

AIN 上にコヒーレント成長した NbN 極薄膜の超伝導特性 Superconducting properties of NbN films coherently grown on AlN

東京大学生産技術研究所 °小林 篤, 上野 耕平, 藤岡 洋

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

°A. Kobayashi, K. Ueno, and H. Fujioka

E-mail: akoba@iis.u-tokyo.ac.jp

量子計算や量子通信分野では、量子デバイスを基幹とするハードウェア技術の開発が活況を見せている。超伝導薄膜は、絶縁体や半導体とヘテロ接合させることで多彩な量子現象が発現し、超伝導量子コンピュータ¹⁾、単一光子検出器²⁾、ホットエレクトロンボロメータ³⁾、超伝導 LED⁴⁾などへの応用が検討されている。窒化ニオブ(NbN)は極低温(~15K)で超伝導を示し、NaCl 型構造に結晶化する場合はその(111)面と窒化物半導体(0001)面の格子不整が小さくなる(AIN では-0.2%, GaN では-2.7%)。すなわち、エピタキシャル成長によって NbN と窒化物半導体の機能が融合された素子を作製できる可能性がある。実際に NbN 上に N 極性 GaN/AlGaIn-HEMT の作製が行われ、NbN の超伝導転移温度以下で負性抵抗を示す特徴的な動作が確認されている⁵⁾。しかしながら、窒化物半導体上への高品質 NbN 薄膜の作製プロセスは確立されておらず、特に極薄膜 NbN の構造特性や伝導特性に関して不明な点が多い。本研究では、高融点材料の薄膜成長に適したスパッタ法で、AIN 上に NbN 薄膜を作製し、NbN/AIN ヘテロ構造の評価を行った。

MOCVD 法または HVPE 法でサファイア上に作製した原子レベルで平坦な表面を有する Al 極性 AIN(0001)薄膜(膜厚 0.5–1 μ m)を基板とし、スパッタ法で NbN 薄膜をエピタキシャル成長させた⁶⁾。成長温度は 800°C から 1200°C の範囲とした。ヘテロ界面の結晶品質を評価するために、NbN 薄膜の膜厚は 50nm 以下とし、組成、結晶構造、超伝導転移温度の成長温度依存性を調べた。

図 1 に 850°C で作製した NbN/AIN 界面の暗視野 STEM 像を示す。急峻な界面が実現しており、格子不整を最小化するエピタキシャル関係(NbN(111)/AIN(0001), NbN[2-1-1]||AIN[-1-100])となっている。図 2 に各成長温度で作製した NbN/AIN の XRD 2 θ / ω スキャンを示す。900°C 未満および 1005°C 以上の成長温度では、NbN の 111 回折に加え Pendellösung 縞が観測されており、結晶性の高い NbN(111)薄膜が面内に均一に成長していることが分かる。この成長温度領域で作製した NbN は AIN にコヒーレントに成長していることが逆格子空間マッピングから明らかになった(図 3)。薄膜の抵抗率は成長温度に強く依存しており、コヒーレントに成長した NbN (成長温度 850°C)の超伝導転移温度は 16.0K であった。

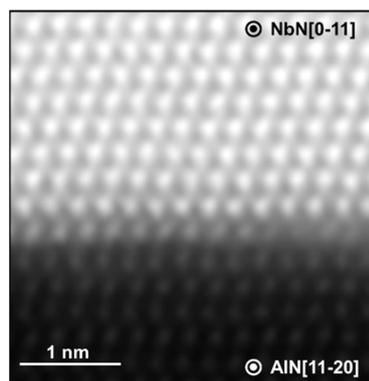


Fig. 1 STEM image of a NbN(111)/AlN(0001) interface grown at 850 °C.

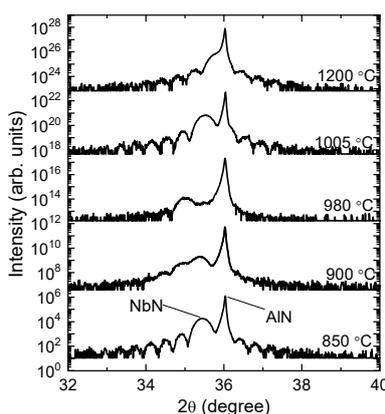


Fig. 2 2 θ / ω XRD scans for NbN/AlN heterostructures grown at various temperatures.

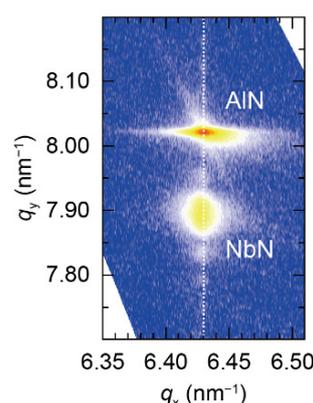


Fig. 3 An asymmetric reciprocal space map for a NbN film coherently grown on AlN.

【参考文献】 1) T. Yamashita *et al.*, Phys. Rev. Appl. **8**, 054028 (2017), 2) G. N. Gol'tsman *et al.*, Appl. Phys. Lett. **79**, 705 (2001). 3) M. Hajenius *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **17**, S224 (2004). 4) Y. Hayash *et al.*, Appl. Phys. Express **1**, 011701 (2008). 5) R. Yan *et al.*, Nature **555**, 183 (2018) 6) A. Kobayashi *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 061006 (2020).

【謝辞】本研究の一部は、科研費新学術領域研究「特異構造の結晶科学」の助成を受けた。