

B ファクトリー実験で使用する新型光検出器の放射線耐性

6410019 森 和香奈

B 中間子系に現れる CP 対称性の破れを発見し小林・益川理論を裏付けた Belle 実験は、2010 年 6 月に終了した。その後継となる Belle II 実験では、小林・益川理論の詳細な検証と標準理論を超える新しい物理の探索を目的に、Belle 実験からの加速器・検出器のアップグレードが行われている。B 中間子の崩壊の終状態に多く含まれる K 中間子と π 中間子の粒子識別は、B 中間子の CP 対称性の破れの観測において重要な課題である。Belle II 実験に向けて、高運動領域での粒子識別を行うことでより多くの B 中間子の稀有崩壊の観測を可能にするために、荷電粒子が輻射体を通じた時に円錐状に放出されるチェレンコフ光をリングイメージで捉えることにより 0.5~4GeV/c の運動量領域で K/ π 識別を行う新型粒子識別装置 Aerogel Ring Imaging Cherenkov counter (A-RICH) の開発が行われており、運動量 4GeV/c において 4σ 以上の信頼度で K/ π 識別を目指している。Belle II 実験の A-RICH 検出器は輻射体の Aerogel、光検出器の Hybrid Avalanche Photo Detector (HAPD)、読み出し回路の ASIC と FPGA で構成される。HAPD は 4.9mm \times 4.9mm のピクセルを 144ch 持つ APD (Avalanche photo diode: Avalanche 増幅を利用した受光ダイオードの一種) を、高電圧が印加できる真空管内部に封入したのち、真空管部の入射窓にアルカリ金属を蒸着させ光電面を作成した新型のマルチアノード型光検出器である。アルカリ金属蒸着による APD 破損を防ぐため、APD 表面にはアルカリ耐性膜 (アルカリ保護膜) が塗布されている。HAPD は十分な有効面積・位置分解能・一光子検出・1.5T 磁場中での安定動作・放射線耐性などの 5 つの条件を満たす検出器として浜松ホトニクス (株) と共同開発している。これまでに、放射線耐性以外の 4 つの要求はすでに達成が確認されており、現在は放射線耐性についての研究をすすめている。A-RICH を Belle II 実験で安定的に 10 年間稼働させるために、最大 1000Gy 程度と試算されるガンマ線を受けた後でも、S/N \sim 7 以上の精度で一光子検出が可能な HAPD の開発を目標にしている。

本研究では、HAPD のガンマ線耐性を調べるため、名古屋大学 ^{60}Co 照射室で 2010 年 3 月に 1 週間、同 6 月に 2 週間、同 10 月に 2 週間の 3 回にわたりガンマ線照射試験を行った。試験前 HAPD がガンマ線によって受ける影響は小さいと考えられていたが、実際に HAPD にガンマ線を照射し照射中電流のモニターや、照射前後での電流・ノイズ測定を行った結果、わずかな Bias 電圧の変化で急激に APD に流れる暗電流が増加するブレイクダウンという現象が発生することが分かった。ブレイクダウン発生前までは、HAPD がガンマ線によって受ける影響は小さく十分 Belle II 実験で使用可能であるが、ブレイクダウンが発生すると、電流上昇に伴いノイズの上昇がおき、Belle II 実験での使用が不可能である程度まで HAPD の精度が悪化することが分かった。ブレイクダウンは、はじめは高い Bias 電圧で発生するが、ガンマ線照射を続けることで徐々に発生する Bias 電圧が低下していき、現行品では累積線量が 1000Gy に達する前に Belle II 実験で印加予定の Bias 電圧以下まで低下する。照射後の電流測定によってブレイクダウンは照射終了後時間経過で回復することが分かったが、現行品では回復効果も十分でなく Belle II 実験で印加予定の Bias 電圧までの回復は見られなかった。そこで浜松ホトニクスと議論を行い複数の APD 構造や表面膜等を変更したサンプルを作成し試験した結果、ブレイクダウンは、APD 最表面にアルカリ保護膜があるときに発生することが分かった。そのため、アルカリ耐性を保ちつつブレイクダウンの発生を抑えるため、新たなアルカリ耐性膜 (アルカリコーティング) を導入したところ、ブレイクダウンの発生を抑制することができた。また、アルカリコーティングとアルカリ保護膜の相違点から、ブレイクダウンの程度は膜の厚さによる影響を受ける可能性が示された。今後は膜厚とブレイクダウンの関係を求める為の照射試験を行い、最表面膜とブレイクダウンの関係を解明することができれば、ガンマ線耐性を持った HAPD を作成することができる。この HAPD を用いることで Belle II 実験において 0.5~4GeV/c の運動量領域での K/ π 識別が可能になる。