

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560030

研究課題名(和文)速度可変型準安定ヘリウム原子源の開発と表面電子状態抽出

研究課題名(英文)Development of the speed variableness-type He* beams to extract the electronic structure of surface

研究代表者

山田 健二(YAMADA, Kenji)

石川工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50249778

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：準安定ヘリウム原子は固体表面で脱励起する現象を利用して、表面最外層の電子状態を抽出できる。ところが、表面-原子間で生じる電子放出プロセスは複数あり、スペクトルの解釈が難しい。もし準安定ヘリウム原子の速度を変えることができれば、脱励起過程についての情報が得られ、スペクトルの解釈も容易になる。本研究では、ヘリウムイオン源を立ち上げ、減速レンズ、電荷交換室を設計製作し、速度可変型準安定ヘリウム原子源を製作した。今後はこのビーム源を用いて各種表面の電子状態を調べる予定である。

研究成果の概要(英文)：The metastable-induced electron spectroscopy (MIES) utilizes usually beams of excited He atoms (He*) to extract the electronic structure of solid surface topmost-layer. There are several possible paths of de-excitation of He* atoms at surfaces in the MIES. It's difficult to decide the assignment of spectrum. If the variation of the incident He* velocity on the metastable de-excitation process is used, we are recognized these process in details. We produced the He* beams formed by charge exchange in He+ - alkali-metal collisions in alkali-metal vapor chamber.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 薄膜・表面界面物性

キーワード：表面・界面 表面電子状態 準安定ヘリウム原子 オージェ脱励起 電荷交換室

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

申請者は、準安定原子源を用いた表面-原子間電子移行プロセスの解明を目指し、新たなヘリウム準安定原子源による固体表面最外層の電子状態抽出に取り組んできた。この原子源を用いれば、放出電子の空間分布についても全く新しい情報を得ることができる。そこで電子エネルギーアナライザーの改良にも着手している。

準安定ヘリウム原子 (He^*) が固体表面付近で脱励起する現象を利用して、固体表面最外層の電子状態変化を捉えられる。最表面層の電子状態に極めて敏感であることから、ナノスケール物質間の研究の進展に期待がかかるが、固体表面付近で起こる He^* 原子の脱励起過程の解釈が複雑である。

He^* 原子が、共鳴イオン化によって一旦 He^+ プラスイオン (He^+) となった後、オージェ中性化によって脱励起が起きる (AN)、直接のオージェ脱励起過程 (AD)、そして He^* 原子に表面から電子が移行して He^{*-} になって原子内オージェ過程で脱励起する過程 (AU) がある。AD 過程の場合は、表面の電子状態を反映したものとなるが、AU 過程の場合は、表面フェルミ準位付近の電子状態が強く反映される。また AN 過程との競合もスペクトルの解釈を複雑にする。そこで、速度の速い He^* は AD 過程が主体的に起こると予想されるので、速い He^* 原子と比較的遅い He^* 原子からのスペクトルを比べることで、表面-原子間の電子移行が選択的に解釈でき、電子移行プロセスの時間依存性も分かると考えた。現在、ヘリウムイオン源が完成した段階である。このイオン源を拡張し、速度可変型準安定原子源を開発できれば、固体表面最外層電子状態を容易に抽出できる強力な原子源となる。

2. 研究の目的

固体表面最外層における表面電子状態は、準安定ヘリウム原子が固体表面で脱励起する現象を利用して捉えることができる。ところが表面-原子間で生じる電子放出プロセスは複雑で解釈が難しい。準安定ヘリウム原子はパルス放電によって生成されるが、本研究ではヘリウムイオンの電荷交換によって生成される準安定原子源を新たに開発する。この原子源は準安定原子の飛行速度を変えることができるため、表面-原子間の電子移行プロセスを時間依存性の立場から明らかにでき、表面電子状態変化を直接抽出できる。

本研究では、まずヘリウムイオン源を立ち

上げ、減速レンズ、電荷交換室を設計製作し、速度可変型準安定ヘリウム原子源を製作する。その後はこの原子源を低仕事関数表面に適用し、電子移行プロセスと表面電子状態の解明を行なう。

3. 研究の方法

ヘリウムイオンの電荷交換によって準安定原子を生成させる。まずアルカリ金属ディスプレイを用いた簡易型電荷交換室による実験を試みる。イオンビームラインと垂直にアルカリ金属蒸気をあてて予備実験を行なう。この実験で基礎データを取得した後、新たにアルカリ金属蒸気室の設計と製作を行ない、アルカリ金属蒸気室を用いたヘリウムイオンとの電荷交換実験を行なう。ビーム源製作にともなう真空排気系としてターボ分子ポンプを購入する。

現有の電子エネルギーアナライザーは平行平板阻止電場型である。このアナライザーは構造が簡単のため製作は容易であるが、検出感度や分解能の低いことが課題である。そこで取り込み位置を試料に接近させる機構を導入することで取得電子数を増加させ、検出感度を向上する。また 127° 円筒共軸型のアナライザにすることで分解能の向上が得られる。

4. 研究成果

以下に研究成果を述べる。

(1) 真空排気系の改善



図1 実験装置の排気系外観

現有する超高真空装置の排気系を見直した。実験中はイオンポンプを運転させることはできないので、ターボ分子ポンプで超高真空状態を保つ必要がある。そこでターボ分子ポンプを2台、直列に接続させるタンデム型とした。新たに購入

したターボ分子ポンプ (6800/s) と現有の 800/s の小型ターボ分子ポンプを用いた。これによって排気速度の向上を達成できた。図 1 に外観の様子を示す。ベース圧力は、マイナス 10 乗 Torr 台の超高真空状態が確認できた。

(2) 簡易型電荷交換室の設計製作

アルカリ金属ディスペンサーを電流導入端子に取り付けて、ヘリウムイオンに衝突させる実験を行なった。図 2 にアルカリ金属ディスペンサーの様子を示す。図 3 はそれをチャンバーに組込んだ写真である。真空度が悪化し、測定チャンバーにもアルカリ金属が流出してしまうことが分かった。その他ヘリウムガスの流量を調整するためにマスフローコントローラを設置した。



図 2 簡易型電荷交換室の中



図 3 簡易型電荷交換室

(3) 円筒共軸型のアナライザの製作



図 4 円筒共軸型のアナライザの様子

製作した 127° 円筒共軸型アナライザを図 4 に示す。無酸素銅を切り出して製作した。外部磁場の影響をおさえるためにケースはパーマロイを使用している。電子増倍管にチャンネルトロンを用いていたが、スペースを省くためにマルチチャンネルプレートに変更した。移動機構を備えた $\phi 152$ フランジにこのアナライザを設置した。これによって取込位置を試料側に接近させて取り込むことができる。

(4) 電荷交換室の設計製作

アルカリ金属は反応性が高いので循環させて再利用する機構がのぞましい。装置に導入する際にも不活性ガスで満たされた環境が必要である。アルカリ金属を循環させるため、アルカリ金属蒸気の出口付近を冷却する機構とした。また温度調整もできるように制御機構を取り入れた。電荷交換室内部の外観写真を図 5 に示す。



図 5 電荷交換室内部の外観

手前の直径 10 mm の穴から準安定ヘリウム原子が出射される。長方形のプレートは銅板であり、冷却されてアルカリ金属蒸気の流出を防ぐ構造となっている。減速レンズを取り付けてヘリウムイオンを減速した状態で電荷交換をする必要があるため、高電圧を印加できる構造にした。図 6 は、この電荷交換室をチャンバーに取り付けたところを示す。内部に見える丸いフタを開けて、アルカリ金属が充填される。実際の充填では、不活性ガス雰囲気中に行なう必要があるため、透明なパネルで囲った構造のものが今後必要となる。高真空度を保つためにターボ分子ポンプで排気するシステムを取り入れている。温度制御用の熱伝対をアルカリ金属のるつぼの直下に一つ、アルカリ蒸気を循環させるバッファ

部に二つの、計3箇所設置してある。るつぼ直下では650℃、バッファ部では水冷時で300℃の温度に保たれることを確認した。温度の設定は任意にできる。ビーム源の軸合わせとしては、ヘリウムイオン源と電荷交換室の間にベローズが設置されている。適宜、イオン源を少し上下させることで軸合わせを行う。

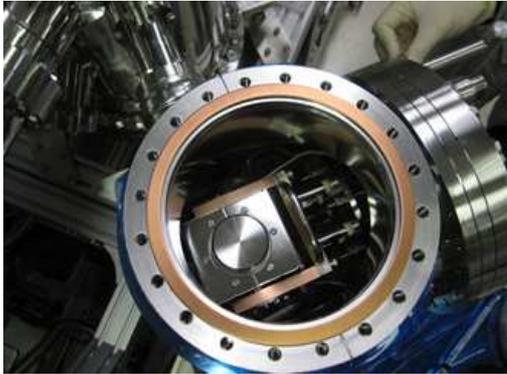


図6 電荷交換室を装置に導入した写真

(5) 電子放出材料表面の分析

速度可変型準安定原子源が完成した後、電子放出材料に適用する。このため前もってそれらの表面の電子状態を分析した。試料として、DLC表面およびダイヤモンド表面である。水素終端処理によって負電子親和力表面が実現し、高効率な電子放出材料として注目されている。測定に用いるDLC膜は水素フリーのもので、テトラヒドラルアモルファスカーボン (ta-c) を用いた。X線光電子分光法、紫外光電子分光法、オージェ電子分光法の各種分光法によって調べた。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

- ① 吉岡 峻平, 中西 篤志, 山田 健二, 光電子分光法による鉄シリサイド表面の分析, 平成 25 年度北陸地区学生による研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 石川 (金沢工大)
- ② 吉崎 佑, 吉岡 峻平, 山田 健二, 滝川 浩史, 田上 英人, 光電子分光法による DLC 膜表面の分析, 平成 25 年度北陸地区学生による研究発表会, 2014 年 3 月 8 日, 石川 (金沢工大)
- ③ 副田 将平, 山田 健二, 準安定ヘリウム原子源製作と評価, 平成 24 年度北陸地区学生による研究発表会, 2013 年 3 月 9 日, 福井 (福井高専)

- ④ 長田 知靖, 山田 健二, 準安定原子誘起電子分光システムの改良, 平成 23 年度北陸地区学生による研究発表会, 2012 年 3 月 10 日, 石川 (石川高専)

- ⑤ 山田 健二, 渡邊 晃彦, 碓 智徳, 小松 啓志, 赤坂 大樹, 斉藤 秀俊, 西垣 敏, 多結晶ダイヤモンド薄膜の光電子分光, 2011 年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2011 年 11 月 26 日, 福井 (福井大)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 健二 (YAMADA, Kenji)

石川工業高等専門学校・電子情報工学科・准教授

研究者番号: 50249778