

X 線回折法を用いたボロンドープ超伝導ダイヤモンド薄膜の臨界膜厚評価 Evaluation of superconducting boron-doped diamond thin film critical thickness using X-ray diffraction

○柴田 将暢¹、蔭浦 泰資¹、山口 尚秀²、高野 義彦²、川原田 洋¹
(1.早稲田大学理工学部、2.物材機構)

○Masanobu Shibata¹, Taisuke Kageura¹, Takahide Yamaguchi²,
Yoshihiko Takano², Hiroshi Kawarada¹
(1.Waseda University, 2.NIMS)

E-mail:mshibata1@ruri.waseda.jp

ボロン濃度が 10^{21}cm^{-3} 以上の高濃度ドーパダイヤモンドは純粋なダイヤモンドより格子定数が 0.2-0.7% 増大し、純粋なダイヤモンドとの間の格子不整合による格子歪みが生じ、ある膜厚以上で面内応力による格子歪の緩和が生じる [1][2]。緩和開始の膜厚を臨界膜厚と呼ぶ。本研究ではマイクロ波プラズマ (MP) CVD 装置において HPHT I b(111)ダイヤモンド基板上へ合成した高濃度ボロンドープ超伝導ダイヤモンド薄膜の結晶性を X 線回折法にて評価し、臨界膜厚の格子不整合依存性を明らかにした。

ボロン濃度および正孔濃度が約 $1 \times 10^{22}\text{cm}^{-3}$ で膜厚が 450 nm 及び 1100 nm の試料の XRD での 113 反射非対称逆格子マップ(RSM)を示す(Fig.1(a),(b))。膜厚 450 nm の試料では歪み層のピークが支配的に現れ、緩和初期の面水平方向へ伸張する帯状のすそが見られる。これは臨界膜厚がこの膜厚付近に存在することを示し、これを“緩和開始”の膜厚とする。一方、膜厚 1100 nm の試料では歪み層及び緩和層の 2 個のピークが明瞭に確認できる。これは完全な結晶格子緩和を示すので、“完全緩和”とする。Fig.2 には格子伸張率から求めた格子不整合と膜厚の関係を示す。さらに、格子不整合と格子緩和開始膜厚を計算した People and Bean、Van der Merwe、Matthews and Blakeslee による 3 通りのモデルの理論曲線を示す。図中の(a)、(b)の試料は Fig.1(a)と(b)の試料にそれぞれ対応している。臨界膜厚は、逆格子マッピングにおいて緩和が確認され始める際の膜厚から推定した。本研究の結果より、ボロンドープダイヤモンド薄膜の臨界膜厚は People and Bean の理論曲線にフィットすることが明らかとなった。ダイヤモンド構造を持つ SiGe 系を基にした People and Bean のモデル[3]に高濃度ボロンドープダイヤモンドが適合することは、このモデルがダイヤモンド構造全般に成り立つことを意味している。

People and Bean の理論は、臨界膜厚前後でミスフィット転位の導入を前提としている。高濃度ボロンドープダイヤモンドにおいて、表面ラフネスが数十 nm 以上となる試料が度々確認されていたが、我々はこれがミスフィット転位の導入によるものではないかと仮定した。そこで、ミスフィット転位の導入前後による表面ラフネスの変化を原子間力顕微鏡を用いて測定した。450 nm の試料(a)の二乗平均面粗さ (RMS) は 6.0 nm、1100 nm の試料(b)の RMS は 12 nm であった。これは、前述の仮定を裏付ける結果となった。即ち、ボロン濃度が $1 \times 10^{22}\text{cm}^{-3}$ を超える高濃度領域では、臨界膜厚が数 μm 以下となるため、低濃度領域では考慮する必要の無かったミスフィット転位の導入による表面ラフネスの増大が生じる。これは、積層構造の超伝導デバイスを作製する上では臨界膜厚を議論する必要性が生じたことを意味している。

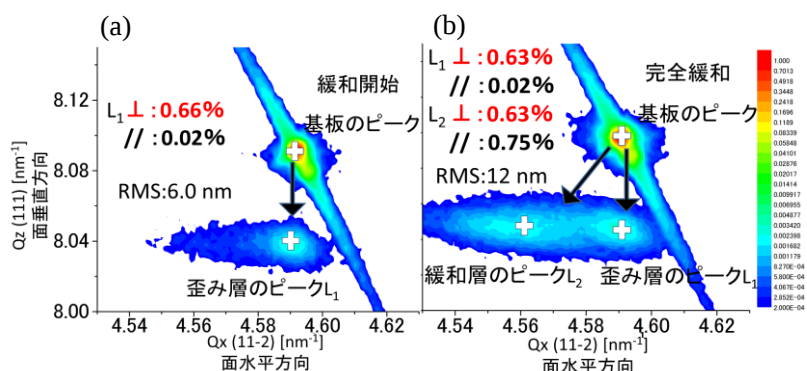


Fig.1(a) 膜厚 450nm の試料の RSM (緩和開始)
(b) 膜厚 1100nm の試料の RSM (完全緩和)

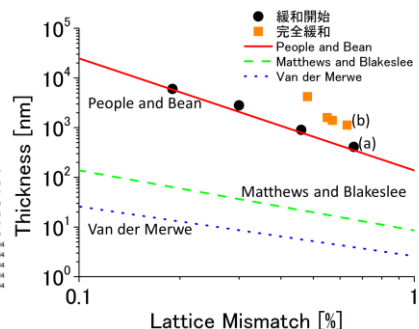


Fig.2 格子不整合(lattice mismatch)と膜厚、及び臨界膜厚の理論計算との関係

- [1] 柴田将暢、川原田洋他、2014 年度秋季第 75 回応用物理学会学術講演会予稿集
[2] S. Kitagoh, H. Kawarada et al., Physica C, 470 (2010) S610-S612.
[3] R. People and J.C. Bean, Appl.Phys.Lett 47, 322 (1985).