

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03476

研究課題名(和文) 低速陽電子回折によるトポロジカル近藤絶縁体表面の原子配列の可視化

研究課題名(英文) Visualization of atomic arrangement on the surface of topological Kondo insulators by low-energy positron diffraction

研究代表者

和田 健 (Wada, Ken)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授

研究者番号：10401209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：低速電子回折の陽電子版の低速陽電子回折は、重元素を含む表面でも問題の無い理想的な結晶表面構造解析手法として提案されてきたが、反粒子を用いる手法のため十分なビーム強度を得ることが困難である。我々は、加速器による高強度低速陽電子ビームを用いた低速陽電子回折装置を開発し、回折パターンの観測に成功した。当初用いていた2層の遅延線アノードによる検出器には、十字状の広い不感領域があったが、3層の遅延線アノードからなる検出器を用いた装置を新たに開発し、この十字型の不感領域の無い回折パターンの観測を可能にした。また、LEPD用の表面構造解析コードを整備し、LEPDによる表面構造解析が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代電子デバイスや先進触媒材料の研究分野において、物質の表面に発現する物理現象の研究は益々その重要度を増している。物質表面の特異な電子状態の観測やその他の機能計測と共に、それら物理現象の発現の源となる原子位置座標に関する研究は重要である。本研究成果によって、理想的な表面構造解析手法として提言されてきた低速陽電子回折法による表面原子位置座標の構造解析手法の整備が進んだことで、同手法による今後の応用研究の進展が期待できるようになった。

研究成果の概要(英文)：Low-energy positron diffraction is a positron version of low-energy electron diffraction, and it has been proposed as an ideal method for analyzing crystal surface structures, even on surfaces containing heavy elements. However, it is difficult to obtain sufficient beam intensity for diffraction experiments due to the use of antiparticles. We have developed a low-energy positron diffractometer using an accelerator-based high-intensity slow-positron beam and have successfully observed diffraction patterns. The initial detector with a two-layer delay-line anode had a large cross-shaped dead area. We have developed a new low-energy electron/positron diffractometer using a three-layer delay-line anode to observe the diffraction pattern without the cross-shaped dead area. In addition, a surface structure analysis code for LEPD has been developed, which enables us to analyze the surface structure by LEPD.

研究分野：陽電子科学

キーワード：低速陽電子ビーム 低速陽電子回折 低速電子回折 表面

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

結晶表面では結晶内部(バルク)とは異なる原子配列となり、様々な特異な現象が発現することが知られている。重元素を含む物質表面では、特に最近様々な興味深い現象が発見されており、その学術的な重要度が高まってきている。例えば、低温で金属から半導体(絶縁体)へと転移する近藤絶縁体の表面現象がある。当初バルク由来のトポロジカル表面状態と思われていたが、実は他の表面物性の影響を受けたものではないかという議論が盛んになっている。こうした表面物性の議論のためには、その現象の源となる表面原子の配列の詳細を明かにする表面構造解析が重要である。低速電子回折(Low-energy electron diffraction, LEED)は確立された表面構造解析手法として用いられてきたが、重元素を含む表面では、複雑な多重散乱のため、その原子配列の詳細を明らかにする構造解析はしばしば困難となる。LEEDの陽電子版の低速陽電子回折(low-energy positron diffraction, LEPD)は、このような重元素を含む表面構造解析でも問題の無い理想的な表面構造解析手法として提言されてきたが、反粒子を用いる手法のため、回折実験に十分なビーム強度を得ることが困難であった。LEPDパターンの観測は、米国ブランダイズ大学のK. F. Canterらによって、アイソトープ陽電子源による静電輸送の陽電子ビームを用いて1990年代になされた。その後2000年代初頭に米国ローレンス・リバモア国立研究所で加速器によるより高強度の低速陽電子ビームを用いたLEPD装置開発が試みられたが、実験が困難でその後LEPDパターンの観測の報告はなされていない。我々は、加速器による高強度低速陽電子ビームを用いたLEPD装置開発に取り組み、回折パターンのデータ取得に至った。

2. 研究の目的

近藤絶縁体のような重元素を含む表面現象の本質を明かにするために、重元素を含む物質表面の構造解析が可能と提言されている低速陽電子回折の実験手法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

LEPD実験では、回折パターン観測のための十分なビーム強度を得ることが課題となっていた。本研究では、加速器による高強度陽電子ビームを用いた装置を開発することで回折パターンを得た。

また、試験的な観測に用いていたLEPD装置では、センターホールタイプのマイクロチャンネルプレート(MCP)と2層の遅延線アノードからなる検出器を利用していたが、その検出器には十字状の大きな不感領域があって、このままでは表面構造解析のための効率的な実験の妨げとなる。LEPDは現段階ではまだ測定に時間がかかるので、表面の汚染の影響無く測定するためにできるだけ短時間で測定を終える必要がある。例えば試料にビームを垂直入射した状態で、各回折スポット強度のビームエネルギー依存性を調べるいわゆるI-V解析を行なう場合、不感領域に存在する回折スポットの情報を得るためには、有感領域にスポットが移動するように試料を回転して再測定する必要がある、非効率である。また、LEPDでは、パターン関数の解析など、逆変換による解析手法の有効性が提案されている。そのため、できるだけ広い波数空間から回折スポットの情報を収集する必要がある。例えば、ビームを斜入射することによって00スポットの情報を他のスポットの情報と共に得る手法が検討されている。その場合、ある結晶方位に対する斜入射条件をかえずに十字状の不感領域に存在するスポットの情報を得るためには、試料を回転するのではなく、検出器を回転する必要があるが、それは実験装置の構造上非常に困難である。

これらの問題を解決するために、本研究では、この十字型の不感領域の無い回折パターンの観測が可能な、センターホールタイプのMCPと3層の遅延線アノードからなる検出器を用いた低速電子/陽電子回折装置を新たに開発した。

4. 研究成果

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所低速陽電子実験施設において、加速器による高強度陽電子ビームを用いた低速陽電子回折(LEPD)装置を開発した。図1に開発した装置の概念図を示す。低速陽電子ビームは、次のように得られる。電子線形加速器によって55 MeV程度に加速した電子を厚さ4 mmのタンタルに入射すると、制動放射によって生じるX線が同じタンタル内で電子陽電子対生成を起こす。生成した高エネルギーの陽電子を、陽電子に対する仕事関数が負のタングステン薄膜(Wモデレータ)を用いてエネルギー3 eVの低速陽電子として取り出す。低速陽電子生成部には5 kVの電圧を印加し、接地電位のビームラインに対して静電加速をした後、磁場によって実験ステーションまで輸送する。

加速器ベースビームによるLEPD観測における困難の1つは、ビームのパルス幅がそのくり

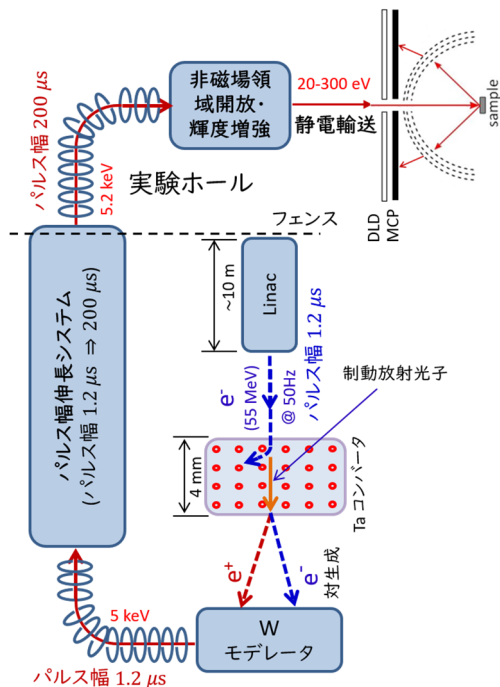


図 1: 加速器による高強度低速陽電子ビームを用いた低速陽電子回折装置の概念図。

返し周期に対して 4 桁も短い (パルス中で高密度となりすぎている) ため、LEPD パターン観測に必要な位置敏感検出器が飽和してしまうということである。我々は、5 keV の個々の陽電子パルスをいったん Penning-Malmberg トラップに保持した後に徐々に下流側に 5.2 keV で供給することで、準連続ビームに至る任意のパルス幅に伸長するパルス幅伸長システムを開発してこの問題を解決した。2 つ目の困難は、磁場輸送によって実験ホールまで導かれる陽電子ビームを、回折パターンの観測のために、低エネルギーで非磁場領域に取り出さなければならないことである。我々は、磁場遮蔽を工夫することで、地磁気にも影響を受けてしまう低エネルギービームを高輝度化しつつ非磁場領域に取り出す輝度増強システムを開発してこの問題を解決し、初の加速器ベースビームによる明瞭な LEPD 観測に成功した。

回折パターンの観測には、陽電子ビームの光学系を通すためのセンターホールタイプのマイクロチャンネルプレート (MCP) の背面に、同じくセンターホールタイプの遅延線アノードを配した検出器を用いた。遅延線は、当初、X 座標と Y 座標を決定するための 2 本 (2 層) の遅延線からなるものを用いていた。図 2 に、センターホールをまたいで巻かれた、2 本の遅延線の様子が示されている。MCP で増幅された電子雲が遅延線に到達し、その信号が遅延線を伝ってその両端に到達する時間差から、遅延線の何列何行目からの信号であるかの情報を知ることによって座標を得る。ところが、図 2 に示したように、センターホールを避けて遅延線を巻いているために、中心で交差する十字状の領域では、遅延線が 1 層のみしか存在せず、X 座標のみ、あるいは Y 座標のみしか決められない。そのため、この十字状の領域は完全な座標の情報が得られず「不感領域」となる。

ビームを通すセンターホールが不感領域になってしまうことは避けられないが、本研究ではこの十字状の領域でもデータ取得が可能なる 3 層の遅延線アノード検出器を組み込んだ新たな LEED/LEPD 装置を開発した。3 層式の遅延線アノードは、3 本 (3 層) の遅延線アノードが互いに 120 度なす角度になるよう重ねたものである。各層のセンターホールをまたぐことによってできるギャップの領域のほとんどは、他の 2 層の遅延線アノードによってカバーされるため、不感領域はセンターホール及びそのごく近傍のみとなる。この 3 層式の遅延線アノード検出器はその外観が六角型であることから、Hexanode と呼ばれるので、本研究で開発した Hexanode による LEED/LEPD 装置のことを、HEX-LEED/LEPD 装置と呼ぶ。

3 層式の遅延線アノードは、2 層式と比べて大型だが、利便性を考慮した上限の大きさと思われる直径 253 mm の真空フランジ (ICF253) のポートから導入できるよう、これを LEED 検出器に組み込んだ装置全体を設計した。通常の LEED 装置の全長を前提に設計すると、検出器全体を覆う筒状の磁場遮蔽シールドの全長に対する直径が大きすぎて地磁気を十分に遮蔽できない。そこで、シールドの前後からフタをするような構造の磁場遮蔽シールドを導入することで、問題を解決した。また、検出器には最大 3 kV 程度の高電圧を印加するが、検出器は電子 1 個でも検出できる高感度検出器で、かつカウンティングによって得られるデータのダイナミックレンジは事実上無限大なので、微小放電によって発生する電子も有効なデータとして取得できてしまう。実際、当初開発した装置では、放電の影響によるものと思われるホットスポットが

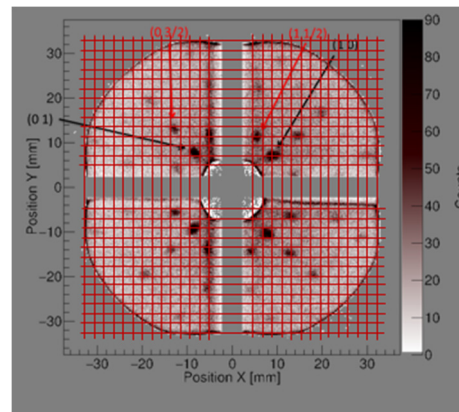


図 2: 加速器による高強度低速陽電子ビームを用いた初の回折パターンの観測データ [K. Wada et al., e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. 16, 313 (2018)] に、その観測に用いた遅延線アノードの配置の概念図を赤線で重ねて示した図。回折パターンの座標の情報を得るためには 2 層の遅延線アノードが必要だが、中心で交差する十字状の領域では、遅延線が 1 層しか存在しないため不感領域となっている。

数多く観測されたが、より微弱な回折スポットの解析に支障が出ないようにするため、これらのホットスポットのカウントレートをへらすよう対策した。真空中の放電は、陰極側のトリプルジャンクション（碍子/金属/真空空間の3つの境界）において、金属面からの電界放出電子が碍子表面に衝突して2次電子を放出することで碍子表面が帯電し、これが成長して大きな放電につながると考えられる。それを防ぐため、まずは金属面からの最初の電界放出が起こらないよう注意すると共に、必須以外の絶縁碍子をできるだけ排除した。これにより、放電は十分におさえられ、MCPの暗電流のみの観測においてホットスポットの無い平坦な画像データが得られるようになった。また、当初、実際の検出器のセンターホールの幾何学的なサイズに対して、データとして得られる中心の不感領域の直径が大きすぎた。遅延線アノードホルダからMCPの背面にいたる領域の電位は2.5 kVから3.0 kV程度だが、そのセンターホールは接地電位のビーム輸送様電極の一部が通っており、これが検出器の中心付近の電位に影響し、得られる画像を歪めたり、MCPで増幅された電子雲を完全外側に追いやって不感領域を広げたりする。その対策に、アノードホルダからMCPに向けてセンターホールを隠す電場遮蔽チューブを設置していたが、その長さをできるだけ長くしてMCP背面に近づける必要があり、最終的に0.8 mmまで近づけることで中心の不感領域が大きすぎる問題を解決することができた。

開発した装置で、まずはLEED用の電子銃を用いてLEEDパターンの観測を行なった。本検出器は電子1個1個をカウントできるので、通常の蛍光スクリーンによるLEED測定と比較すると桁違いに弱い電子ビームによる観測が可能である。データ取得試験では、電子銃のウェーネルトの電位を上げることで電子ビーム強度を下げていったが、それに伴って観測されるビーム径は細くなっていった。そのため、通常のLEED装置では困難な長周期構造を持つ表面からの回折パターンの観測が可能である。本研究ではテストデータ取得にGe(001)-2×1表面とSi(111)-7×7表面を用い、非常にシャープなLEEDパターンを確認することができた。回折パターンの検出レートはおおむね 1×10^4 カウント/秒前後（電流値に換算すると1 fA前後）となるよう、ウェーネルトの電位によってビーム強度を調整した。これよりも低い検出頻度での観測も可能であり、絶縁体試料からの回折パターンを得ることが可能である。より高い検出頻度も可能だが、 1×10^6 カウント/秒を越えるとMCPの損傷の恐れがある。

さらに、開発したHEX-LEED/LEPD装置に陽電子の光学系をとりつけて、陽電子ビームを用いたLEPD図形の取得試験も行ない、Ge(001)-2×1表面からの回折パターンの試験的なデータを得た。

また、陽電子ビーム強度増大のために、低速陽電子ビーム発生部を改造した。従来 1×10^7 個/秒の半ば以下だったビーム強度が、 1×10^8 個/秒の大台にのった。このビーム強度増大によって、回折実験以外の表面研究のための実験、例えば、陽電子と電子の水素原子様束縛状態であるポジトロニウムの飛行時間測定装置の高効率測定なども可能となった。さらに、高輝度低速陽電子ビーム源の可能性の探索のために、加速器ベースのビーム生成部よりも一桁サイズの小さい、放射性同位体からの陽電子による低速陽電子ビーム源の開発も試み、回折実験のための今後の高輝度高強度低速陽電子ビーム源開発の指針を検討した。

観測に成功したGe(001)-2×1のLEPD I-V解析を行なうための解析コードを整備した。解析コードは、LEED用の動力学的回折理論による計算コードにおいて、電荷の符号を負から正にかえ、交換項の寄与をゼロとした。整備した解析コードでI-V解析を行なった結果、過去にLEEDで確定した構造を仮定すると、整数次のI-V計算は実験結果を再現するが、分数次については再現しなかった。そこで、バターソン関数による逆変換の計算コードを整備し、I-Vの実験データを逆変換した。得られたバターソンマップには偽情報が含まれるが、それらの逆変換の情報から推定される各原子位置の相対座標を解析の開始点とし、テンソルLEED法の計算コードをLEPD用に改変した計算コードを用いてより実験データを再現できる原子位置の候補を探索し、整数次と分数次共に実験結果を再現する原子位置座標を見出した。LEEDの解析結果との違いについては、LEEDとLEPDの表面敏感性の違いによるものなのか、あるいは表面の汚染など他の要因によるものなのかは、今後の検討が必要であり、引続き検証実験を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Takahashi, T. Hyodo	4. 巻 2018
2. 論文標題 First Observation of a Low-Energy Positron Diffraction Pattern with a Linac-Based Beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Highlights	6. 最初と最後の頁 66-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Wada Ken, Shirasawa Tetsuroh, Mochizuki Izumi, Fujinami Masanori, Maekawa Masaki, Kawasuso Atsuo, Takahashi Toshio, Hyodo Toshio	4. 巻 16
2. 論文標題 Observation of Low-Energy Positron Diffraction Patterns with a Linac-Based Slow-Positron Beam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 313-319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2018.313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hyodo Toshio, Mochizuki Izumi, Wada Ken, Toge Nobukazu, Shidara Tetsuo	4. 巻 1970
2. 論文標題 Slow positron applications at slow positron facility of institute of materials structure science, KEK	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 040004-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wada K., Miyashita A., Maekawa M., Sakai S., Kawasuso A.	4. 巻 1970
2. 論文標題 Spin-polarized positron beams with ^{22}Na and ^{68}Ge and their applications to materials research	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 040001-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyashita A., Maekawa M., Wada K., Kawasuso A., Watanabe T., Entani S., Sakai S.	4. 巻 97
2. 論文標題 Spin polarization of graphene and h ² BN on Co(0001) and Ni(111) observed by spin-polarized surface positronium spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195405-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.195405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasuso A., Maekawa M., Miyashita A., Wada K., Kaiwa T., Nagashima Y.	4. 巻 97
2. 論文標題 Positronium formation at Si surfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245303-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.245303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maekawa M., Sakai S., Hagiwara S., Miyashita A., Wada K., Kawasuso A., Yabuuchi A., Hasegawa S.	4. 巻 2182
2. 論文標題 Magnetic Doppler broadening measurement on Gadolinium-doped GaN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 050007-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5135850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maekawa M., Wada K., Miyashita A., Kawasuso A.	4. 巻 137
2. 論文標題 Construction of a Spin-Polarized Positronium Time-of-Flight Measurement Apparatus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica A	6. 最初と最後の頁 105-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/aphyspola.137.105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wada K., Maekawa M., Mochizuki I., Shidara T., Kawasuso A., Kimura M., Hyodo T.	4. 巻 975
2. 論文標題 A pulse stretcher for a LINAC-based pulsed slow-positron beam providing a quasi-continuous beam with an energy of 5.2 keV	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164161-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maekawa Masaki, Wada Ken, Kawasuso Atsuo	4. 巻 480
2. 論文標題 Development a new positron source for spin-polarized positron beam generation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 49 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2020.08.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasuso A, Wada K, Miyashita A, Maekawa M, Iwamori H, Iida S, Nagashima Y	4. 巻 33
2. 論文標題 Positronium formation at 4H SiC(0001) surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 035006-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/abbe7a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 兵頭俊夫, 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男
2. 発表標題 低速陽電子回折法による表面構造解析
3. 学会等名 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田健
2. 発表標題 低速陽電子回折(LEPD)ステーションの開発とイニシャルデータの取得
3. 学会等名 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 センターホール付き3層遅延線アノード検出器の低速陽電子回折(LEPD)装置への導入
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, T. Takahashi, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Hyodo
2. 発表標題 A low-energy positron diffraction (LEPD) experiment station for a linac-based slow-positron beam
3. 学会等名 TIA Kakehashi Symposium, Application of Positron Beams at Major Facilities (Satellite session of 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS 2019))(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Takahashi, T. Hyodo
2. 発表標題 Observation of low-energy positron diffraction patterns with a linac-based slow-positron beam
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 低速陽電子回折(LEPD)の特徴と装置開発
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 低速陽電子回折装置の開発
3. 学会等名 VACUUM2019真空展「大学・公的機関における真空科学・技術・応用の最先端研究紹介」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Takahashi, T. Hyodo
2. 発表標題 A low-energy positron diffraction (LEPD) experiment station for a linac-based slow-positron beam
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques & Applications (SLOPOS-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Mochizuki, K. Wada, Y. Fukaya, T. Shirasawa, Y. Endo, A. Takayama, S. Hasegawa, A. Ichimiya, Y. Nagashima, Masaki Maekawa, Atsuo Kawasuso, A. Ishida, N. Toge, K. Furukawa, Y. Nagai, T. Hyodo
2. 発表標題 Present Status of the Slow Positron Facility of Institute of Materials Structure Science, KEK
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques & Applications (SLOPOS-15) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 Ge(001)-2x1表面からの低速陽電子回折図 形の観測II
3. 学会等名 日本アイソトープ協会第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 加速器ベース低速陽電子ビームを用いた低速陽電子回折実験装置の開発II
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兵頭俊夫, 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男
2. 発表標題 低速陽電子回折法による表面構造解析
3. 学会等名 2018年度量子ビームサイエンスフェスタ 2019年3月12日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田 健
2. 発表標題 低速陽電子回折法の特徴と新規開発装置によるイニシャルデータの解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム「陽電子回折による表面科学の新展開と高速化データ駆動科学」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 低速陽電子回折実験装置の開発 II
3. 学会等名 京都大学原子炉実験所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Hyodo, K. Wada, M. Masaki, I. Mochizuki, A. Kawasuso, M. Kimura
2. 発表標題 Pulse Stretching System for Materials at KEK Slow Positron Facility
3. 学会等名 4th Symposium on Innovative Measurement and Analysis for Structural Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Takahashi, T. Hyodo
2. 発表標題 Observation of Low-Energy Positron Diffraction (LEPD) Patterns and LEPD I-V Characteristics
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wada, T. Shirasawa, I. Mochizuki, M. Fujinami, M. Maekawa, A. Kawasuso, T. Takahashi, T. Hyodo
2. 発表標題 Observation of low-energy positron diffraction with a linac-based slow-positron beam and its applications as a tool for surface structural analysis
3. 学会等名 18th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 Ge(001)-2x1表面からの低速陽電子回折図形の観測
3. 学会等名 日本アイソトープ協会第55回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, 藤浪真紀, 前川雅樹, 河裾厚男, 高橋敏男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 Ge(001)-2x1表面における低速陽電子回折パターンの観測
3. 学会等名 日本表面科学会第3回関東支部講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田健, 望月出海, 兵頭俊夫, 永井康介, 保住弥紹, 井上均, 高富俊和, 岩瀬広, 峠暢一
2. 発表標題 KEK物構研低速陽電子実験施設における低速陽電子ビーム生成ユニットの更新
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河裾厚男, 和田健, 前川雅樹, 宮下敦巳, 岩森大直, 飯田進平, 長嶋泰之
2. 発表標題 半導体表面におけるポジトロニウム生成
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前川雅樹, 和田健, 宮下敦巳, 河裾厚男
2. 発表標題 スピン偏極ポジトロニウム飛行時間測定装置の開発
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田健, 望月出海, 兵頭俊夫, 永井康介
2. 発表標題 KEK低速陽電子実験施設報告
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田健, 白澤徹郎, 望月出海, Rezwan Ahmed, 前川雅樹, 河裾厚男, 兵頭俊夫
2. 発表標題 3層遅延線アノード検出器を用いた低速電子回折図形の観測と 低速陽電子回折実験への応用
3. 学会等名 低速陽電子実験施設研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永井康介, 和田健, 望月出海, Rezwan Ahmed, 兵頭俊夫
2. 発表標題 低速陽電子実験施設報告
3. 学会等名 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田健
2. 発表標題 加速器ベース低速陽電子ビームによる陽電子回折実験の現状と将来展望
3. 学会等名 日本表面真空学会 2021年度関東支部講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田健, 望月出海, 兵頭俊夫, 永井康介, 岩瀬広, 峠 暢一
2. 発表標題 KEK物構研低速陽電子実験施設の加速器ベース低速陽電子ビーム生成ユニットの更新
3. 学会等名 第58回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	望月 出海 (Mochizuki Izumi) (30579058)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・助教 (82118)	
研究 分担者	白澤 徹郎 (Shirasawa Tetsuroh) (80451889)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------