

K-25

小型 D-D 核融合型中性子源における中性子フルエンス率の向上及び高速中性子の半導体への影響 Improvement of neutron fluence rate in a small D-D fusion neutron source and effects of fast neutrons on semiconductors

○清水 尚輝¹, 加藤 雅之¹, 渡部 政行²*Naoki Shimizu¹, Masayuki Kato¹, Masayuki Watanabe²

Abstract: A compact neutron source by a D-D fusion reaction has been developing in our research group. It has been reported in recent years that neutrons as secondary cosmic rays falling on the earth cause malfunction of devices containing semiconductors. The purpose of this research is to investigate the effects of a fast neutrons on semiconductors by using our compact neutron source. First, the dependence of the neutron fluence rate on the voltage applied to the electrodes, the discharge current and the direction of generation in a small-scale neutron source are reported in this presentation. In addition, we will also report on the malfunctions caused by neutron irradiation of digital devices.

1. 研究背景と目的

航空機が飛行する 1 万メートル程度の高高度や国際宇宙ステーションが運用する宇宙空間では、地球の大気や地磁気による放射線の拡散・吸収が少ないため、地上に比べ放射線の線量が多い。それらの領域における放射線は一般的にエネルギーも高く、航空機等に搭載された半導体や機器にも影響を与える恐れが高い。本研究室ではこれまで宇宙放射線の半導体への影響を調べる研究を行ってきた。特に、航空機が飛行する 1~3 万メートル程度の高度において線量が高い宇宙線である中性子線に着目し、その半導体への影響を調べることを本研究の目的としている。本講演では小型中性子源の出力性能向上及び中性子の半導体への影響に関して調べた実験結果について報告する。

2. 中性子とは

中性子とは、陽子とともに原子核を構成する核子の一つである。質量や大きさが陽子とほぼ同じであるが、電荷を持たない。そのため、クーロン力やローレンツ力などによる物質との相互作用が働かないため、非常に透過性が高い放射線といえる。一般的に中性子の遮蔽には原子核内に陽子を多く含む水やポリエチレンブロックを用いる。

2-1. 2 次宇宙線としての中性子の特性

地球磁場は太陽から放射された陽子などの宇宙線が地球表面に到達するのを妨げる役割をしている。また地球の大気は様々な宇宙線が衝突した際に、その放射線のエネルギーを拡散もしくは吸収する役割がある。この宇宙線と大気や地球磁場との衝突の際に、大気と

宇宙線の相互作用によって中性子が発生し、2 次宇宙線として地上に到達する。図 1 にそれぞれの宇宙放射線の実効線量率の高度依存性を示す。中性子の実効線量率は、地上から高高度に向けて急激に増加することが確認できる。

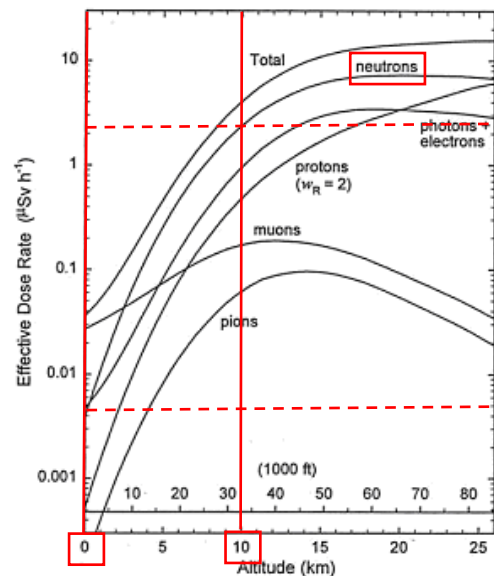


Figure 1 Altitude dependence of effective dose rate [1]

2-2. 中性子のエネルギー分布

素電荷をもつ電子 e が電位差 1 V で加速された場合に得るエネルギーが 1 eV である。この eV が中性子の持つエネルギーの単位に用いられる。中性子は数 MeV のような高エネルギーの中性子線から数 μ eV 以下の低エネルギーまでの幅広い分布を持つ。図 2 に高高度の領域における宇宙放射線(中性子)のエネルギー分布を示す。

1:日大理工・院(前)・量子:Graduate School of Quantum Science and Technology, CST, Nihon-U.

2:日大・教員・量科研:Institute of Quantum Science, Nihon-U

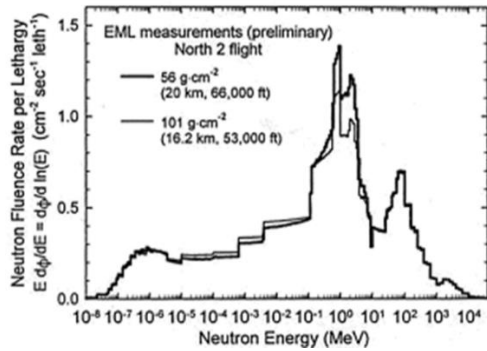
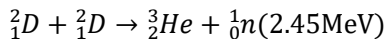


Figure 2 Neutron energy distribution of high altitude[2]

2次宇宙線としての中性子の特性としては、数 eV のエネルギーを有する中性子線が多いことが分かる。本研究では重水素の原子核同士を衝突・融合させる D-D 核融合反応を用いて中性子を発生させている。以下に D-D 核融合の核反応式を示す。



この核反応で発生する中性子のエネルギーは約 2.45 MeV であり、高速中性子に分類される。2次宇宙線としての中性子のエネルギーに近いことが確認できる。

3. 小型 D-D 核融合型中性子源

中性子線を利用した科学・工学を普及するためには装置は小型で搬送性が高く、低コストで開発でき、中性子発生制御が容易である等の利点を持つ中性子線源の開発が重要である。そこで本研究室では、中性子を発生させるための核反応の3種の中、加速器等で重水素等を加速させ、原子核同士の衝突による核融合反応から中性子を得る方法を用いている。本研究では慣性静電閉じ込め方式核融合(IECF)を応用した小型核融合型中性子源の開発を行っている。

4. 実験装置および実験内容

本研究で使用している円筒型 IECF 装置の概略図を図 3 に示す。本装置の特徴は核融合を起こす電極部にリング状陰極を用いていることである。実験では、リング状陰極に高電圧を印加することで陰極付近にグロー放電を発生させる。グロー放電中の重水素原子核はリング陰極に向かって加速され、リング陰極の中心を通過する。通過した重水素原子核は再度リング陰極に加速され、結果的にビーム状の放電が形成される。印加電圧が-10kV 以上の条件で重水素原子核同士の核融合が生じる。この核融合反応により 2.45MeV の中性子がほぼ等方的に放出される。

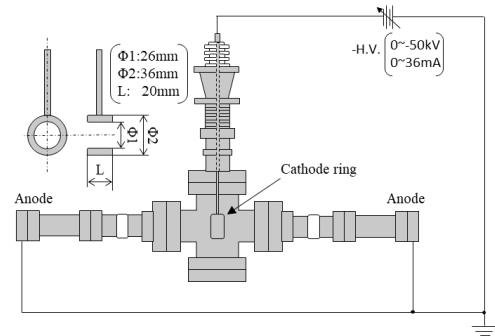


Figure 3 Experimental device and setup

また、発生した 2.45MeV の高速中性子を半導体の一種である D フリップフロップ回路に照射することで半導体を含んだ電子回路への影響を調査した。

5. 実験結果とまとめ

リング陰極への印加電圧を-10~-35kV、放電電流 4,6,8,10mA の条件で実験を行い、中性子フルエンス率を計測した。その実験結果を図 4 に示す。中性子の計測は、リング陰極中心部から約 80cm の位置で行った。

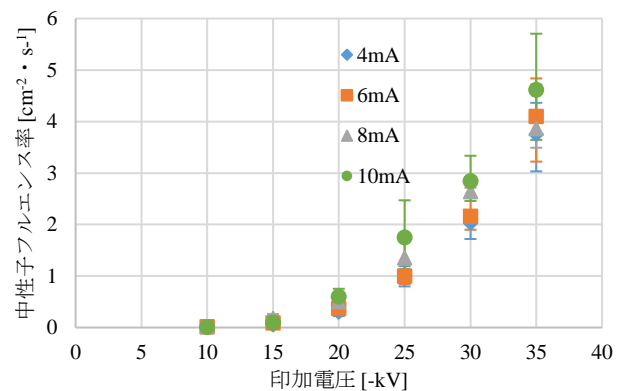


Figure 4 Neutron fluence rate in high voltage range

リング陰極に印加する電圧の増加に対して中性子フルエンス率が増加することが確認できる。放電電流 10mA、印加電圧-35kV の実験において、距離 80cm の位置における中性子フルエンス率は最大 $5.71 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。現在、更なる中性子フルエンス率の増加を目的として、放電電流は 14mA、印加電圧は-45kV の条件で実験を行っており、その結果を報告する。また、中性子線を D フリップフロップ回路の半導体に照射した際の、誤動作の有無等についても報告する。

6. 参考文献

[1] 文部科学省 宇宙線被ばく線量の測定法 第2-4号
 [2] Advances in Space Research Volume 32, Issue 1, 2003