

MgB₂ 超伝導線材の中性子回折によるひずみ測定

Strain measurements of MgB₂ superconducting wire by neutron diffraction

土屋 佳則¹⁾、茂筑 高士¹⁾、藤井 宏樹¹⁾、河村 幸彦¹⁾、鈴木 裕士²⁾、
町屋 修太郎³⁾、長村 光造⁴⁾

Yoshinori TSUCHIYA, Takashi MOCHIKU, Hiroki FUJII, Yukihiko KAWAMURA, Hiroshi SUZUKI,
Syutaro MACHIYA, Kozo OSAMURA

¹⁾物質・材料研究機構、²⁾日本原子力研究開発機構、³⁾大同大学、⁴⁾応用科学研究所

超伝導線材の応力-ひずみ効果の理解のため MgB₂ 超伝導線材に低温で引張応力を負荷し、中性子回折により MgB₂ 超伝導体のひずみのその場観察を実施した。本研究で線材にかかる応力と MgB₂ 超伝導物質のひずみの関係を得た。

キーワード : MgB₂ 超伝導線材、極低温引張装置、低温応力下その場中性子回折測定

1. 目的

MgB₂ は金属系超伝導物質の中で最も超伝導転移温度が高く (39K) 液体水素温度 (20K) で使用でき、軽元素で構成されるため軽量で、様々な分野で実用線材としての応用が期待される。MgB₂ は超伝導接合に粒子配向が不要であることから、種々の線材 製造方法が開発されている。Mg と B の粉末を金属管に詰め、線材加工後の熱処理によって MgB₂ を生成する in-situ 法、MgB₂ 粉末を金属管に詰めて線材加工する ex-situ 法などが用いられる。MgB₂ 線材には磁気的不安定性を克服するためのフィラメント微細化や、添加物によるピン止め導入などの試みもあり、製造方法による応力・ひずみ 効果を考察するため、線材被覆材内部の超伝導相のひずみ測定を中性子回折により実施した。本研究では残留応力測定用中性子回折装置 RESA と中性子応力測定装置 RESA-II、中性子回折用低温引張試験装置^[1]を用いて、製法がより簡便であり工業的に有利な ex-situ 法で作製した Fe シースの MgB₂ 超伝導線材に外部ひずみを加えたときの MgB₂ 変形挙動を、動作温度を想定した 20K でその場観察する。

2. 方法

・試料

天然のボロンは質量数の異なる ¹⁰B と ¹¹B から成り、このうち ¹⁰B は中性子吸収断面積が大きく、天然比のボロンを使った MgB₂ では中性子線による回折ピークはほとんど検出されない。本研究では ¹¹B を用いて MgB₂ 粉末を焼成し、ex-situ 法により Fe シースの MgB₂ 線材を作製して試料とした。作製した MgB₂ で主要な中性子回折ピークが観測できることを RESA-II で確認している。実験に用いた試料の詳細を以下に示す。

試料 : Fe シース Mg¹¹B₂ テープ線材
(4.8mm × 0.55mm × 120mm) 1 枚

Mg¹¹B₂ は Mg 粉末と ¹¹B 粉末を混合し、880°C、8 時間 Ar 雰囲気中で加熱処理して合成した。

合成した Mg¹¹B₂ 粉末を Fe 管に詰め、線引きしてテープ状にした後、真空中で 950°C 24 時間加熱処理した。

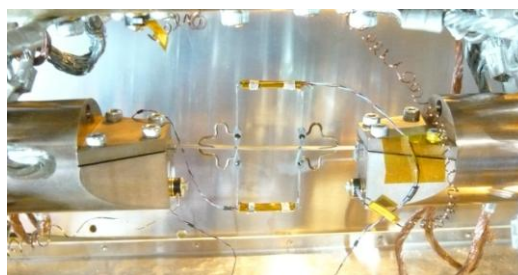


図1 試料装着状況

・ 中性子回折測定

JRR-3 の残留応力測定用中性子回折測定装置 (RESA) に極低温応力負荷装置を設置し、低温応力下で中性子回折のその場測定を実施した。線材に段階的に応力を付加してその都度 $Mg^{11}B_2$ の応力方向に対する回折ピークを測定した。図 1、2 に装置と試料装着状況を示す。測定した $Mg^{11}B_2$ 面間隔からひずみ値を算出し、負荷応力との関係を求めた。

- 波長：1.5945 Å、
- 荷重：30～390 N (破断時荷重は 550 N)、
- 温度：20 K
- 回折面： MgB_2 (110) 面 ($2\theta \sim 62.3^\circ$)



図2 極低温応力負荷装置を同架した残留応力測定用中性子回折装置 RESA

3. 研究成果

図 3 に線材軸方向に対する MgB_2 (110) 面回折ピークの負荷応力による変化を示す。回折測定で得られた面間隔から初期荷重 30N を基準として各負荷荷重でのひずみ値を算出した。

図 4 に応力と MgB_2 (110) 面のひずみ値の関係を示す。応力 60N までひずみ値は増大するが、それ以後はあまり変化しない。同時に測定した線材全体の伸びは負荷荷重全域にわたって直線的に増大しているが、60N 付近でその増加量が減少する。負荷応力 60N で MgB_2 相が降伏したか、粒子の移動が生じ、線材全体のひずみ値にも影響していると考えられる。また、線材としての MgB_2 相 100 面の回折弾性定数は約 100GPa と見積もられた。

(室温でのバルクヤング率参考値： $E=167GPa$ [2])

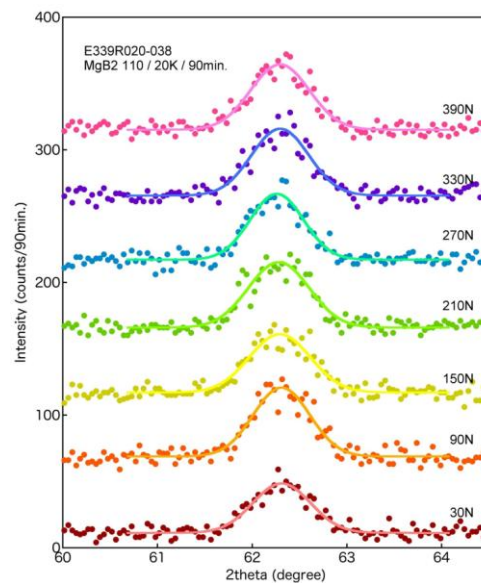


図3 MgB_2 (110) 面回折ピークの負荷荷重による変化 (温度：20K)

4. 結論・考察

MgB_2 線材の低温応力下その場中性子測定により、線材全体のひずみと MgB_2 相のひずみの関係を観測した。 MgB_2 相は負荷応力 60N まで線材全体の伸びに応じて弾性的にふるまうことが示唆された。また線材中の MgB_2 相の回折弾性定数を概算した。

5. 引用(参照)文献等

[1] Y. Tsuchiya, H. Suzuki, T. Umeno, S. Machiya and K. Osamura, Meas. Sci. and Tech., 21 (2010) 025904.
 [2] F. Cordero, R. Cantelli, G. Giunchi and S. Geresara, Phys. Rev. B. 64. (2001) 132503.

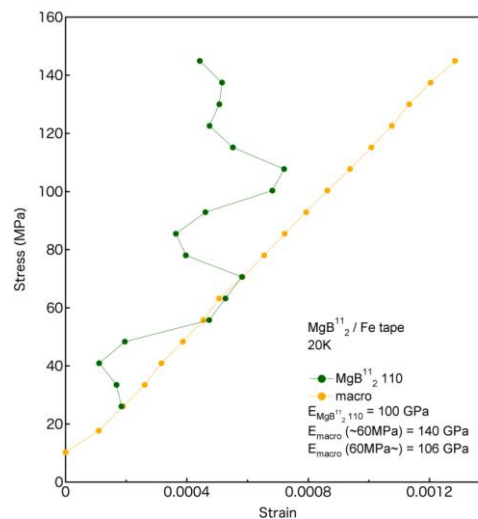


図4 応力—ひずみ線図