

2019 (令和元) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：次世代暗黒物質探索実験の検出器構造研究
英文：Detector structure study for future direct dark matter search experiment

研究代表者 安部 航
参加研究者

研究成果概要

低RI光電子増倍管開発において、昨年度までに見つかり大きな問題となっていたキセノンリークの問題について研究を行い、アルミシール部の表面状態がキセノンリークの原因となっていることをつきとめた。

低RI光電子増倍管として開発を行った R13111 について、キセノン中で冷却試験を行うことで、キセノンが光電子増倍管内部にリークすることが確認されていた。リークしたキセノンはアフターパルスの原因となり、大きなノイズ源となることが問題となる。さらにこのリークの発生した光電子増倍管の大部分は、キセノン中での冷却サイクルを繰り返すことでリーク量が増加することが確認された。リーク量が増加した光電子増倍管は最終的に電圧をかけることができなくなり、使用不能となってしまった。

キセノンリークについては、やはりキセノンを用いる暗黒物質探索実験のLUX、XENON1t、PandaXで使用されている光電子増倍管 R11410 でも同様のものが報告されている。R13111 と R11410 は同じキセノン用の低RI光電子増倍管で、共通な構造が非常に多いため、原因は共通と想定される。XMASS-I実験で使用され、R13111開発のベースとなった R10789 ではキセノンリークは確認されていないため、原因は R10789 からの変更点の原因と考え、R13111、R11410、R10789 それぞれの構造の比較を行うことで、石英窓と金属胴体部とをつなぐアルミシール部分を原因として絞り込んだ。R10789 では 98.5% の純度のアルミが用いられているが、R13111 と R11410 ではこれが変更され5Nのアルミが用いられている。

この仮定の確認のために、純度を4Nにしたアルミシールを用いた光電子増倍管と、5Nのアルミシールだがリークの原因と考えられる表面の傷ができるだけなくすよう、組み立ての工程のみなおしを行った光電子増倍管の2種類を用意、試験チェンバーを用いてリーク試験を行った。リーク試験ではアフターパルスを測定することでリークを確認した。

4Nアルミシールについては 23本、5N表面改善アルミシールについては 28本について試験を行った。R13111 での試験用光電子増倍管の用意は難しかったため R11410 を用いて試験用増倍管を用意した。結果は 4Nについて 1本リークが見つかり、5N表面改善についてはリークは 0本だった。

過去に行ってきたリーク試験のデータについて再確認を行い、リークに 2種類あることも判明した、一つはリーク量が冷却サイクルと共に増加するタイプのもので、リーク量は大きい。もう一つのタイプはリーク量が冷却サイクルで変化しないもので、こちらのリーク量は非常に小さい小さなリークであれば、ノイズにはなるが、アフターパルスが発生する確率も 0.1% 以下と少なく、リーク量も増加しないため深刻な問題とはならない。4N 23本中で 1本見つかったリークはこの小さなリークであり、問題となる大きなリークについては、4N 5N改善品とも確認されなかった。

結果として、大きなリークが発生する確率としては

4N <10% (90% CL)

5N 改善品 <8% (90% CL)

R11410 の 5N通常品 $16 \pm 6\%$ (JINST 12 P01024 (2017) XENON1T PMT paper) や、R13111 のおよそ 30% のリーク確率と比較して有意な改善が確認できた。
高純度なものと交換したアルミシール部品がリークの原因であり、対策として純度を低くするか、5Nのままでも表面状態を改善させることでリークの問題を改善することができるという結果を得ることができた。

整理番号 B03