r 方向)800 nm とした。また、z=1600 nm の位置に仮想的なアノード電極を配置した。エミッタ電極の電位は 100 V、開口電極とアノード電極の電位は 0 V とした。計算結果の一例を図 1 に示す。青線が等電位線、赤線が荷電粒子軌道を表す。計算領域外では同様の運動方向を保つと仮定し、10 cm 下流での各荷電粒子到達位置から空間分解能を求めた。

3. 計算結果

空間分解能の放出角度依存性を図 2 に示す。赤いプロットが数値計算結果、青線が肉薄レンズ近似を用いて導出した空間分解能の解析値を示している。放出角度が大きくなるほど、空間分解能の値も悪くなっており、最大で約 8 nm 程度という値が得られた。また、解析値と概ねの傾向は一致したが、放出角度が大きくなると解析値との差が大きくなっている。これは、解析値導出の際に荷電粒子の軸方向速度に比べて、径方向速度が十分小さいと仮定したことが原因であると考えられる。

[1] 前田他, 2017 年秋応用物理学会 5p-S41-12.

謝辞: 本研究は科学研究費補助金 16K13685 の助成を受けて行っている。

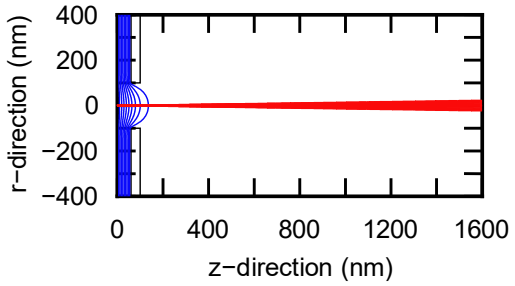

図 1：横方向初期速度をもつ荷電粒子の軌道の一例

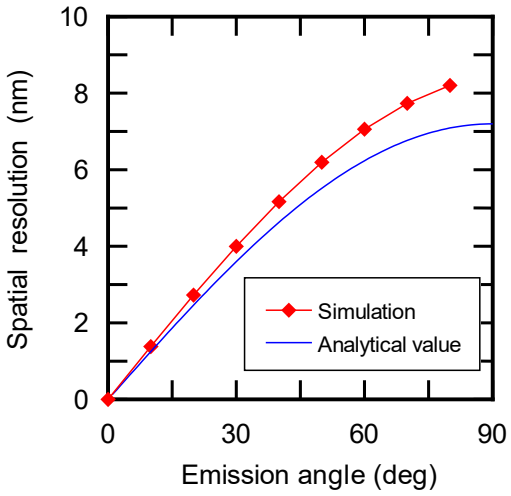

図 2：空間分解能の荷電粒子放出角度依存性