

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	Cheng Zhang
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論 文 題 目			
Spin- and Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy Studies of Chiral Crystals NbSi ₂ and TaSi ₂			
(スピンの角度分解光電子分光によるキラル結晶NbSi ₂ およびTaSi ₂ の電子状態の研究)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	奥田 太一	
審査委員	教 授	木村 昭夫	
審査委員	教 授	鬼丸 孝博	
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は、結晶構造にキラリティを持つ無機物質 NbSi₂ および TaSi₂ の電子状態を、スピン・角度分解光電子分光法により実験的に明らかにしたものである。自然界に存在するアミノ酸のほとんどが左手系のキラリティを持つことなど、有機物質ではキラリティがその性質に大きく関わっている。一方、固体物理においてもキラル結晶構造を持つ Te が波数空間で特異なスピン構造をもつなど、キラリティが物性に与える影響について興味を持たれている。中でも、キラル構造を持つ物質に電流を流すと無偏極だった電子がスピン偏極するというキラリティ誘起スピン選択 (Chirality Induced Spin Selectivity: CISS) 効果と呼ばれる現象が、有機キラル分子などで発見され、スピントロニクスへの応用が期待されている。このような CISS の起源は、スピンに依存した電子状態が関わっていると考えられるが、有機物質は光励起により分解しやすく電子状態の直接観測手法である光電子分光測定が困難であるため、その起源は未解明のままである。</p> <p>そうした中、無機物質である NbSi₂ と TaSi₂ が CISS 効果を示すことが電子輸送実験で観測された。無機物質は有機物質に比べ安定であり、電子状態の観測が容易であることが予想されるため、著者らは光電子分光により、NbSi₂ と TaSi₂ の電子状態を明らかにすることを目的に研究を行った。</p> <p>本研究の測定に用いた NbSi₂ および TaSi₂ 単結晶は、キラリティを制御し右手系と左手系を選択的に成長させたものを大阪公立大学の戸川研究室から提供して頂いた。これらの物質はバルクキラル結晶であり劈開が困難であるため、光電子分光の測定に必要な清浄で平坦な試料表面を得ることが困難であった。そこで機械研磨とスパッタリングおよび高温アニーリングを行って表面の清浄化を行い、良質な平坦表面を得ることに成功した。この試料を用いて角度分解光電子分光を行った結果、明瞭な電子構造の観測に初めて成功し、</p>			

共同研究者によって行われた第一原理計算の結果と概ね一致することがわかった。一方、バンドの等エネルギー面を調べたところ、これまで報告されたことのない螺旋状のパターンが観測されることがわかった。この螺旋の向きは結晶のキラリティに依存することから、螺旋状のパターンは結晶構造に由来することが明らかにされた。しかし、バルクのバンド計算結果は鏡映対称となることから、この螺旋構造はバルクの電子構造では理解できない。そこで表面電子状態による二次元電子構造パターンを計算したところ、キラリティに依存した螺旋構造を定性的に再現できることがわかった。さらに軟 X 線を用いたバルク敏感な条件では螺旋構造が不鮮明となることから、螺旋パターンが表面に由来することを実験的にも裏づけた。一方、輸送測定で観測された CISS 効果をスピン分解光電子分光により捉えることを試みた。観測されるスピン偏極度は観測感度限界以下（偏極度数%未満）であり、CISS 効果によるこの系のスピン偏極が非常に小さい可能性を示す結果を得た。

以上の様に本論文ではこれまで報告例のないキララル結晶に起因する螺旋電子構造を世界で初めて観測し、その螺旋電子構造の起源が表面電子状態であることを、実験と理論の両面で明らかにした。またキラリティを光電子の螺旋パターンで区別できることの発見は、キララル構造の新しい同定方法としても活用できる可能性がある。以上の様に、本研究は博士論文として新規性が高く、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1,500 字以内とする。