

研究課題名 新規開発シンチレータの高感度な中性子検出器への応用

研究代表者名
広島大学・理学研究科・高橋弘充

研究分担者名
なし

1. はじめに

我々（広島大学と東北大学の吉川研究室、株式会社トクヤマからなる研究チーム）は、これまでに中性子に感度の高いシンチレータ結晶 LiCaAlF_6 (LiCAF)を開発してきており、本課題ではこの LiCAF を実際の検出器として応用できるように研究を進めている。

世界中において、これまでは中性子検出器としてヘリウム3ガスを利用した検出器が主流であったが、最大の供給源であった米国がヘリウム3の生産を中止したことにより今後数年でヘリウム3の枯渇が予想されており、ヘリウム3ガスに代わる物質を利用した中性子検出器の開発に注目が集まっている。こうした中、我々は熱中性子と核捕獲反応を起こす反応断面積が大きいリチウム6を含んだ LiCAF 結晶シンチレータの開発に成功した。 LiCAF は固体であることからガスに比べて密度が高いため、コンパクトでありながら高感度な検出器を作ることができる。また潮解性もなく安定した素材である。 LiCAF だけでは中性子だけでなく荷電粒子や X 線・ガンマ線にも反応するが、周囲を BGO シンチレータで覆うフォスウィッチ構造とすることで、中性子のみを精度よく検出することもできる。

こうした LiCAF の特色を活かし、我々は中性子を高感度で計測できる検出器の開発を進めている。この検出器は一般向けには中性子にも感度がある線量計になるとともに、宇宙 X 線・ガンマ線検出器にとっては中性子バックグラウンドを計測する装置ともなる。

2. 研究経過

本研究の目的は以下の2点である。(1) LiCAF と BGO シンチレータを組み合わせたフォスウィッチ検出器を製作し、高感度な中性子計測を行えるようにすること、(2) 宇宙からの硬 X 線を検出しその偏光を観測する PoGOLite 気球実験（2013年夏にスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場から放球予定）に、開発した検出器を搭載して北極圏の上空での大気中性子のフラックスをリアルタイムで精度よく計測できることを実証すること、である。

今年度は(1)のため、5mm厚の LiCAF の上下を 5cm厚の BGO 2個で覆い、そのシンチレーション光を1本の光電子増倍管で読み出すフォスウィッチ検出器を2台製作した。またシンチレーション光の減衰時定数に応じて波形弁別を行える読み出し回路も作成した。さらに(2)の前段階として、(1)で製作した2台の検出器を搭載した PoGOLino 気球実験を Esrange 気球実験場から放球し、スウェーデン上空での大気中性子のフラックスを実測した。

3. 研究成果

製作した2台のフォスウィッチ検出器は、中性子線源の ^{252}Cf とガンマ線源の ^{137}Cs 、 ^{60}Co を照射することで、地上で較正実験を実施した。この結果、 LiCAF と BGO のシンチレーション光の減衰時定数の違いを精度よく弁別することでできており、 LiCAF のみが反応した中性子によるイベントと、BGO も反応したガンマ線のイベントを分離して計測できていることが確認された。さらに2台のうち1台は中性子を熱化させる 10cm厚のポリエチレン内部に入れることで、2台の反応の違いから照射した中性子のエネルギースペクトルも大まかに判別できることも実証した。

このフォスウィッチ検出器2台を搭載した PoGOLino 気球実験は、2013年3月20日に Esrange 実験場から無事に放球することに成功した。想定通りに上空 30km まで到達し、1日のフライトの間に地上から上空までの大気中性子の計測に成功している（詳細なデータ解析は現在進行中である）。

4. まとめ

LiCAF と BGO を組み合わせたフォスウィッチ検出器について、地上での較正実験と PoGOLino 気球実験による上空での大気中性子の実測により、荷電粒子やガンマ線のフラックスが高い環境下において中性子を高感度で計測できることを実証した。今後はシンチレータ自身の性能の向上、フォスウィッチ構成にするシンチレータの組み合わせ、検出器の読み出し装置を改良することで、よりコンパクトで高精度な中性子検出器の実現を目指す。また 2013年夏には PoGOLite 気球実験を実施し、スウェーデン上空だけでなく北極圏の広い範囲における大気中性子を計測する計画である。

研究課題名 金合金薄膜の欠陥構造と多孔質化への影響について

研究代表者名
東北学院大学・工学部・中谷聡子

研究分担者名
東北大学・金属材料研究所・金属ガラス総合研究センター・村上義弘、成田一生

1. はじめに

多孔質金属は孔のサイズがナノサイズになると活発な表面酸化反応など、バルク状の時とは異なる性質を持つようになる。このような金属多孔質材料は脱合金法と呼ばれる電圧印加などが不要な、自発的な化学反応を利用した省エネルギーで簡単な手法により作製できることが Ding らにより報告されている[1]。そしてこのような自発的な化学反応を利用した多孔質の孔のサイズは、脱合金中の温度の調整と、脱合金する時間の長さによって、銀原子の脱離と金原子の表面拡散運動を調節することにより調整が可能であることが Qian らによって報告されている[2]。特に孔の成長については金の拡散運動が大きな因子となっているために、孔の形成メカニズムを解明する上で、金の拡散運動の詳細について理解することは重要である。また Seker らの報告では、外部応力や他種原子の挿入による内部応力の印加により歪みを与えることで、孔サイズの成長が抑制されることが報告されている[3]。よって本研究は、歪みに対する孔形成のメカニズムに焦点を当てるために、加熱による歪み緩和を利用して、欠陥密度の孔サイズへの影響について調査した。

2. 研究経過

用いた金合金は薄膜状で、欠陥を多く含む箔打ち法により作製されたものである。この薄膜を用いて脱合金法により純粋な金で構成された金多孔質を作製した。さらに薄膜が多孔質化した後に加熱処理を調整することで欠陥サイトの緩和を調整し、その孔サイズに影響があるかを調べた。具体的には、欠陥を緩和する為に試料を熱処理炉にて大気中で 100°C から 600°C にて 1~10 時間の加熱処理を行った。その後、多孔質の構造解析を共同利用の X 線解析装置 (XRD) を用いて行うことで多孔質薄膜内の歪みを確認した。また走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて、多孔質材料の孔の形状とサイズの違いについての確認を行うことで、孔のサイズ成長率を示す粗大化エネルギーを求めた。

3. 研究成果

XRD の結果から、どの温度の加熱であっても加熱により薄膜中の構造の規則化が確認された。また今回加熱した温度範囲では温度の違いによる格子歪みに対する依存性は少なく、加熱時間が長いほど歪みは緩和されていた。孔サイズの成長については 300°C を境に顕著に違いが現れた。図 1 はそれぞれ 300°C と 400°C にて 1 時間ずつ加熱した試料の形状を観察した SEM 像を示している。白く見えているところは金のリガメントで、黒く見えているところは孔もしくは基板である。温度の違いについて調べた結果から 300°C 以下では多孔質形状を保つ事ができているが、400°C 以上では金が熱拡散運動により金のリガメントが粒子化してしまうことが確認できた。そこで 300°C 以下の多孔質形状を保っている試料を 4 時間まで加熱し、孔の成長率から孔の粗大化エネルギーを求めた。その結果、粗大化エネルギーは大気中で 28 kJ/mol であった。

4. まとめ

以上の結果より、300°C 以下の加熱処理により多孔質形状を保ったまま、歪みの緩和を行うことで欠陥密度を減少できることが確認できた。さらに、粗大化エネルギーを求めることもできた。今後は元々の薄膜内の欠陥密度を調整した上で、多孔質化した際の孔成長率等を確認したいと考えている。

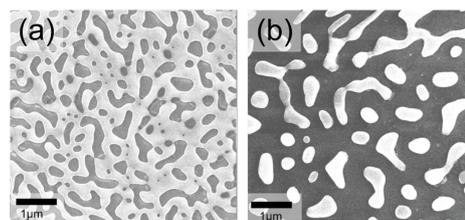


図 1. 大気中で 1 時間加熱した試料の形状。(a) 300°C、(b) 400°C。

- [1] Y. Ding, et al., *Adv. Mater.* 16 (2004) 1897-1900.
 [2] L.H. Qian, et al., *Appl. Phys. Lett.* 91 (2007) 083105.
 [3] E. Seker, et al., *Materials* 2 (2009) 2188-2215.