

【基盤研究(S)】

総合・新領域系（複合新領域）



研究課題名 高輝度・高強度陽電子ビーム回折法の開発と 表面研究への応用

高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別教授 ひょうどうとしお
兵頭 俊夫

研究分野：複合新領域

キーワード：電子・陽電子、量子ビーム測定手法

【研究の背景・目的】

低速電子回折(LEED)および反射高速電子回折(RHEED)は物質表面の原子配置を観測するための重要な方法として使われている。本研究では、電子をその反粒子である陽電子に置き換えた低速陽電子回折(LEPD, low-energy positron diffraction)および反射高速陽電子回折(RHEPD, reflection high-energy positron diffraction)の実用的装置を開発し、固体表面の研究に応用する。陽電子には、(1)電子との間に交換相互作用が存在しないため、理論的扱いが単純である、(2)非弾性散乱断面積が電子より大きく、また結晶ポテンシャルが正であるため、表面感度が高い、(3)原子核から反発を受けるので、散乱因子がX線のようになめらかである、等の特徴がある。このため陽電子回折は、重元素が重要な役割を果たしているトポロジカル絶縁体表面、巨大ラッシュバ表面などの構造解析を高信頼度で行うことができる。本研究では発展的課題として、表面原子位置の直接決定による表面構造解析手法も開発する。

【研究の方法】

陽電子は日常の自然界には存在しない反粒子なので、高輝度・高強度のビームを得ることが難しいという課題がある。本研究では、KEK 物質構造科学研究所の高強度低速陽電子ビームを高輝度化して利用する。完成した装置で、電子回折法では困難とされるトポロジカル絶縁体などの表面構造解析を行う。また、巨大ラッシュバ効果を発現する表面合金の重元素の原子配置を、原子の垂直位置とスピン分裂の関係に注目しつつ解明する。また、やはり最表面の原子変位が重要な役割を果たすパイエルズ転移に伴う電荷密度波形成・金属絶縁体転移のメカニズムの解明を行う。表面原子配置の直接決定は、さまざまな入射条件で RHEPD パターンを測定してパターン関数で解析する方法と、エネルギーを変えながら LEED パターンを測定し逆変換で原子像を求める陽電子ホログラフィ法を試みる。

【期待される成果と意義】

トポロジカル絶縁体表面や巨大ラッシュバ表面は、スピントロニクス、省エネルギー素子、量子コンピュータなどの次世代エレクトロニクスへの応用が大いに期待されている。これらの表面の電子状態の研究は角度分解光電子分光などで広く行われているが、詳細な表面原子配置の研究報告はほとんどない。本

研究では、結晶表面の電子状態のデータを陽電子回折法で決定した表面原子配置と関連づけ、エネルギー・バンドのスピン分裂や新しい機能の発現機構を原子配置によって説明する。それはスピン分裂幅の操作(スピンマニピュレーション)の開発にとっても重要である。また、パターン関数法と陽電子ホログラフィ法による最表面原子構造決定は、構造モデルを仮定したフィッティング法にたよらないため、全く未知の表面構造の簡便かつ信頼性の高い画期的な直接的決定を可能にする。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] I. Mochizuki, et al., Atomic configuration and phase transition of Pt-induced nanowires on a Ge(001) surface studied using scanning tunneling microscopy, reflection high-energy positron diffraction, and angle-resolved photoemission spectroscopy, Phys. Rev. B 85, 245438-1-6 (2012).
- [2] Y. Fukaya, et al., Atomic structure of two-dimensional binary surface alloy: Si(111)- $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$ superstructure" Surf. Sci. 606, 919-923 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度－28 年度
165,700 千円

【ホームページ等】

<http://pfwww.kek.jp/slowpos/>