

AlN 原子ステップを利用した NbN ナノ構造の自己組織化

Self-organized growth of NbN nanostructures on atomically flat 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

古典コンピュータの性能を凌駕する量子情報処理や、安全性の高い通信を実現する量子通信が注目を集めており、超伝導エレクトロニクスによる量子制御技術も急速に発展している。興味深いことに、超伝導単一光子検出器に用いられる NaCl 型(δ -)NbN の(111)面は、窒化物半導体の c 面と格子整合する。高品質エピタキシャル NbN が窒化物 LED や HEMT の上に成長できれば、超伝導体と半導体を集積した新規量子デバイスが作製できる¹⁾。しかしながら、窒化物半導体上にエピタキシャル成長された NbN 薄膜の基礎特性については不明な点が多い。今回、原子レベルで平坦な AlN 上にコヒーレントに成長した NbN が周期的なナノ構造を形成することを見出したので、詳細を報告する。

MOCVD 法でサファイア上に作製した Al 極性 AlN(0001)薄膜(膜厚 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^{2,3)}。成長温度は 800°C から 1200°C の範囲とした。ヘテロ界面の結晶構造を評価するために、NbN 薄膜の膜厚は 50nm 以下とした。結晶方位解析は EBSD, XRD, HAADF-STEM でおこなった。

図 1 に、AlN 上に 850°C で成長した δ -NbN の 002 回折 ϕ スキャンを示す。 δ -NbN は(111)面に垂直な 3 回対称軸を持っているため、単結晶であれば 120° 間隔でピークが出現するはずである。しかし、この試料からは 60° 間隔でピークが検出され、NbN は 180° 回転した 2 つのドメインで構成された双晶であることがわかった。面内エピタキシャル関係は、NbN[110]||AlN[1120]と NbN[$\bar{1}$ 10]||AlN[1120]であった。NbN の EBSD 方位マップを図 2 に示す。約 130nm の間隔で面内の結晶方位が反転している様子がわかる。極点図解析から局所的に単結晶 NbN(111)が形成されていることが明らかとなり、2 つのドメインが面内で 180° 回転していることも確認された。このナノ構造の周期は、下地の AlN テンプレート表面のテラス長と一致しており、AlN のステップアンドテラス構造が NbN 双晶ナノ構造の形成に寄与していることが示唆される。当日は界面の原子配列観察結果をもとに、AlN の最表面原子配列構造と δ -NbN の積層順序の関係について議論する。

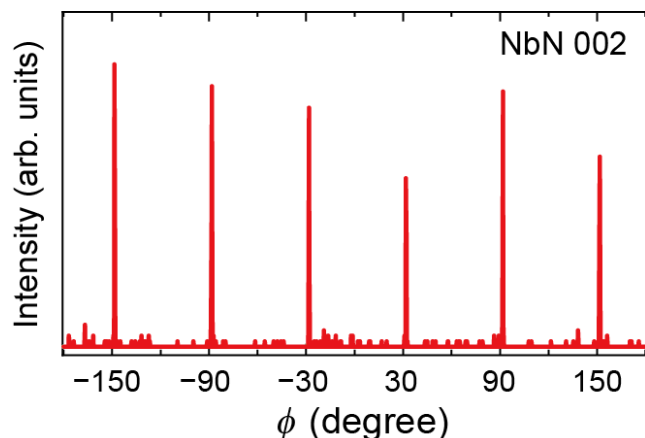


Fig. 1 XRD 002 ϕ scan of NbN grown on AlN.

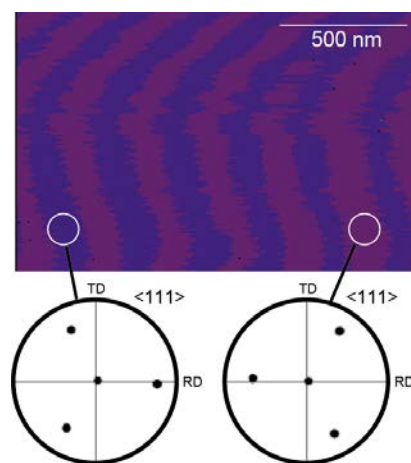


Fig. 2 EBSD orientation map for the rolling direction and the $\langle 111 \rangle$ pole figures of the selected areas.

【参考文献】 1) R. Yan *et al.*, Nature **555**, 183 (2018). 2) A. Kobayashi *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 061006 (2020). 3) A. Kobayashi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **117**, 231601 (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。