

## 即発 $\gamma$ 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<sup>1)</sup> 高山 努<sup>1)</sup> 渡辺 裕夫<sup>1)</sup> 久保 謙哉<sup>2)</sup> 松江 秀明<sup>3)</sup> 瀬川麻里子<sup>3)</sup>

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

<sup>1)</sup>大同工業大学 <sup>2)</sup>国際基督教大学 <sup>3)</sup>原子力機構

ホウ素の $^{10}\text{B}(n, \gamma)^7\text{Li}$ 反応で生成する $^7\text{Li}$ から放出される478keV-即発 $\gamma$ 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 $\gamma$ 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、その機能性に関連して、炭素材料中におけるホウ素の状態に興味もたれている。本研究は、ホウ素ドーパダイヤモンド、ホウ素ドーパカーボンアロイ、ホウ素吸着活性炭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・化学的状态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 $\gamma$ 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 $^7\text{Li}$ から放出される478 keV 即発 $\gamma$ 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 $\gamma$ 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 $^7\text{Li}$ の減速の時定数の逆数である。

#### 3. 研究成果

今期は、ホウ素ドーパダイヤモンドについて検討した。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 $20 \mu\text{m}$ 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 $^7\text{Li}$ 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。この値は我々が測定した単体試料や化合物の減速定数の中で最も大きく[2]、ダイヤモンド中では $^7\text{Li}$ が非常に強く減速されることが明らかとなった。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

本研究の結果、数十マイクロメートルオーダーのダイヤモンド薄膜中において  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^{7*}\text{Li}$  反応で生成した反跳  $^{7*}\text{Li}$  は、基本的にダイヤモンド薄膜内で減速・停止していることが示された。この結果は、即発ガンマ線ドップラー広がり法が、通常薄膜形状で半導体利用されるホウ素ドーパダイヤモンドのホウ素状態分析に有効であることを示唆する。また、ドップラー広がり測定と同時に、ダイヤモンド中のホウ素濃度を非破壊で測定できることも示された。今後は、様々なホウ素ドーパ量のダイヤモンド試料を測定することにより、ホウ素の状態およびホウ素ドーパ量とその機能性の関連を明らかにしていく。

#### 5. 引用(参照)文献等

- [1]. A simple derivation of the formula of the Doppler broadened 478keV  $\gamma$ -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  $\gamma$  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).