

MEG II実験における輻射崩壊同定のためのDLC-RPCの電極構造の開発

神戸大学 粒子物理学研究室 鈴木 大夢

鈴木 大夢^A, 大谷 航^B, 大矢 淳史^C, 越智 敦彦^A, 高橋 真斗^A, 潘 晟^B, 山本 健介^C, 李 維遠^C, 他 MEG II コラボレーション
^A神戸大理, ^B東大素セ, ^C東大理

概要

MEG II 実験は $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を探索する実験である。MEG II 実験の主要な背景事象の発生源の一つであるミュオン輻射崩壊由来のガンマ線を同定するため、Radiative decay counter (RDC) が導入される。RDCのために、Diamond-Like Carbon (DLC) を高抵抗電極に使用した低物質質量・高レート耐性の Resistive Plate Chamber (DLC-RPC) を開発している。DLC-RPCの電極にはギャップを保持するピラーがあり、先行研究[2]において、ピラーの高さの不均一性によりギャップの均一性が損なわれた結果、動作が不安定となっていた。そのため、電極構造を改善した新型電極を製作し、動作試験を行った。その結果、決定した動作電圧において最大で57%の検出効率を得られた。

MEG II 実験 (2021年物理ラン取得開始)

Paul Scherrer Institut (PSI) で行われている $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索実験

- 荷電レプトンフレーバーの破れ(cLFV)を伴う崩壊
- 素粒子標準理論では禁止
- 発見は新物理の明確な証拠
- 前身のMEG実験での 5.3×10^{-13} の探索感度から 6×10^{-14} の探索感度へのアップグレード

偶発的背景事象
信号事象

Michel 崩壊
背景事象由来のガンマ線

[1]

Radiative decay counter (RDC)

RMD由来の陽電子を検出し、ガンマ線を同定する

ミュオン輻射崩壊 (RMD)

上流側RDCの開発要請

- 放射長の0.1%以下の低物質質量
- 3 MHz/cm²の高レート耐性
- 20週間で約100 C/cm²の放射線耐性
- 90%以上の検出効率
- 1 nsの時間分解能
- 直径20 cmの検出器サイズ

Diamond-Like Carbonを高抵抗電極に用いたResistive Plate Chamberの開発

DLC-RPC: 低物質質量・高レート耐性のRPC

Resistive Plate Chamber (RPC)

- 平板高抵抗電極を平行に向い合せにしたガス検出器
- 時間分解能に優れる
- 積層による高い検出効率 (n 層での検出効率 $\epsilon_n = 1 - (1 - \epsilon_1)^n$)

Diamond-Like Carbon (DLC)

- 高抵抗薄膜素材
- ダイヤモンド (sp³) とグラファイト (sp²) の両方の炭素結合をもつアモルファスカーボン
- 調節可能な抵抗値

DLC-RPCの動作原理

- 問題点: 先行研究[2]において、技術的に高くばらつき小さいピラーの形成が不可能 → ばらつきがある低いピラー同士の向い合せの構造により、さらにばらつきが大きくなり、一様性が損なわれ動作が不安定
- 改良点: 新素材のピラーを用いた電極の構造

先行研究[2]のDLC-RPCの構造
改良したDLC-RPCの構造

サンプルのピラーの高さ測定

新型電極のサンプル

ピラー(2.5 mm pitch)

マイクロメーターでの測定

- ✓ ピラーの高さ: $333 \pm 5 \mu\text{m}$
- ✓ 330 μm 以上の高さのピラーの形成を確認

DLC-RPCの動作試験のセットアップ

Al Readout, Sr90, 2 mm Φ collimator, 38 dB アンプ, 波形デジタイザー (DRS4), Trigger counter

DLC-RPC Active region (30 mm \times 30 mm)

ベータ線

ガスの構成: C₂H₂F₄ (代替フロン) / iC₄H₁₀ / SF₆ = (94/5/1)%

ベータ線を用いたDLC-RPCの動作試験

- ✓ 2.65 kVの電圧において、最大で57%の検出効率を得られた
- ✓ 2.65 kVと同等の性能が得られたため、2.63 kVを動作電圧とする予定
- ✓ 実機では4層の設計 → 1層あたり40%以上の検出効率が4層での90%の検出効率に対して、求められているよって、90%以上の検出効率が期待

ベータ線に対する波高分布

Threshold: 20 mV

検出効率: 57%

一層での検出効率

40%以上が求められる

まとめ・今後の展望

- ◆ 上流側RDCの開発要請を満たすため、DLC-RPCを開発している
- ◆ 先行研究[2]での電極ではギャップが均一でないため、DLC-RPCの動作が不安定となっており、高いピラーをアノード片面に取り付ける構造に改良した
- ◆ 新型電極での動作の結果、最大で57%の検出効率を得られた
- ◆ 今後は2025年の物理ランからインストールする実機を想定した試作機の製作及び、レート耐性の評価を行う

References

- [1] A.M. Baldini et al., "The design of the MEG II experiment" Eur. Phys. J. C 78 (380) (2018)
- [2] 李 維遠, 「MEG II 実験背景事象抑制に向けたDLC-RPC検出器の開発—新型電極設計の最適化—」, 日本物理学会2023年春季大会, 2023年3月23日