

カーボンナノチューブ分散材料の量子ビーム 照射による電気抵抗の変化

Electrical resistance change of carbon nanotube materials irradiated with quantum beam.

*青木 祐介¹, 小林 知洋², 大竹 淑恵², 寺井 隆幸¹

¹東京大学, ²理化学研究所

小型中性子線量計の開発を目的とし、量子ビーム照射中におけるカーボンナノチューブ (CNT) 分散材料の導電率を測定した。炭化ホウ素 (B₄C) とシリコン粘土に単層 CNT を混練した複合材 (CNT-B₄C パテ) へ中性子照射を行い、B(n, α)Li 反応による損傷から生じる導電率の変化を計測した。また、CNT 積層膜に He イオン照射を行うことにより、挙動の比較を行った。

キーワード：中性子、イオン照射、カーボンナノチューブ

1. 緒言

社会インフラ健全性検査、がん治療など、中性子の様々な分野での利用が期待されている。中性子の利用を拡大していくためには、利用者の安全のために、より高性能（小型軽量、リアルタイム性など）の中性子線量計が望まれている。本研究では、中性子線量計になりうる材料の開発のために、カーボンナノチューブ分散材料に対し、中性子照射や He イオン照射を行い、照射による材料の電気抵抗の変化を測定した。

2. 中性子照射

中性子遮蔽材に用いられている B₄C を 60% 含むシリコン粘土（絶縁性）に、ごく微量の CNT を混練 (0.03wt%) し、導電性のパテを作製した。これに対し理化学研究所の加速器中性子源 RANS を利用して中性子照射を行った。中性子束は 10⁸ 個/cm²/sec のオーダーと見積もられる。途中、中性子束を変化させたところ、抵抗率変化の挙動が観測された。照射終了時の中性子フルエンスはおよそ 10¹² cm⁻² である。照射開始後に低下傾向にあった CNT-B₄C パテの電気抵抗率がビーム電流に応じて傾きが変わり、さらに照射を停止した際に抵抗率は一定、もしくは微増する傾向を示した。

3. He イオン照射

B が中性子を吸収した際に、α粒子が 1.5MeV 以下で放出される。ガラス基板上に作製した厚さ 1 μm 程度の CNT 積層膜に対して、理化学研究所のペレット加速器 5SDH-2 により、1MeV の He イオン照射を行った。イオン照射量は 10¹⁰~10¹⁵ cm⁻² とし、中性子照射量に換算すると、およそ 10¹²~10¹⁷ cm⁻² となる。1MeV-He の CNT 中での飛程は 3.4 μm と見積もられ、ほとんどの He イオンは膜を貫通している。図 2 に平面方向の抵抗変化率を示す。照射により電気抵抗の上昇が測定された。

4. 考察

B₄C パテへの中性子照射では抵抗率は低下傾向を示し、さらにその傾きは中性子束に応じて変化した。B の α崩壊に伴うイオン放出の結果、シリコンの局所的な炭素化が起こり、この炭素化した領域が CNT 同士を連結し、導電パスが増加することにより抵抗率が低下したと考えられる。今回作成した CNT-B₄C パテの抵抗率は、CNT の含有量や試料を挟む電極に掛ける力によって大きく変化した。このことから、シリコンの炭素化による僅かな導電性変化が試料全体の抵抗率低下となって表れたと考えられる。また、中性子束に応じて抵抗率変化の傾きが変わったことで、10⁸ 個/cm²/sec 程度のフラックスの熱中性子に対しては、その中性子束に応じた反応を CNT-B₄C パテが示すことが期待でき、中性子フルエンスが 10⁸~10¹² cm⁻² となる領域での中性子個人線量計への応用の可能性が提示された。さらに、中性子個人線量計では γ線の弁別が課題となることが多いが、中性子照射を停止した時間帯 (γ線量: 1Sv/h 以上) での CNT-B₄C パテの抵抗率が低下傾向にないことから、B₄C パテの γ線への感度は低く、γ線の弁別が可能であると考察できる。中性子照射を停止した時間帯では抵抗率が一定もしくは上昇したが、上昇した理由は現時点では不明である。

He イオン照射では CNT 薄膜の抵抗率が上昇した。照射損傷の結果、CNT の sp² 結合が破壊され、抵抗率が上昇したと考えられる。一部の試料において抵抗が不連続に変化することがあり、フルエンスに比例した CNT の抵抗上昇に加え導電パスの急激な切断が起こることも示唆された。中性子フルエンスが 10¹²~10¹⁷ cm⁻² となる領域では He イオンによる CNT の切断により、CNT-B₄C パテの抵抗率が上昇することが考えられる。

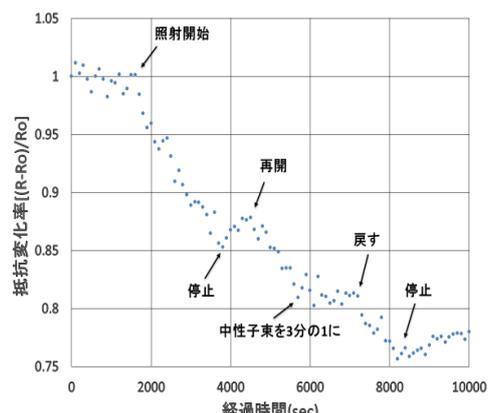


図 1. 中性子照射中の B₄C パテの抵抗率変化

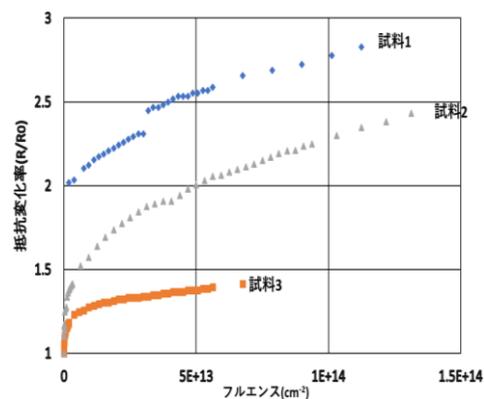


図 2. He イオン照射中の CNT 薄膜の抵抗率変化

*Yusuke Aoki¹, Tomohiro Kobayashi², Yoshie Otake², Takayuki Terai

¹The University of Tokyo, ²RIKEN