



Title	固体表面上に作製した原子層超伝導体のスピン偏極電子状態
Author(s)	小林, 宇宏
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89590
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (小林 宇宏)	
論文題名	固体表面上に作製した原子層超伝導体のスピン偏極電子状態
論文内容の要旨	
<p>近年の爆発的な情報量の増加に対応すべく、磁気記録素子やエレクトロニクスデバイスの微細化が進められてきた。しかしながら、前者の目覚ましい進歩に比べ、情報の伝達に電子の電荷のみを利用するエレクトロニクスデバイスでは、微細加工による高性能化は限界を迎えつつある。エレクトロニクスデバイスに代わるものとして注目されているのが、電子の電荷の流れである電流に代わり、電子のスピンの流れであるスピン流を利用した半導体スピントロニクスデバイスである。しかしながら、スピン流を利用した情報伝達デバイスの研究が盛んに行われているものの、未だ商品化には至っていない。スピン流を用いたスピントロニクスデバイスの実現には、物質の電子バンドのスピン分裂やスピン偏極度の大きさといった、スピン状態の詳細な理解が不可欠である。固体表面に形成された原子層材料は、スピン偏極した電子状態を示すことが知られており、高性能なスピントロニクスデバイスの材料候補として期待されている。本博士論文では、Si(111)表面上にInを2層蒸着して作製したIn/Si(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)とAg(111)表面上にTlを2層蒸着して作製したTl/Ag(111)のスピン偏極電子状態について述べた。</p> <p>第1章では、本研究で対象としている原子層物質とそこで発現する固有の物理現象、および研究に用いた測定方法について述べる。最も多く研究されている原子層物質の1つであるグラフェンや、本研究では扱わなかった他の原子層超伝導体の興味深い物性について紹介した。原子層物質固有の物性に関しては、スピン軌道相互作用と空間反転対称性の破れによるラッシュバ効果について特に詳細に説明した。また、本研究で用いた測定手法の低速電子線回折とスピン分解・角度分解光電子分光の原理と特徴を説明した。</p> <p>第2章では、Si(111)表面上に形成されたIn原子層物質の電子状態について述べた。Si(111)表面上にInが2.4ML (Siの原子密度と比較して2.4倍だが厚さは2層) 吸着したIn/Si(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)は、バルクのInと同じように超伝導性を示す。過去に報告された角度分解光電子分光法による同試料の測定では、原子層物質で期待されるバンド分裂は観測されていない。そこで、より高エネルギー・波数分解能での測定が可能である光エネルギー6.994 eVのレーザーを励起光に用いた超高分解能な角度分解光電子分光測定を行った。その結果、これまで観測されなかったIn由来の電子バンドのスピン分裂の観測に成功した。また、スピン分解測定を行って、フェルミ面における電子のスピン向きを明らかにし、その一部がラッシュバ効果では全く説明ができないことを明らかにした。理論計算による検証を行ったところ、スピンの向きが軌道角運動量で決定されるという新しいモデルを提唱した。</p> <p>第3章では、Ag(111)表面上に形成されたTl原子層物質の電子状態について述べた。フリースタANDINGな2層Tlは上下の層で逆向きのスピン偏極した電子状態を形成するが、層に垂直な方向に空間反転対称性を持ち、電子バンドとしては重なってしまうことから隠れたスピン状態を有する。Ag(111)上に2層Tlを形成すると、TlとAgの弱い相互作用により、隠れたスピン偏極バンドを観測することに成功した。つまり、Agからの小さな摂動は空間反転対称性を破るが、2層Tlのバンド構造にはそれほど影響を与えない。また、この系の超伝導転移温度(T_c)を求めることに成功した。</p> <p>第4章では、In/Si(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)上に有機分子PTCDAを蒸着した際のIn薄膜の電子状態の変調について述べた。CuPcの吸着は、In層にホールをドーピングすることでT_cを上昇させることが報告されている。PTCDAはCuPcよりも電子親和力が大きいため、より多くのホールドーピングが期待できる。しかし、電子構造から推定されるホールのドーピング量は少なかった。この実験結果から、分子軌道のエネルギーレベルと基板のエネルギーレベルに基づいて電荷移動を議論することはできないと結論付けた。</p> <p>第5章では、これまでの原子層超伝導体での実験結果をまとめ、本博士論文全体の結論を述べた。またこれらの結果から、新たに生じる課題や今後の展望を示した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小林宇宏)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	坂本 一之
	副 査	教授	小野 寛太
	副 査	准教授	小西 毅
	副 査	教授	奥田 太一 (広島大学放射光科学研究センター)

論文審査の結果の要旨

固体表面に異種原子を 1 から数原子層蒸着することで作製した原子層結晶は、非磁性体であってもスピン偏極電子状態を有するなど、3次元固体にはない2次元物質特有の物理現象が発現する。しかし、原子層結晶のスピン偏極状態の起源に関してはいくつかのモデルが提唱されているものの、統一的な見解が得られていないのが現状である。また、原子層結晶が超伝導性を示す原子層超伝導体の場合、超伝導とスピンの絡み合う興味深い物理現象とそれを応用した量子デバイスの開拓が期待されるが、原子層超伝導体のスピン偏極電子状態を実験的に観測した例はない。

本学位申請論文は、固体表面上に作製した原子層超伝導体のスピン偏極電子状態に関する研究をまとめたものである。本論文における主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 約 3 K で超伝導転移することが知られているシリコン表面にインジウム原子を 2 層蒸着して作製した原子層結晶のスピン偏極電子状態を、超高分解能を有する光電子分光装置を用いて初めて観測したことを報告している。また、これまで提唱されたどのモデルでも説明できない、この原子層超伝導体の電子スピンの起源が電子の軌道角運動量であることを明らかにしている。この新しく提唱したスピン偏極電子の起源に関するモデルは、過去に報告されたスピンをも説明できるものである。
- (2) 銀表面上に作製したタリウム原子 2 層からなる原子層結晶が約 0.9 K 以下で超伝導状態となることを報告している。また、フリースタンディングの 2 層原子層結晶ではそれぞれの層に局在するスピン偏極電子が縮退して、隠れたスピン状態となるが、原子層結晶と基板間の相互作用が弱い場合、界面 1 層のみに弱い摂動が加わることで隠れたスピンの観測できることを報告している。
- (3) スピン偏極した原子層超伝導体の電子状態を制御することで、量子コンピュータの材料となるトポロジカル超伝導体が作製できる可能性がある。電子親和力が大きく、大きなホールドープが期待できる有機分子 PTCDA をインジウム原子層結晶に吸着させることで変調した電子状態を報告している。また、原子層結晶と有機分子間の電荷移動がエネルギーアライメントのみでは説明できないことを指摘している。

以上のように、本学位申請論文は固体表面上に作製した原子層超伝導体におけるスピン偏極電子状態の観測と、その起源として新たなモデルを提唱したものであり、応用物理学、特にナノサイエンス・スピントロニクスに寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。