 <b>MLF Experimental Report</b>	提出日 Date of Report 2013年2月28日
課題番号 Project No. 2012A0154 実験課題名 Title of experiment BL10 における Belle II 実験エンドキャップ粒子識別装置用光センサ(HAPD) の中性子耐性の研究 実験責任者名 Name of principal investigator 角野 秀一 所属 Affiliation 首都大学東京大学院理工学研究科	装置責任者 Name of responsible person 及川 健一 装置名 Name of Instrument/(BL No.) BL10 実施日 Date of Experiment 2012年6月29日～2012年7月2日

試料、実験方法、利用の結果得られた主なデータ、考察、結論等を、記述して下さい。(適宜、図表添付のこと)  
 Please report your samples, experimental method and results, discussion and conclusions. Please add figures and tables for better explanation.

1. 試料 Name of sample(s) and chemical formula, or compositions including physical form.
Hybrid Avalanche Photo Detector(HAPD) 4台 (1台あたり AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 103.6g, SiO <sub>2</sub> 39.6g, Fe 16.3g, Ni 8.6g, In 5.9g, Co 4.8g, Si 4.1g, Sn 3.9g, 73mm x 73mm x 34mm 角型、固体)  ELMA diode 8個(1個あたり Si 0.03g, SiO <sub>2</sub> 0.01g, Al <sub>0.005</sub> g, 5mm x 5mm x 1mm 角型、固体)

2. 実験方法及び結果 (実験がうまくいかなかった場合、その理由を記述してください。)
Experimental method and results. If you failed to conduct experiment as planned, please describe reasons.
<p>KEK で2015年より開始を予定している次世代Bファクトリ実験(Belle II 実験)では、ビームルミノシティの増加に起因して増加する中性子による実験機器の損傷が懸念される。エンドキャップ部 K/π 粒子識別装置では10年間の実験期間で1MeVの中性子に換算して1平方センチメートルあたり10<sup>12</sup>個の中性子が飛来すると予想されている。本課題実験ではそのK/π 識別装置の光検出器として開発を行なっているHybrid Avalanche Photo Detector (HAPD)の中性子耐性を調べる。</p> <p>本課題実験では、BelleII実験で使用する予定の最終仕様のHAPDについて中性子耐性をしらべた。また最終仕様のものと比較してわずかに仕様の異なる3種類の HAPD について中性子耐性をしらべることで、HAPD の中性子耐性について定性的な理解を行った。BL10ビームライン上に、最終仕様の HAPD を先頭として計4台の HAPD を中性子ビームが貫くように一列に配置した。また積算中性子線量を測定するためのELMAダイオードを各 HAPD の前面にとりつけ、各 HAPD における積算中性子線量を測定した。先頭の HAPD に対して1MeV 換算での中性子数として1平方センチメートルあたり1×10<sup>12</sup>個(MLF 中性子ターゲットへの陽子数で約1×10<sup>20</sup>個)の中性子照射を行い、その前後で HAPD の性能評価を行うことで中性子損傷に伴う性能の変化を見積もった。</p>

## 2. 実験方法及び結果(つづき) Experimental method and results (continued)

6月29日17時13分26秒にシャッターを開いて中性子照射を開始し、7月1日23時37分45秒にシャッターを閉じて中性子照射を終了した。中性子ターゲットへの陽子数は $1.0349 \times 10^{20}$ 個であり、また後日ELMAダイオードに照射された中性子線量を調べた結果、先頭HAPD前面において1MeV換算の中性子数は1平方cmあたり $0.86 \times 10^{12}$ 個であった。

図1に先頭のHAPDに光子を入射した時の出力波高分布を示す。黒の線は中性子照射前の分布、赤の線は中性子照射後10日経った時点での分布を示す。(右上にはめ込みの図は赤の線に対応する信号波形を示す。赤の分布は波形の最大値をヒストグラム化したものである。) 黒および赤の分布ともに、ADC値が0付近のピークは、光子がHAPDに入射しなかった時の波高であり、その幅はノイズに起因する。赤の分布は、黒の分布と比較してADC値0付近のピークの幅が広がっており、ノイズが増加していることが分かる。このノイズの増加は、リーク電流とHAPDに印加するバイアス電圧の依存性を調べた結果、APD(Avalanche Photo Diode, HAPDの一部)のバルク部での格子欠陥に伴うショットノイズの増加として考察される。黒および赤の分布のADC値が0より大きい所に現れる複数のピークはそれぞれ左から1光子、2光子、3光子がHAPDに入射した時の波高である。これらのピークのADC値が大きいことは、信号ゲインが大きいことを示す。黒と赤の線を比較すると赤の線では信号ゲインが低下していることが分かる。これは、リーク電流の増加によってAPD内で実効的に印加されているバイアス電圧が低下していることによる。中性子照射後10日経過したサンプル(赤の線)に対してS/Nを計算すると、8程度になり、Belle II実験で要求される性能(S/N 7以上)を満たす事が分かった。

図2に中性子照射後10日経った時点での4台のHAPDに対するリーク電流の測定結果を示す。KA058, KA060, およびKA062は、APD表面部の仕様がわずかに異なるが、バルク部の構造は同一である。これら3つのHAPDは、中性子照射線量とリーク電流の増加量が比例しており、中性子損傷はAPD表面の仕様の違いには依らないことが分かる。KA063は他のHAPDと比較してAPDバルク部に近い部分の仕様が異なっており、中性子はバルク部またはバルク部に近い部分に影響を与える事が推測される。

上記より、Belle II実験で用いるHAPDは、10年間の実験で予想される中性子量に対して、その性能低下が許容範囲内であることが分かった。また、複数の仕様の異なるHAPDの比較を行うことで、中性子がHAPDに与える影響について定性的な理解が得られた。

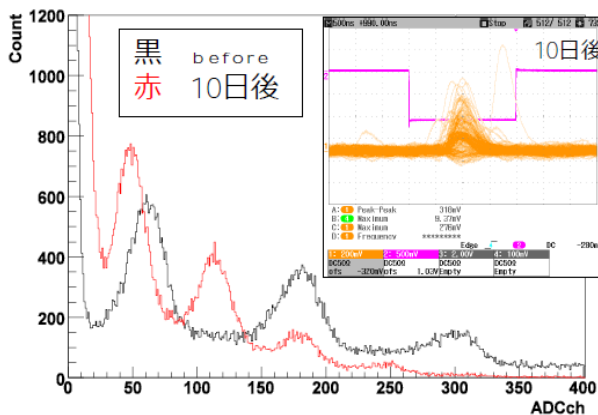


図1: KA058 に光子を入射したときの波高分布

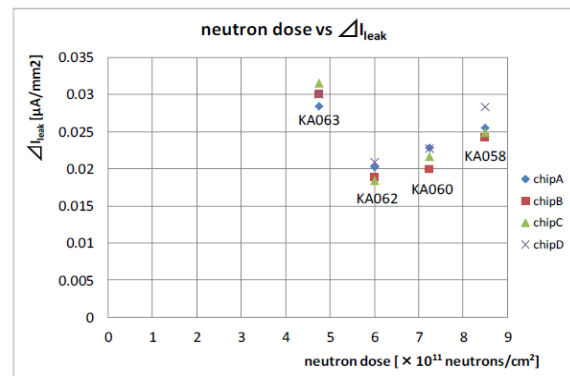


図2: 4台のHAPDに対するリーク電流増加量