

四重極ガス質量分析器用高精度電源装置の設計シミュレーション

○村井 弘道^{*1)}、田中 秀実^{*2)}、角森 史昭^{*2)}、川又 剛^{*3)}

1. はじめに

本研究は、地震発生過程において地殻の物理的状態を反映しているとされている揮発性物質を分析するため、四重極ガス質量分析器用電源装置の回路設計シミュレーションを行い、所定の性能が得られるか検証を行った。その結果、回路方式として十分な性能を有することが確認された。

2. 分析対象と分析方法

対象とする揮発性物質の種類、質量数、質量数差を表1に示す。この表の通り、分析対象はわずかな質量数差であり、高分解能の質量分析器を実現する必要がある。イオン化された物質の四重極電場内の運動方程式は、次式で表される。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{Ze}{mr_0^2}(U - V \cos \omega t)x = 0$$

$$-\frac{d^2y}{dt^2} - \frac{Ze}{mr_0^2}(U - V \cos \omega t)y = 0$$

この式から Mathieu 方程式が導かれ、この方程式の解領域から第二安定領域での動作条件に必要な電極間電圧、周波数の関係が次式の通り導出される。

$$V = q \frac{m r_0^2}{Ze} \omega^2$$

3. 回路設計シミュレーション

検証には、Spice シミュレータを使用し、分析条件をカバーする fmax=3[MHz]、Umax=200[V]、Vmax=200[V]で30[mV]以下の安定度が得られるか検証を行った。

その結果、回路供給電源電圧 410~440[V]に対し16[mV]、負荷インピーダンス 500~1500[Ω]に対し18[mV]、温度 0~50[°C]に対し22[mV]の安定度が得られることが確認された。

4. まとめ

今後、さらなる回路安定度の向上と実装時の性能低下が発生しないよう実装技術の検討を加え、低質量物質の高分解能計測が行える高精度電源装置の開発を進めて行く予定である。

参考

<http://growdas.com/> (GROWPAS PROJECT ホームページ)

表 1. 分析対象物質

種類	質量数 (amu)	質量数差 (amu)
3He+	3.016	
HD+	3.0218	0.0058
4He+	4.0026	
D2+	4.0282	0.0256
40Ar++	19.981	
20Ne+	19.992	0.0011

1 amu=1.6605x10⁻²⁷ kg

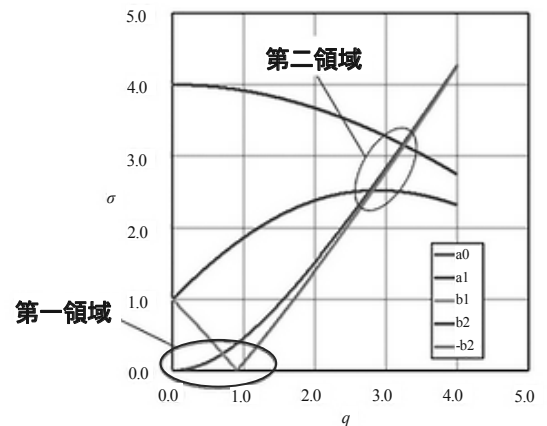


図 1. Mathieu 安定領域図

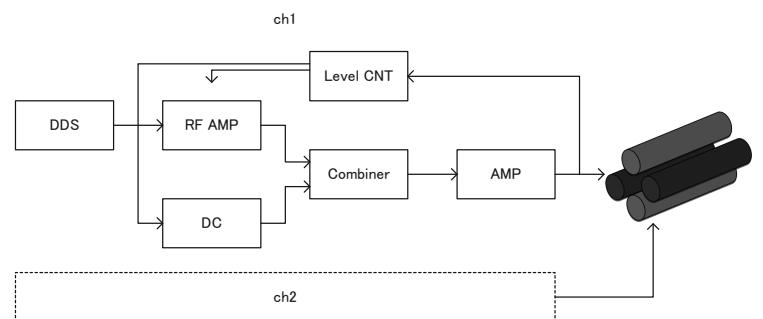


図 2. 検証回路ブロック

*1)株式会社ティ・エフ・ディ、*2)東京大学大学院、*3)マルカワテクナート