

ネオジウム磁石を用いた小型走査型電子顕微鏡用コニカルレンズの開発

Conical Lens Employing Neodymium Magnet for Small Size Scanning Electron Microscope

千葉工大¹, テクネックス工房²,[○](M1)井口 柗也¹, 大野 輝昭², 菅 洋志¹

CIT¹, Technex²,[○]Shuya Iguchi¹, Teruaki Ohno², Hiroshi Suga¹

E-mail: hiroshi.suga@it-chiba.ac.jp

背景・目的

近年, 工場, 研究現場, 教育現場で小型走査型電子顕微鏡(以下, SEM)が普及しつつあるが一般的な SEM に分解能で劣るためさらなる分解能向上が求められている. 円錐形状の対物レンズ(以下, コニカルレンズ)は, 焦点距離を小さくすることができるため, 分解能向上への有効性が知られている.¹⁾しかし, 小型のコニカルレンズでは内部空間が狭く, 電磁石や絶縁材料を配置する余地がなく, 製作が実現していない. 一方, 永久磁石を用いた電子レンズ(以下, 永久磁石電子レンズ)は, 少ない部品点数で成立するため, 有効な小型化技術として古くから知られてきた.²⁾近年の希土類磁石の実用化により, 永久磁石を用いた電子レンズが再注目されている.³⁾そこで, 我々は, 低収差化することのできる円錐形状レンズを小型で強力な希土類磁石を用いて製作することにより小型低収差な円錐形状電子レンズの分解能を評価した

実験方法

ネオジウム磁石と一般圧延用炭素鋼材(SS400)からなる直径 40 mm 高さ 20 mm の対物レンズを設計し, 有限要素法を用いて磁場解析をした. 図 1 に電子レンズの概略断面図を示す. 赤, 緑, 橙色でヨークを示し, 紫色で永久磁石を示す. 設計した電子レンズを有限要素法による磁場計算を行い, その結果を利用して電子軌道解析をおこなった. また, ガウスメータ(Lake Shore, model421)を用いて光軸の磁束密度を測定し, 解析値と比較した. 卓上用 SEM(テクネックス工房, Tiny-SEM Migty8-DX)に製作したコニカルレンズを取り付け, 直径 2 μm の金蒸着を施したポリスチレンラテックス球の SEM 像を観察し, 区別できる球間距離から分解能を評価した.

結果・考察

図 2 に磁場, 電子軌道解析した結果を示す. 下端に青線で電子レンズの電子軌道, 等高線で磁束密度分布を示す. ポールピース付近に磁束が集まる様子が認められる. 永久磁石から直接漏れ出る磁場によって電子ビームが曲げられ, ポールピースからの磁場でさらに電子ビームが大きく曲げられる. 加速電圧 17 kV のとき電子ビームがレンズ右端から 3 mm の位置で収束したため, 電子レンズとしての機能を持つことを確認した.

図 3 に光軸上の磁束密度を示す. 青線で磁場解析結果, 赤と緑線でレンズの磁束密度測定結果を示す. 磁束密度のピーク位置は一致してい

たが磁束密度が解析値よりも低かった. この結果より電子レンズは誤差の少ない加工ができたと考えているが, 残留磁束密度とヨーク透磁率の値が解析条件と違っていたと考えている.

講演では, 実際に小型 SEM に対物レンズを搭載し, 得られた SEM 像から分解能を評価した詳細についても報告する.

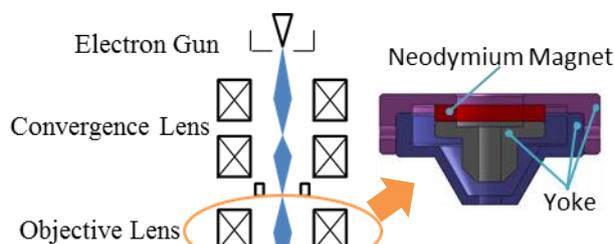


Fig.1 Schematic of conical lens

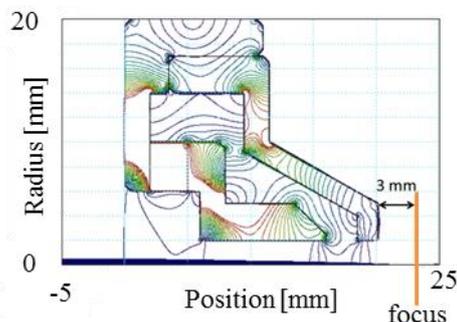


Fig.2 Contour diagram of magnitude magnetic flux density and electron beam orbit

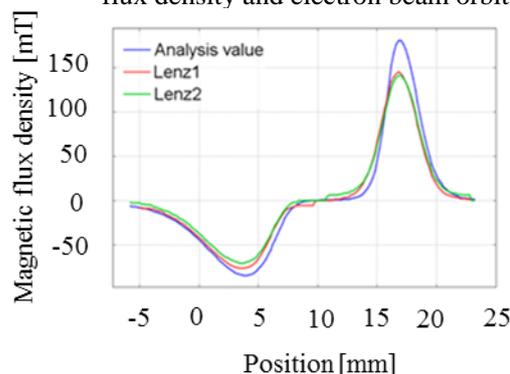


Fig.3 Magnitude magnetic flux density at the optical axis

参考文献

- 1) 高嶋進: 電子顕微鏡 **28**, 142 (1993).
- 2) 木村博一: 日立評論 **39**, 37 (1957).
- 3) A.Khursheed et al.: Charged Particle Optics III, **3155**, 176 (1997).