

静電同軸円筒型分析器の収差特性の計算

Aberration Analysis for a Cylindrical Deflector Analyzer

名城大理工 渡邊 誠司, [○]村田 英一, 浅井 泰尊, 六田 英治, 下山 宏

Meijo Univ. Seiji Watanabe, [○]Hidekazu Murata, Hirotaka Asai, Eiji Rokuta, Hiroshi Shimoyama

E-mail: hkmurata@meijo-u.ac.jp

1. はじめに

前回の本学会において、電界放出電子分光法 (FES) に用いる静電同軸円筒型分析器 (CDA) について、我々で実際の CDA とスリットを忠実に数値モデル化し、フリンジングフィールドを考慮した電子軌道計算を行った[1]。CDA については、理想的な電場を想定した解析的な電子軌道計算は行われており、分光に最適な偏向角 (一次元収束の偏向角度) は 127.3° であると分かっている[2]。しかし、実際には、スリット付近でフリンジングフィールドと呼ばれる一様電場からのズレが生じ、解析的に得られる理想的な電子軌道から外れてしまうことが知られている。我々の前回の結果から、実際の最適偏向角は約 110° となることが分かっている。

今回は、解析解とフリンジングフィールドを考慮した場合とで、CDA を通過する際の電子軌道の収差について検討を行ったので報告する。

2. シミュレーション方法

CDA の光学系は、光軸に対して回転対称性を有していない。そこで、一般 3 次元境界電荷法 (3D-BCM) を用いて、CDA とスリットをモデル化し電界計算を行った。モデル化した CDA とスリットを Fig. 1 に示す。CDA の内側電極および外側電極の半径は、それぞれ $R_1=37.5\text{mm}$ 、 $R_2=67.5\text{mm}$ である。また、スリットの開口幅は $s=0.45\text{mm}$ である。十分な計算精度を得るためには、モデルの表面を細かく分割する必要がある。CDA とスリットの総分割数は約 15500 とした。今回は、電子の初期エネルギー (パスエネルギー) $E_0 = 0.3\text{ eV}$ とした。パスエネルギーより算出される電極間電位差 ΔV は、フリンジングフィールドの影響により、解析値より若干ずれる。そのため、電子が出口スリットの開口部中央を正しく通過できるように、電極間電位差 ΔV を多少調整する必要がある。この調整された ΔV を CDA の計算モデルに与えて CDA 内の電界を計算し、電子の入射角 α_0 を $0^\circ \sim \pm 5^\circ$ の範囲で変化させて、先の初期エネルギーにより電子軌道計算を行った。収差 (偏差) Δx は、Fig. 1 に示す出口位置における入射角 $\alpha_0 = 0^\circ$ の電子軌道からのズレとして求められる。

3. 結果

(フリンジングフィールドのない) 理想的な CDA における収差の式は、解析的に以下のように求められる。

$$\frac{\rho}{r_c} = \frac{\Delta E}{E_0} - \alpha_0^2 - \frac{\alpha_0^4}{2} \dots \quad (1)$$

ρ は、パスエネルギー E_0 を持って、入射角 α_0 で入射した電子の出口スリットにおける中心軌道半径 $r_c (= (R_2 - R_1) / 2)$ からのズレを示している。今回の計算において、電子の初期エネルギーはすべて $E_0 = 0.3\text{ eV}$ 一定としているため、エネルギー幅 $\Delta E = 0$ となる。シミュレーションによって得られた偏差 Δx と (1) 式から得られる値とを比較をすることで、フリンジングフィールドが収差に及ぼす影響を調べることができる。

Fig. 2 は収差の結果を示す。これを見ると、フリンジングフィールドによる収差の影響が大きいことが分かる。

参考文献

- [1] 第 79 回 応用物理学会 pp.06-045 (2018).
- [2] H. Ibach, "The electron optics of the cylindrical deflector," in Electron Energy Loss Spectrometers. Springer Series in Optical Sciences, vol. 63. Berlin: Springer, 1991, pp. 15-44.

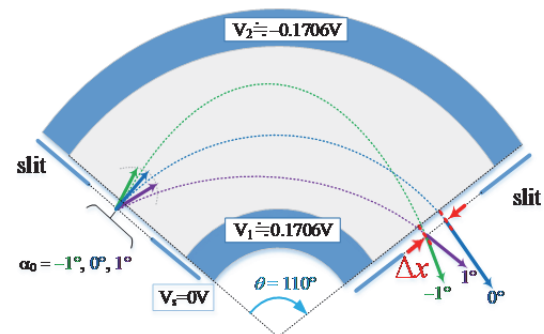


Fig.1: Schematics of CDA

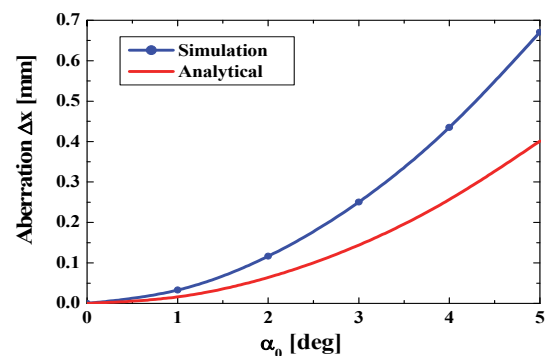


Fig.2: Aberration Δx at the exit slit as a function of incident angle α_0 .