

## 論文題目要旨

学位申請者：徳田 将志

論文題目：Studies of Bi/Ni bilayer superconductor in nanoscale devices  
(ナノスケールデバイスにおける Bi/Ni 薄膜超伝導体の研究)

論文要旨：

Bi および Ni の薄膜はそれぞれ単独では超伝導を示さないにもかかわらず、MgO 基板上にエピタキシャル成長した Bi/Ni 薄膜はおよそ 4 K で超伝導を示す。その超伝導の発現機構は未だ解明されておらず、超伝導秩序変数も同定されていない。これまでの研究で、Bi/Ni 薄膜は超伝導状態でも Ni 層の強磁性が保たれているだけでなく、超伝導ギャップの異方性や時間反転対称性が破れた状態が報告されている。それらに加えて、Bi 層が強いスピン軌道相互作用を持つことから、Bi/Ni 薄膜はトポロジカル超伝導体の候補、中でもスピン三重項状態を持つカイラル  $p$  波超伝導体の候補となっている。Bi/Ni 薄膜の利点は、薄膜という形状が微細加工を用いたナノスケールのデバイス作製に適していることである。そのようなデバイスでは、電気輸送測定から超伝導秩序変数を評価することが可能である。

本研究の目的は、ナノスケールデバイスに特有の方法を用いて Bi/Ni 薄膜の超伝導秩序変数を評価することである。評価の方法として、リング状の超伝導体で観測される Little-Parks (LP) 振動に着目した。LP 振動は、超伝導体リングに磁場を印加しながら抵抗を測定すると、抵抗が磁場に対して磁束量子の周期で振動する振る舞いとして観測できる。その位相は超伝導秩序変数の内部自由度を反映するため、LP 振動の位相から超伝導秩序変数の評価が可能である。本研究では Bi/Ni 薄膜と従来型超伝導体である Nb を用いてナノスケールのリング型デバイスを作製した。両方のデバイスの LP 振動を同時に測定したところ、印加する磁場が十分小さい場合、Bi/Ni 薄膜の LP 振動は Nb と同様の位相を示した。しかし、印加する磁場を増加させると、Bi/Ni 薄膜においてのみ 8 mT を境に振動の位相が磁束量子の半分だけシフトする振る舞いを観測した。このような位相シフトの観測は前例が無く、どのような秩序変数を仮定しても、既存の理論では説明できない現象であった。そこで理論計算によって位相シフトの再現を試みたところ、Ni 層に由来する面内磁場成分と双極子型のスピン軌道相互作用、そしてカイラル  $p$  波超伝導体の秩序変数を仮定することで、LP 振動の位相シフトの再現に成功した。この結果は、Bi/Ni 薄膜が超伝導秩序変数にスピン三重項成分を持つ可能性を示すものである。

本研究で得られた成果は、Bi/Ni 薄膜の超伝導秩序変数に関する新しい情報を与えただけでなく、非従来型超伝導体の LP 振動の理論研究にも進展をもたらした。また、超伝導体を用いた量子デバイスの研究にも波及効果を与える可能性を秘めたものである。