

RF イオントラップのシミュレーション

木村研究室 1050278 宮嶋 泰司

目的

本研究では、平行平板型電極を持つ RF イオントラップについて、シミュレーションにより性能調査を行い、安定トラップ条件を探ることを目的とした。

RF イオントラップ

RF イオントラップとは交流電場の作用で電極の中心に荷電微粒子を閉じ込める(トラップする)装置を指す。図1は一般的なRFイオントラップである回転双曲面型イオントラップである。図1のリング電極に交流電圧を印加することで電極内には図2の様な鞍型ポテンシャルが生じる。トラップ対象物の微粒子はこの交流ポテンシャルの作用で電極の中心へトラップされる。

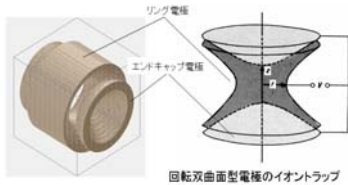


図1: 回転双曲面型電極

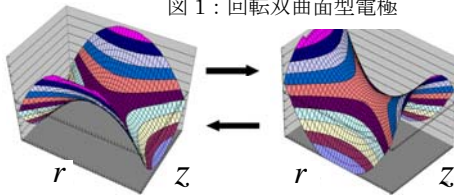


図2: 電極内のポテンシャル変化

本研究では図3に示す平行平板型イオントラップを対象としている。こちらは回転双曲面型に比べ、電極間に隙間があるためトラップした微粒子を外から観測しやすいという特徴を持つ。中心2枚の電極がリング電極、外側2枚の電極がエンドキャップ電極となっている。

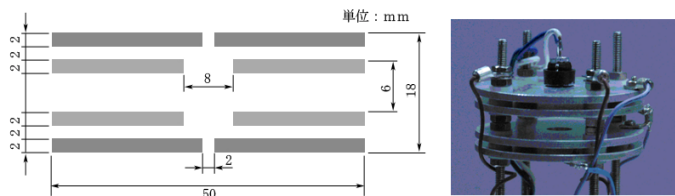


図3: 平行平板型イオントラップ

今までの研究から平行平板型電極のリング電極へ交流電圧 1kV、380Hz、エンドキャップ電圧を 0V付近とすることで微小液滴がトラップされることが確認されている。

その条件を元に平行平板型イオントラップをシミュレーションで再現した。(図4:シミュレーションの様子) シミュレーションには SIMIONというイオン光学系のソフトウェアを使用した。

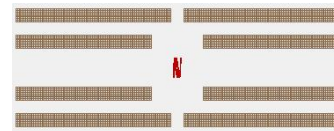


図4: イオントラップシミュレーション

より安定したトラップ条件の模索

回転双曲面型電極のイオントラップでは電極内での微粒子の運動は解析的に解っている。安定したトラップのためには運動方程式が安定解を持つ必要がある。そのためには方程式で使用されている変数(a, qパラメータ)の組み合わせが重要な役割を果たすことが解っている。(図5)

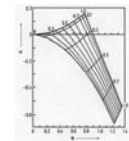


図5: 安定トラップ領域
(縦軸 a、横軸 q)

一方、平行平板型イオントラップでは回転双曲面と違って、安定トラップ条件は解析的に解っていない。そのため、シミュレーションを用いてトラップが出来る a, qパラメータの組み合わせについて調査を行い、図5と類似した形をとることを確認した。

また a, qパラメータの組み合わせでトラップされる微粒子の軌道に違いができることに着目し、トラップ領域内で、より安定した a, qパラメータの組み合わせを示した。

※ 補足:ポテンシャル計算法

トラップ内のポテンシャルはラプラス方程式を解けばよい。実際には空間を格子状に区切り、下記の計算式(図6)により、ある点(x, y)でのポテンシャルは、その周りの要素の平均として計算を行った。

計算でポテンシャルφ(x, y)を求める方法

$$\frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial x^2} = \frac{1}{\Delta x^2} [\phi(x + \Delta x, y) + \phi(x - \Delta x, y) - 2\phi(x, y)]$$

$$\frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} = \frac{1}{\Delta y^2} [\phi(x, y + \Delta y) + \phi(x, y - \Delta y) - 2\phi(x, y)]$$

→ 1次元格子中の静電ポテンシャルφ(x, y)は2次元格子で計算する

Δx, Δy = h とおいて

式変形

$$\phi(x, y) = \frac{\phi(x+h, y) + \phi(x-h, y) + \phi(x, y+h) + \phi(x, y-h)}{4}$$

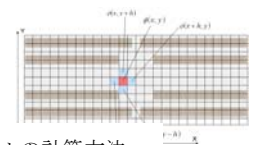


図6: 電極内のポテンシャルの計算方法