

即発 γ 線ドップラー広がり法によるホウ素含有炭素材料の分析

Analysis of boron-doped carbon materials using Doppler broadening method of prompt gamma-rays

酒井 陽一¹⁾ 高山 努¹⁾ 渡辺 裕夫¹⁾ 久保 謙哉²⁾ 松江 秀明³⁾ 瀬川麻里子³⁾

Yoichi SAKAI Tsutomu TAKAYAMA Yasuo WATANABE Kenya KUBO Hideaki MATSUE Mariko SEGAWA

¹⁾大同工業大学 ²⁾国際基督教大学 ³⁾原子力機構

ホウ素の $^{10}\text{B}(n, \gamma)^7\text{Li}$ 反応で生成する ^7Li から放出される478keV-即発 γ 線のドップラー広がり測定・解析を、ホウ素含有炭素材料の非破壊状態分析へ応用することを検討・推進した。

キーワード: ホウ素、炭素材料、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応、即発 γ 線、ドップラー広がり

1. 目的

ホウ素を微量に添加した炭素材料は様々な工業的応用が期待されており、その機能性に關連して、炭素材料中におけるホウ素の状態に興味をもたれている。本研究は、ホウ素ドーパダイヤモンドなどのホウ素含有炭素材料について、ドップラー広がり測定・解析し、ホウ素の物理的・化学的状態についての情報を非破壊的に得ることを目的とする。

2. 方法

- 1) 測定実験: JRR-3 に設置された即発 γ 線分析(PGA)装置により、ホウ素を含有する炭素材料に対して、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応で生成する ^7Li から放出される478 keV 即発 γ 線を測定した。
- 2) データ解析: ドップラー広がりをもった478 keV 即発 γ 線線形を我々の開発した最小自乗カーブフィッティング法[1]により解析を行った。この解析で導かれる主要なパラメータは減速定数 D である。 D は、高速 ^7Li の減速の時定数の逆数である。

3. 研究成果

本研究の主な研究対象であるホウ素ドーパダイヤモンドについて述べる。ホウ素ドーパダイヤモンド試料は、プラズマCVD (chemical vapor deposition) 法でケイ素基板上に薄膜形成されたものを使用した。試料サイズは $12.0 \times 12.0 \text{ mm}^2$ で、ダイヤモンド膜厚は $20 \mu\text{m}$ 、ケイ素基板の厚さは 30 mm である。ホウ素ドーパダイヤモンドについて得られたドップラー広がりスペクトルは、エネルギーシフトの正側と負側で対称であり、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応で生成した反跳 ^7Li は基本的にダイヤモンド薄膜内で減速・停止し、膜外に飛び出すものはほとんどないことを示す。スペクトルのフィッティング解析より、ダイヤモンドについての減速定数 D は $3.37 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ という値を得た。また、分析の結果、測定に用いたホウ素ドーパダイヤモンド試料中には、 $45.4 \pm 0.2 \mu\text{g}$ のホウ素が含まれていることが判明した。これより求められるダイヤモンド薄膜中のホウ素濃度は $9 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ である。

4. 結論・考察

本研究でホウ素ドーパダイヤモンドについて得られた減速定数 D 値は、ホウ素吸着活性炭などのホウ素含有炭素材料も含め、これまでに測定された単体試料や化合物の減速定数の中で最も大きい[2]。この結果は、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^{7*}\text{Li}$ 反応で生成した反跳 $^{7*}\text{Li}$ が、ダイヤモンド中では非常に強く減速されることを示しており、ホウ素が炭素原子の共有結合のネットワークに強く束縛されていることを示唆する。ただし、 D の測定値は、LSS 理論から予測される純粋なダイヤモンドについての理論値 $D_{\text{LSS}} (3.67 \times 10^{12} \text{ s}^{-1})$ よりも若干小さな値となっている。これは、ホウ素ドーパダイヤモンドではホウ素添加の結果、純粋な炭素だけのダイヤモンドと比べて、格子定数が変化したか格子欠陥が増えた可能性を示している。また、中性子照射により測定したダイヤモンド中のホウ素濃度の値は、ダイヤモンド試料の一部を削り取って測定したホウ素濃度と一致した。このように、即発ガンマ線ドップラー広がり法が、ホウ素ドーパダイヤモンドの状態分析と同時に、ホウ素濃度の非破壊測定にも有効であることが示された。

5. 引用(参照)文献等

[1]. A simple derivation of the formula of the Doppler broadened 478keV γ -ray lineshape from $^{7*}\text{Li}$ and its analytical application. Michael K. Kubo and Yoichi Sakai, *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, Vol.1, 83 (2000).

[2]. 中性子誘起即発 γ 線のドップラー広がりを利用した分析. 酒井陽一, *ぶんせき*, 19, 1 (2004).