

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560028
 研究課題名（和文） 準安定原子源を用いた表面 - 原子間電子移行プロセスの時間依存性
 研究課題名（英文） Time dependence of the electron transfer process between surface and incident He* atom by metastable atom beam
 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

研究成果の概要：

固体表面最外層の電子状態を捉える方法として、励起した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、解釈が困難になるという課題がある。広範囲速度分布型の準安定原子源があれば、この原子源によって表面 - 原子間の電子移行プロセスを時間依存性によって明らかにできると考え、この実験装置の開発を主に行なった。この結果、パルス放電による準安定原子源の生成ができた。またヘリウムイオン銃と放電電源を製作できた。このイオン源を用いた実験は、準安定原子源の放電電極部分を入れ替えることで実験できる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

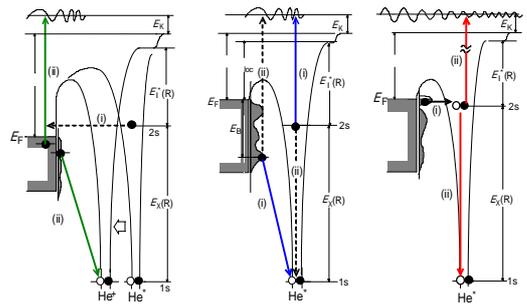
キーワード：ビーム応用，表面

1. 研究開始当初の背景

申請者は、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てきた。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。しかしながら、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ことが問題である。この脱励起過程を図 1 に

示す。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 過程）、直接のオージェ脱励起過程（AD 過程）、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 過程）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している。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。定性的議論のできる結果が得られたが、時間依存性を明らかにするには、ビーム強度の大きなもので実験する必要が生じた。そこで比較的強度の大きなスキマー型の He^* 原子源を新たに製作することにした。



AN : Auger Neutralization AD : Auger De-excitation AU : Auto detachment
 図 1 準安定原子の脱励起過程

電子移行・オージェ遷移は固体表面/気相界面で起きる電子プロセスの基礎であり、古くから実験・理論両面から研究が行われてきた。実験面では、この電子遷移が表面最外原子層の電子状態分析に特別効果的であることから、局所電子分光への応用として実施されてきた。すべて低速のビームで、上で示した脱励起図のいろいろなチャネルを経て放出される電子の積分スペクトルを得ている。単一チャネルでの電子放出ではないため、スペクトルと局所電子状態を 1 対 1 で対応付けることは困難である。

2. 研究の目的

弾性、非弾性トンネリング、オージェ遷移などのナノメートルスケール物質間の電子移行による電子・表面原子間の電子反応プロセスを解明することで、単電子デバイスや走査トンネル顕微鏡 (STM) のナノデバイス技術への応用が展開できる。本研究は、この電子反応プロセスにおいて、吸着層をともなう半導体表面と準安定励起原子 (He^*) のモデルとして、個々の反応時間領域に分けて実験データを得ることと、これらのデータから電子移行に関わる時間依存性を見出し、電子移行メカニズムを解明しようとするものである。

想定される He^* 原子の運動エネルギー

範囲は $1000 \sim 0.1\text{eV}$ で、換算速度は $200 \sim 1\text{km/s}$ である。電子遷移の起きる領域は、表面から約 $2 \sim 6 \text{ \AA}$ で、表面 - 原子間相互作用の働く時間は、約 $10^{-15} \sim 10^{-13} \text{ sec}$ となる。

3. 研究の方法

スキマー型 He^* 源を用いた実験装置を稼働させることと、広範囲速度分布型 He^* 源の開発が必要である。

現有する実験装置で速度依存性の実験を行うには、放出される電子を取り込むゲート信号を制御する方法がある。ゲートを多数ならべて、飛行時間差に対応したタイミングで取り込むことで時間依存性の実験が可能となる。このため放電は直流放電ではなく、パルス放電として制御することが必要となる。ただしこの手法は測定信号が弱くなるという問題がある。

スキマー型放電を安定に行うためには、新たにターボ分子ポンプを設置するなど、差動排気系の改善が必要となる。また計測制御回路も見直し、小型化を目指すとともに計測制御プログラムを構築する必要がある。

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

現有する超高真空装置の排気系を見直し、新たにメインチャンバーにターボ分子ポンプを取り付け排気速度の向上を達成できた。また He^* ビームラインの差動排気用のポンプも設置できた。これらの装備によって真空排気系の改善を行うことができた。図 2 に実験装置の排気系部分の写真を示す。



図 2 実験装置の排気系外観

2) 放電電源回路の製作

阻止電場型アナライザーを含む計測制御システムを製作した。アナライザーに加える阻止電圧は、入力電圧に対して 5 倍の増幅回路となるように製作した。

準安定原子をパルス放電によって生成させるため、放電電源を製作し、パルス放電実験は成功した。パルス放電にする理由は、放電によって準安定原子の他、He I 共鳴線や、ヘリウムイオンなどの影響を飛行時間差法によって除去するためである。図3に放電電源、図4に放電の様子を示す。また図5に製作した回路を示す。

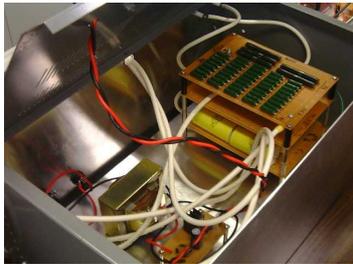


図3 パルス放電用放電電源

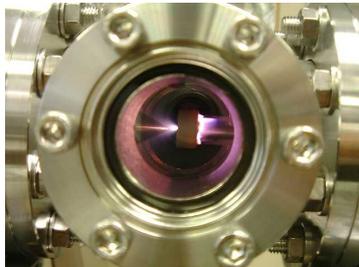


図4 パルス放電の様子

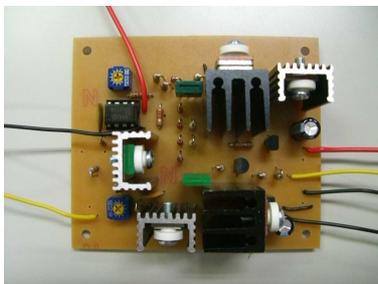


図5 阻止電圧増幅用回路

3) 計測プログラムの構築

速度分布測定用プログラムの製作を行った。これによって飛行速度分布ならびに時間応答に関するデータを取り込める実験環境を構築できた。制御回路部分はPICマイコンを用いて製作した。

4) ヘリウムイオン銃と放電電源の製作

ヘリウムイオン銃の設計および製作を行なった。電極部の加工が困難であったため、ICF114のフランジにそのまま電極を取り付け、このフランジ面に組み上げた。また電極同士の接触を防ぐために、

セラミックの円盤を加工し、接触を防ぐように設置した。図6に外観の写真を示す。電極部分への配線をすることで完成する。イオン銃を囲む短管は、He⁺ビームラインのものを代用できるように設計した。またヘリウムイオンを生成させるための放電電源を設計し、製作した。放電電源の製作にあたって、回路全体を約3 kVに浮かせる必要があったために、絶縁に注意して製作した。図7に製作した放電電源の写真を示す。



図6 ヘリウムイオン銃

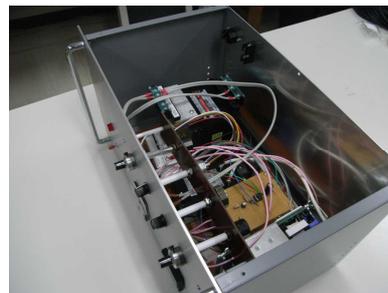


図7 ヘリウムイオン放電用電源

5) アナライザーの製作

これまで平行平板阻止電場型アナライザを用いてきたが、分解能を向上させるために127°同軸円筒型の分析器の設計を行った。内側と外側の電極、スリット、そして碍子の加工を行った。

スキマー型準安定励起原子源を構築し、現有の超高真空装置に取り付けて、電子移行プロセスの個別化を明らかにできるようになった。

今後の研究計画としては、広範囲速度分布型He⁺源の製作がある。Na原子の3s準位はHe2s励起準位とほぼ同じエネルギーにあるので、He⁺イオンがNa原子の近傍を通過するとき、Na3s He2sの電子移行が起こりやすい。これを利用してHe⁺原子をつくることができる。He⁺イオンが中性のHe原子に変換された時点で持っていた運動エネルギーが、He⁺原子になった後に保存されて、その運動エネルギーで表面

に衝突する。Na-He⁺衝突領域の静電ポテンシャルに傾斜を設けることによって、生成He⁺原子の運動エネルギーに、その静電ポテンシャルの分布と同じ幅を作り出せる。このように、広範囲速度分布型He⁺源はHe⁺イオン源と加速部分、そして電荷交換室からなる

5. 主な発表論文等

(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1件)

山田健二、準安定原子を用いた材料表面の電子状態抽出、Newsletter(社)日本セラミックス協会北陸支部、p5、2007、査読無し

[学会発表](計7件)

山田健二、パルス放電による準安定励起原子源の製作、平成19年度電気関係学会北陸支部連合大会、2007年9月8日、福井(福井工大)

山田健二、準安定原子を用いた材料表面の電子状態抽出、日本セラミックス協会北陸支部平成19年度秋季研究発表会、2007年11月16日、石川(金沢工大)

山田健二、準安定ヘリウム原子の脱励起プロセスにおける速度依存性、2007年度物理学会北陸支部定例学術講演会、2007年12月1日、富山(富山県立大)

山田健二、準安定誘起電子分光法の測定システム、平成19年度北陸地区学生による研究発表会、2008年3月8日、福井(福井高専)

山田健二、パルス放電による準安定原子の生成、平成19年度北陸地区学生による研究発表会、2008年3月8日、福井(福井高専)

山田健二、阻止電場型アナライザーによるエネルギー分析、平成19年度北陸地区学生による研究発表会、2008年3月8日、福井(福井高専)

山田健二、準安定原子誘起電子分光装置の製作、平成20年度電気関係学会北陸支部連合大会、2008年9月12日、富山(富山大)

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