

超小型 AMS 装置における ^{14}C 検出用の比例計数管の設計

Design of a Proportional Counter for ^{14}C Detection in the Downsized AMS System

日本原子力研究開発機構, °松原 章浩, 藤田 奈津子, 木村 健二

Japan Atomic Energy Agency (JAEA), °Akihiro Matsubara, Natsuko Fujita, Kenji Kimura

E-mail: matsubara.akihiro@jaea.go.jp

日本原子力研究開発機構では、表面ストリッパを特徴とする ^{14}C 専用の超小型 AMS 装置（床面積が $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 程度、イオンエネルギーにして 40 keV ）の開発を進めている[1]。これに伴い、そのエネルギーに対応した ^{14}C 検出器が必要となる。数百 keV 以上のイオンエネルギーが得られる従来の AMS 装置では電離箱が用いられる。しかし数十 keV に低下すると、電離箱で生成される電子・イオン対は千個程度となるため、その検知が難しくなる。これを踏まえ Muller 等は $30\text{ keV} \sim 45\text{ keV}$ の ^{14}C を検出できる比例計数管を開発した[2]。筆者等は、その構造を基に 20 keV 程度の ^{14}C を検出可能とする比例計数管の開発を目指し、その設計について数値的に検討した。具体的には、先行研究で考慮されていない電子なだれに伴う正電荷の影響を取り入れるため、陰極と陽極の間に作られた電子・イオン対のそれぞれの集団を点電荷で模擬し、陽極に誘起される電荷および前置増幅器の出力信号を数値的に求め、最適な電極位置及び形状を調べた。

図 1 に検出空間のモデルを示す。半径 r_0 の内球を陽極に、内半径 $L + r_0$ の外球殻を陰極とし、その電極間を検出領域とする。 ^{14}C は外球内面に置いた原点から検出領域に入射し、原点で初期の電子・イオン対が生成されると想定する。その電子（位置 x_n ）は陽極に向かって加速するとともに電子なだれを起こし、負電荷（ $-q$ ）が増大する。一方イオンは、電子が陽極に到達する時間スケールでは、電離で生成された位置に残されると見なすことができる。したがって、イオンの分布（電荷の合計は $+q$ ）の重心（位置 x_p ）に置いた点電荷（ $+q$ ）は x_n を追うように陽極に移動する。負電荷が陽極に到達したときの陽極に誘起される電荷 q_A は、

$$q_A = q \left\{ 1 - \frac{r_0 x_p}{(L + r_0 - x_p)L} \right\}$$

と表される。 q_A は、 x_p が陰極に近いほど大きくなる。しかし x_p は、電子増幅の著しい（電場が強い）陽極に近寄りやすい。これを緩和するには、 r_0 を大きくする必要がある。この他、印加電圧、電子増幅率、静電容量などを考慮し、結果として $r_0 \approx 1.5 L$ と定めた（先行研究では、 $r_0 \approx 0.5 L$ ）。これにより 20 keV 程度の ^{14}C の検出が可能になると期待される。

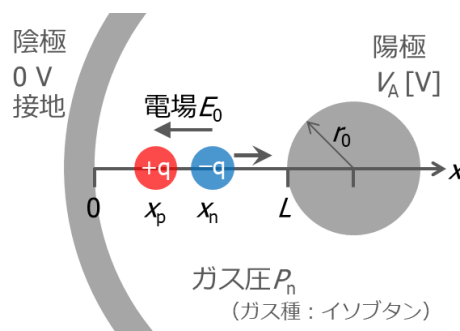


図 1. 検出空間のモデル。 ^{14}C は外球内面に置いた原点から入射する。実際には、厚さ 30 nm の窒化ケイ素膜が入射窓となる。

[1] 藤田, 他, 第 67 回応用物理学会 春季学術講演会 講演予稿集 (2020) 02, 149.

[2] A.M. Müller, et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 356-357 (2015) 81-87.