

自己評価報告書

平成23年 4月12日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2012

課題番号：20244045

研究課題名(和文) 反転対称性の破れに起因する表面ナノ構造体の
巨大スピン分裂バンド構造研究課題名(英文) Giant spin-splitting originating from the broken space inversion
symmetry of surface nano-structures

研究代表者

坂本 一之 (SAKAMOTO KAZUYUKI)

千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授

研究者番号：70261542

研究分野：表面物理学

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：低次元物性、スピン軌道相互作用、スピン分裂電子バンド、光電子分光、第一原理計算

1. 研究計画の概要

本研究は、非磁性固体表面やその上に形成した非磁性低次元ナノ構造体など、空間反転対称性の破れた系においてスピン軌道相互作用により生じるスピン偏極電子バンドに関する詳細な知見を得ることを目的としている。そのために、

- (1) Si 表面上に Tl、Pb、Bi などの重元素を 1 ML 以下吸着させて形成される一・二次元量子ナノ構造体の原子構造を明らかにし、
- (2) 新たに立ち上げた高角度分解能・高エネルギー分解能光電子分光装置とスピン・角度分解光電子分光装置を用いて実験的に得られるこれらナノ構造体のスピン偏極電子バンドの分散を
- (3) 理論計算と合わせることによって、研究代表者がこれまで Si 表面上で観測した巨大ラシュバ効果の起源や波数に依存したスピンの向きの変化の原因のみでなく、二→一次元構造による表面上でのポテンシャル勾配の異方性がスピン状態に与える影響・スピン状態に対する面内の反転対称性の破れの寄与を解明する。

2. 研究の進捗状況

(1) Si(111) 表面上に 1 原子層のタリウム (Tl) 吸着によって形成される (1x1) 構造を角度分解光電子分光とスピン・角度分解光電子分光で測定した。その結果、これまで固体物理学においてどのような二・三次元物質においても観測されたことのない不思議な電子バンド分裂を観

測した。また、このバンド分裂のところでのみ電子スピンの偏極ベクトルが表面垂直方向を向くことがわかり、ラシュバハミルトニアンに構造の周期性を加えて新たに提唱した「拡張ラシュバ効果」を理論的に考察することにより、表面の対称性が電子スピンの屹立の要因であることを明らかにした。

(2) Bi/Si(111)- β ($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$) 再構成表面を光電子分光で測定した結果、半導体表面でこれまで報告のない巨大なラシュバ効果を観測したのみでなく、ラシュバ効果の発現に不可欠であると考えられていた“時間反転対称性”のない表面ブリルアンゾーンの対称点において“特異な”ラシュバ効果が発現することと、“時間反転対称性”のある対称点においても通常は閉じているスピン構造が閉じていない“特異な”ラシュバ効果が発現することを観測した。これらの結果は、時間反転対称性はあるが空間反転対称性が破れることによって発現してきたこれまでのラシュバ効果の概念を覆すものである。

(3) 特異なラシュバ効果の起源の解明に原子構造の決定は不可欠である。Si(111) 表面に Bi を吸着させると吸着量に依存して異なる 2 つの ($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$) 再構成表面相が形成されることが知られており、構造の周期性を観測したのみではどちらの相を得ているのかがわからない。そこで、Bi の吸着量に依存した LEED の I-V 測定より、2 つの相の LEED パターンにおけるス

ポット強度の振る舞いの違いをもとめるとともに、両相の原子構造を決定した。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

当初の計画であった巨大ラッシュバ効果や、理想的なラッシュバ効果説明ができないスピンの偏極ベクトルの向きの変化が基板表面の構造対称性に起因することを研究期間の最初の3年目までにある程度明らかにすることができた。これまで得た結果は、反転対称性が破れた系における新奇物性の理解に予想以上の大きな影響を与えたと言える。

4. 今後の研究の推進方策

(1) これまでほとんど研究されてない、2回対称性、1回対称性を有する重元素吸着半導体表面のスピン分解電子状態を光電子分光測定により明らかにし、対称性とラッシュバ効果に関するより詳細な知見を得るとともに、対称性に起因する新奇ラッシュバ効果の発現を観測する。

(2) ラッシュバ効果と同様、反転対称性の破れとスピン軌道相互作用により新奇物性が発現するトポロジカル絶縁体の電子構造を測定し、非磁性体表面でのスピン偏極電子バンドに関するさらに深い知見を得る。

(3) 巨大ラッシュバ効果や新奇ラッシュバ効果が発現する系に有機分子を吸着させ、表面の波動関数の変調に対するラッシュバ効果の変化を調べ、波動関数の非対称性とラッシュバ効果に関する知見を得る。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

(1) Electronic structure of the thallium induced 2×1 reconstruction on Si(001), P.E.J. Eriksson, K. Sakamoto, and R.I.G. Uhrberg, Phys. Rev. B **81**, 205422-1-5 (2010). 査読有り

(2) Re-investigation of the Bi-Induced Si(111)-($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$) surface by low-energy electron diffraction, T. Kuzumaki, T. Shirasawa, S. Mizuno, N. Ueno, H. Tochihara, and K. Sakamoto, Surf. Sci. **604**, 1044-1048 (2010). 査読有り

(3) Peculiar Rashba Splitting Originating from the Two-Dimensional Symmetry of the Surface,

K. Sakamoto, H. Kakuta, K. Sugawara, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Kuzumaki, N. Ueno, E. Annese, J. Fujii, A. Kodama, T. Shishidou, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Sato, T. Takahashi, and T. Oguchi, Phys. Rev. Lett. **103**, 156801-1-4 (2009). 査読有り

(4) Abrupt Rotation of the Rashba spin to the direction perpendicular to the surface,

K. Sakamoto, T. Oda, A. Kimura, K. Miyamoto, M. Tsujikawa, A. Imai, N. Ueno, H. Namatame, M. Taniguchi, P.E.J. Eriksson, and R.I.G. Uhrberg, Phys. Rev. Lett. **102**, 096805-1-4 (2009). 査読有り

(5) Electronic structure of the Si(110)-(16×2) surface: High-resolution ARPES and STM investigation,

K. Sakamoto, M. Setvin, K. Mawatari, P.E.J. Eriksson, K. Miki, and R.I.G. Uhrberg, Phys. Rev. B **79**, 045304-1-6 (2009). 査読有り

[学会発表] (計14件)

(1) 坂本一之、対称性に起因する特異な Rashba効果、平成22年度日本表面科学会放射光表面科学部会シンポジウム、2010年12月10日、東工大

(2) Kazuyuki Sakamoto, Peculiar Rashba spins on heavy elements adsorbed silicon surfaces, 18th International Vacuum Congress, 2010年8月25日, Beijing, China

(3) Kazuyuki Sakamoto, Peculiar Rashba spins caused by the two-dimensional symmetry of the surface, The 14th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, 2010年3月5日, 広島大学

(4) Kazuyuki Sakamoto, Abrupt rotation of the Rashba spin, The 26th European Conference on Surface Science, 2009年9月3日, Parma, Italy

(5) 小田竜樹、Tl/Si(111)- 1×1 表面電子構造とC3対称性スピン分裂、日本物理学会第64回年次大会、2009年3月30日、立教学院池袋キャンパス