

Title	Spin-polarized quasi-one-dimensional surface states of Bi/III-V semiconductor(110)-(2×1)
Author(s)	中村, 拓人
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/82009">https://hdl.handle.net/11094/82009</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 中村 拓人 )

論文題名

Spin-polarized quasi-one-dimensional surface states of Bi/III-V semiconductor(110)-(2×1)  
(Bi/III-V族半導体(110)-(2×1)のスピンの偏極表面電子状態)

## 論文内容の要旨

近年、Rashba効果や物質のトポロジーに起因した、スピンの偏極表面電子状態に関する研究が盛んに行われている。このようなスピンの偏極表面状態は、Rashba-Edelstein効果によるスピン流-電流変換をはじめ、スピントロニクスへの応用が期待されている。一方、より低次元である(擬)一次元系では、スピン依存した金属絶縁体転移や電子の後方散乱の強い抑制など、低次元性とスピンの偏極との協奏による多彩な電子物性が予測されている。これまでもスピンの偏極擬一次元系に関する研究は行われてきたが、それらのスピンの分裂の大きさは二・三次元系物質と比べると小さなものしか報告されておらず、新奇スピンの物性の探索や応用には、大きなスピンの分裂を実現することが必要不可欠であった。そこで本研究では、異方的表面原子構造を持つIII-V族半導体InAs及びGaSbの(110)面上に、重元素Biを吸着させることでBi/III-V族半導体(110)-(2×1)を作製し、角度分解光電子分光(ARPES)及び密度汎関数法(DFT)を用いて、その電子状態を明らかにし、巨大スピンの分裂擬一次元電子状態の実現とスピンの物性の解明を目指した。

Bi/InAs(110)-(2×1)において、放射光を用いたARPES測定により、本表面が擬一次元的な表面電子状態を示すことを明らかにした。また、スピンの分解ARPESにより、観測された表面電子状態がRashba型スピンの軌道偏極を持つことを確認した。そして、スピンの分裂幅を見積もると、従来の一次元物質と比べ約5倍にも及ぶ、非常に大きなスピンの分裂を有することがわかった。この電子状態についてバンド計算を用いた詳細な解析を行い、Bi原子の軌道混成が巨大スピンの分裂の実現に重要であることを明らかにした。

DFTと可変偏光スピンの分解ARPESによって詳細にBi/InAs(110)-(2×1)のスピンのテクスチャーを解析した結果、スピンの偏極した表面バンドにおいて、波数・エネルギーに応じてスピンの偏極方向が回転する、特異なスピンの偏極構造を持つことがわかった。また、そのスピンの偏極構造は表面原子構造を構成する2つのBi一次元鎖間で大きく異なることを見出し、低対称表面構造に由来した特異なスピンの軌道偏極構造を明らかにした。

BiGaSb(110)-(2×1)においても、スピンの偏極擬一次元半導体電子状態が実現していることを確認し、表面科学的手法によりスピンの偏極バンドの電気伝導性を制御できることを示した。

スピンの偏極電子状態に影響を与えない新たなスピンの伝導層材料として、弱い分子間相互作用によって吸着する有機分子薄膜を提案した。この実証のために、分子吸着がスピンの偏極表面電子状態へ与える影響の解明を目的に、Bi/GaSb(110)-(2×1)上に有機分子C<sub>60</sub>を吸着させ、その電子状態を観測した。その結果、分子吸着後の電子状態は、吸着前とほぼ変化のないスピンの偏極状態が観測され、相互作用の小さい有機分子層がスピンの偏極表面上に形成されたことを確認した。

本研究で得られた結果は、巨大スピンの偏極擬一次元系の基礎物性とその応用可能性を示したものであり、低次元スピンの物性のさらなる発展つなげる重要な成果である。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 中 村 拓 人 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 木村 真一
	副 査	教 授 黒木 和彦
	副 査	准教授 新見 康洋
	副 査	教 授 坂本 一之 (工学研究科)
	副 査	助 教 大坪 嘉之

## 論文審査の結果の要旨

近年、Rashba 効果や物質のトポロジーに起因した、固体表面でのスピン偏極電子状態に関する研究が盛んに行われている。このようなスピン偏極表面状態は、Rashba-Edelstein 効果によるスピン流-電流変換をはじめ、スピントロニクスへの応用が期待されている。一方、より低次元である(擬)一次元系では、スピン依存した金属絶縁体転移や電子の後方散乱の強い抑制など、低次元性とスピンの協奏による多彩な電子物性が予測されている。これまでもスピン偏極擬一次元系に関する研究は行われてきたが、それらのスピン分裂の大きさは二・三次元系物質と比べると小さなものしか報告されておらず、新奇スピン物性の探索や応用に不可欠である大きなスピン分裂は実現されていない。

そこで中村拓人氏は、異方的表面原子構造を持つ III-V 族半導体 InAs 及び GaSb の(110)面上に、重元素 Bi を吸着させることで Bi/III-V 族半導体(110)-(2×1)を作製し、角度分解光電子分光及び密度汎関数法を用いて、その電子状態を明らかにし、巨大スピン分裂擬一次元電子状態の実現とスピン物性の解明を行った。その結果、Bi/InAs(110)-(2×1)において、スピン分裂した擬一次元電子状態が実現していることを発見し、その分裂幅が従来の一次元物質と比べ約 5 倍にも及ぶことがわかった。また、詳細にスピントクスチャーを解析した結果、スピン偏極バンドにおいて、波数・エネルギーに応じてスピン偏極方向が回転する、特異な偏極構造を持つことを見出した。

中村氏は、Bi/GaSb(110)-(2×1)においてもスピン偏極擬一次元半導体電子状態が実現していることを確認し、表面科学的手法によりスピン偏極バンドの電気伝導性を制御できることを示した。そして、Bi/GaSb(110)-(2×1)に有機分子 C<sub>60</sub> を吸着させることで、スピン偏極状態に影響を与えないスピン伝導層を作製できることを明らかにした。本研究で得られた結果は、巨大スピン偏極擬一次元系の基礎物性とその応用可能性を示したものであり、低次元スピン物性のさらなる発展につながる重要な成果である。

上記のように、本博士論文の研究内容は、半導体基板上に作成した巨大スピン分裂擬一次元電子状態の実現とスピン物性を実験と計算で明らかにしたものとして高く評価できる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。