

# 低温工学・超電導学会 関西支部 50 周年記念によせて

大阪公立大学 大学院工学研究科

宋戸寛明

低温工学・超電導学会 関西支部 50 周年おめでとうございます。また、50 周年記念誌に拙文を寄稿する機会をいただき、関係諸士に深く感謝いたします。

2012 年、大阪府立大学(当時)に助教として赴任して2年目だった私は第11回低温工学・超伝導若手合同講演会にて信貴賞をいただきました。当時の予稿集を見返してみますと発表タイトルは「MBE 法による MgB<sub>2</sub> 薄膜の成膜」とあります。

MgB<sub>2</sub> は 2001 年に青山学院大学の秋光研究室で発見された超伝導体で高い超伝導転移温度  $T_c=39$  K を示すことで社会的にも大きな話題となりました。当時修士2年生だった私はNHKの番組で紹介された秋光研究室の映像に映った膨大な数の電気炉に目を丸くしたのを鮮明に覚えています。全力で新規超伝導体の開発に取り組んでいる研究室は違う、と思いました。その後の10年近くはMgB<sub>2</sub>の研究に携わることなく過ごしてきたのですが、大阪府立大学に着任したのを機にMgB<sub>2</sub>の成膜に取り組みはじめました。

MgB<sub>2</sub>の成膜ではMgの蒸気圧が高いために、せっかく蒸着したMgが基板上からどんどん再蒸発してしまいます。それを補うために化学量論比よりはるかに多い比率でMgを蒸着してやる必要があります。またMgとBを反応させてMgB<sub>2</sub>に化合させるには、ある程度の高温が必要です。そこで基板の温度とBに対するMgの蒸着レートを系統的に振り成膜条件の最適化を行いました。

当初の目的としては膜全体で結晶方位が揃ったエピタキシャル膜を目指していたのですが、残念ながらエピタキシャル膜は得られず、基板の研磨面に対して垂直方向にはc軸が揃っているが研磨面の並行方向には方位が揃っていない、c軸配向膜として成長していました。異方性のある結晶を成膜する場合は結晶方位により成長速度が異なるため、1軸配向膜が得られることは往々にして見られる現象です。きれいに乱れた(?)化合物膜を作るのは、それはそれで難しく感じます。

得られた膜の超伝導特性を明らかにするため電気抵抗率の温度依存性を測定しました。測定結果を図1に示します。 $T_c=33.5$  K以下でゼロ抵抗を示し、超伝導特性は良好と言えます。

以上の成膜手法、構造評価、超伝導特性評価についての講演を低温工学・超伝導若手合同講演会にて行い、大変ありがたいことに信貴賞をいただ

くことができました。

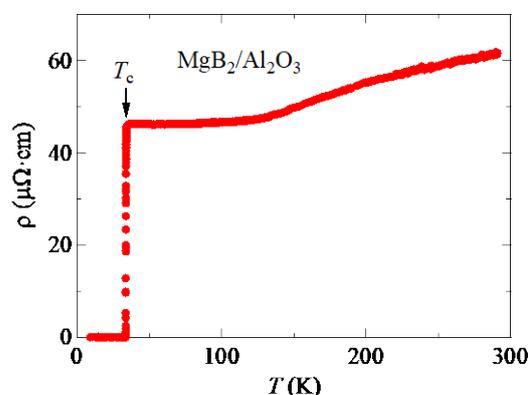


図1 c軸配向 MgB<sub>2</sub>膜の電気抵抗率

その後もどうにかMgB<sub>2</sub>のエピタキシャル膜を得られないものか思案を続けました。基板を変更してみることも試しましたが、やはりうまくいきません。その時にふと思いついたアイデアは何らかのバッファ層の上に製膜すればよいのではないかと、ということでした。

Mgの結晶構造を調べてみると大変都合が良いことにMgB<sub>2</sub>と同じ六方晶です。早速Mgだけを製膜してみると、室温できれいにエピタキシャル成長しました。これはいけそう、ということでMgエピタキシャル膜上にMgB<sub>2</sub>を製膜してみると、念願かなってMgB<sub>2</sub>エピタキシャル膜を得ることができました。図2にMgB<sub>2</sub>とMgの結晶構造と2層膜の概念図を示します。念のため再度文献を調べてみましたがMgをバッファとしてMgB<sub>2</sub>エピタキシャル膜を製膜した例は報告されていません。ごくごく単純なアイデアですが、単純すぎて見落とされていたのかもしれない。この成果は論文にまとめることができました<sup>2)</sup>。

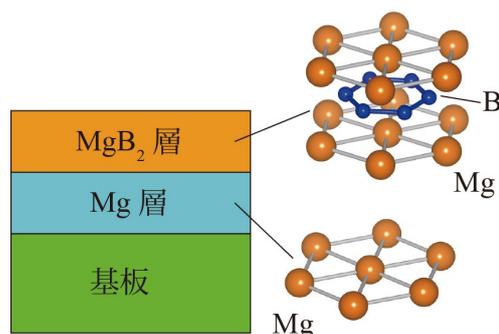


図2 MgB<sub>2</sub>とMgの結晶構造と2層膜

MgB<sub>2</sub> エピタキシャル膜の当初の応用先としては超伝導中性子検出器を想定していました。<sup>11</sup>B は中性子と高い確率で核反応を起こします。核反応に起因する超伝導電子密度の変化を検出することで中性子を検出することができます。MgB<sub>2</sub> 膜は B を含む超伝導体であり、まさにうってつけと思われました。しかしながら、微細構造を高い信頼性で作製するには高度な微細加工技術が確立されている Nb 膜が有利であり、現在では微細加工を施した Nb 膜上に中性子捕獲層として B を蒸着することで高空間分解能 2 次元超伝導中性子検出器の開発を行っています<sup>3)</sup>。すなわち超伝導を担うレイヤー(Nb)と中性子捕獲を担うレイヤー(B)を重ね合わせることで検出器を実装しています。

このように MgB<sub>2</sub> 膜そのものは中性子検出器にはなっていませんが、B 蒸着に関する知見は大いに役立っています。また、MgB<sub>2</sub> 膜のエピタキシャル成長に関するノウハウは SmB<sub>6</sub> など、ホウ化物エピタキシャル膜の作製において大いに役立ちました。新規のノウハウの開発は時間もかかり大変でしたが、その後の発展も考えると挑戦して良かったなと思えるものでした。

2012 年頃のことをいろいろ振り返ると、ヘリウムの供給がひっ迫する、いわゆるヘリウム危機が思い出されます。このときのヘリウム危機は生産設備のメンテナンスやトラブルなど一時的な理由でした。それに対し 2023 年現在のヘリウム供給のひっ迫は、需要に対して供給が追い付いていないことに原因があります。中国など新興国での需要が伸びたためです。そのため、より深刻であり長期化を強く警戒しなければいけないのかもしれない。

日本における低温測定技術は液体ヘリウムの普及と諸先輩方のご尽力によって一般化しました。もし将来ヘリウムガスが手に入らなくなれば、低温技術は再び黎明期のような“特殊な技術”になるのでしょうか？そうはなって欲しくない、と私は強く思います。日本全体でヘリウムのリサイクルをこれまで以上に推し進めることが必要でしょう。そのために低温工学・超伝導学会が重要な役目を果たすものと確信しています。

また、今日では低温機器メーカー各社の努力により高度な自動測定システムが開発され、広く販

売されています。種々の無冷媒冷凍機も数多く開発されました。特に無冷媒型の希釈冷凍機は量子コンピュータ開発に広く用いられており、その普及には目を見張るものがあります。

これらの装置を用いれば実験が自動化・省力化でき、より多くの時間を別の活動に費やせます。とても有意義なことと思います。ですが一方で、装置の中身が完全にブラックボックスで良いのだろうかとの疑念も同時に抱きます。自分が使っている装置はどのような理屈に基づいて設計されているのか、どんな原理で動いているのか、若い世代の方々にも関心を持って欲しいと思います。

私が学生の頃、低温技術を学ぶために小林俊一、大塚洋一著『低温技術』(東京大学出版会、第 2 版 1987 年)を購入しました。言わずと知れた低温技術のバイブルですが現在は絶版となっています。もしネット書店にて『低温技術』の売値を調べられましたら、おそらくあまりの高価格に驚かれることと思います。

低温工学・超伝導学会 関西支部では毎年若手研究者や初心者を対象とした低温工学基礎技術講習会が開催されています。低温工学および超伝導に関連した基礎知識を講義と実習でレクチャーするもので、学生や若手研究者、若手技術者にぜひ参加して知識と技術を深めていただきたい企画です。

今後も低温工学は基礎科学、応用物理学において重要な基礎技術の地位を占め続けるものと思います。一方でヘリウム供給不安などの厳しい状況があります。そのような環境の下で、研究・教育・啓蒙活動における低温工学・超伝導学会の果たす役割は、更に重要度を増していくものと確信しています。低温工学・超伝導学会 関西支部の今後ますますのご活躍とご発展を祈念して本稿を終えたいと思います。

## 参考文献

- 1) J. Nagamatsu *et al.*, Nature **410** (2001) 63.
- 2) H. Shishido, T. Yoshida and T. Ishida, Appl. Phys. Express **8** (2025) 113101.
- 3) T. Ishida *et al.*, J. Low Temp. Phys. **176** (2014) 216, Y. Iizawa, H. Shishido *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **32** (2019) 125009.