

平成 21 年 4 月 13 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760049

研究課題名（和文） 超長耐久負電子親和性膜の探索

研究課題名（英文） Search for Survive Negative Electron Affinity (NEA) Method

研究代表者

杉山 陽栄（SUGIYAMA HARUE）

佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・非常勤博士研究員

研究者番号：70444867

研究成果の概要：本研究は 1960 年代から更新されていない負電子親和性（NEA）膜の技術革新を目指し、超長耐久 Cs/Te 型 NEA 膜の可能性を探ることを目的として研究してきた。この研究によって Cs と Te を組み合わせ、NEA を示すことが見込まれる薄膜作製方法を発見するに至った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	0	2,100,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	150,000	2,750,000

研究分野：加速器科学、光陰極（フォトカソード）、機能性ナノ薄膜

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物理学一般

キーワード：光陰極、フォトカソード、負電子親和性、負電子親和力、セシウムテルライド

1. 研究開始当初の背景

世界各地で計画中の次世代放射光源計画であるエネルギー回収型リニアック放射光源計画（ERL 計画）また次期高エネルギー素粒子物理学実験である国際線形衝突型加速器計画（ILC 計画）のための、いずれの電子源においても、歪み構造や超格子構造を持つガリウムヒ素系結晶に Cs/O 型負電子親和性（NEA）膜を形成した高性能光陰極が有力候補である。

他方で、現在世界中で競って研究開発が進んでいるパルス型電子顕微鏡の実現には、光陰極（フォトカソード電子源）の導入がブレイクスルーを起こすことが期待され、光陰極の技術革新が待望されるのは、加速器科学分

野だけにとどまらない。

電子源で発生された電子は、生成する電子ビームのエミッタンスを低く抑えるために、強い電界で引き出す必要がある。直流型電子銃の高電界化、高性能化は甚だしく、また高周波により、さらに強い引き出し電界を發揮する高周波電子銃は、今や挑戦的な電子銃とは言えないほどに電子銃の技術革新は進んできた。高周波電子銃では、陰極部に強い電界が周期的にかかる。陰極部では電子ビームが絶えず産み出され、残留ガスはイオン化し、周期的なイオンボンバード現象を引き起こしてしまう。また、真真空的に開放系での電子引き出しであり、局所的に高い真空を生成することが困難な状況下での運転となる。さら

に、高い電流値を求めての、高強度のレーザー照射も加わる、このような劣悪な環境下では、Cs/O 型 NEA 膜は容易に破壊されてしまう。現在でもまだ、NEA 膜半導体光陰極高周波電子銃が、世界のどの国においても実現していないのは、Cs/O 型 NEA 膜が耐久できないためである。

Cs は表面の電子親和力を降下させる働きがあることが古くから知られており、シンクロトロン光のような高いエネルギーの光が利用できなかった時代から重宝されてきた。Cs だけでは、その表面状態を保つことが難しく寿命が短い。そのため電子親和力の降下させる表面処理の長寿命化のために Cs に加えて O を添加することが 1960 年代に報告されている。弱過ぎて高周波電子銃に適用できない Cs/O 型 NEA 膜は、長耐久に改良された NEA 膜なのである。しかし長時間過酷な環境に、さらに耐久する NEA 膜が登場しない限り、高周波電子銃に高性能ガリウム砒素系半導体光陰極を適応することはできないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、1960 年代から更新されていない NEA 膜の技術革新を目指し、超長耐久 NEA 膜の可能性を探ることを目的としている。その第一の候補として、Cs/Te 型 NEA 膜の可否を探る。

高い量子効率を持つセシウムテルライド薄膜は、高周波電子銃用の光陰極として実用され始めてから 10 年以上の実績を持っている。セシウムテルライド薄膜は高周波高電界下の過酷な環境に耐久することが、既に証明されている優秀な光陰極材料である。また、セシウムテルライド薄膜は電子親和力が極めて低いことが報告されており、これが高い量子効率の源とされている。さらに、従来型 NEA 膜に添加されている O と Te は同族元素であり、かつ Te の方が重いため、膜作製後の蒸散率も低いことが予想される。これらが Cs/Te 型を超長耐久 NEA 膜の第一の候補とした理由である。

シンクロトロン光を用いた光電子分光測定による基礎的なデータの収集とその分析により、セシウムテルライド薄膜が過酷な環境下で耐久する理由を探る。基礎的なデータを取得しつつ、より機能的なセシウムテルライド薄膜の作製方法をも取得することを目指す。この研究を通し Cs/Te 型 NEA 膜の可否を評価する。

また Cs/Te 膜のみならず、表面ナノ構造による電子親和力の減少などにも着目し、他分野との交流を積極的に行い、技術・知識の共有をはかり、広範囲な視点から、超長耐久 NEA 膜の探索・開拓・開発を目指す。

3. 研究の方法

平成 19 年度には、セシウムテルライド薄膜と従来型の Cs/O 型 NEA 膜が作製できる装置を開発、構築し、既に佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター内の佐賀大学専有ビームラインのエンドステーションに整備されている、光電子分光測定システムに組み込む。

真空生成において、セシウムテルライド薄膜作製には、超高真空で十分であるが、従来型 NEA 膜の作製には、極高真空が要求されるため、排気システムには NEG ポンプも組み合わせたシステムを構築する。

装置開発・整備完了後、薄膜の作製条件を確立する。作製方法は、通常、光陰極として使用される際の作製方法を基本として、Te の膜厚、Cs の蒸着量などを条件として、電子親和力が低くなる条件を探る。

平成 20 年度には、確立した条件で作製したサンプルの真空紫外域の光電子分光測定を行う。平行して、比較サンプルとしての従来型 NEA 膜を施したガリウム砒素系半導体について、基礎的なデータを収集する。得られた情報から超長耐久 Cs/Te 型 NEA 膜の可否を評価する。

4. 研究成果

(1) 装置開発

開発、構築した装置は、全て、佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター内の佐賀大学専有ビームラインに、既に、整備されている光電子分光測定システムを、そのまま保ちつつ、既設装置を邪魔することのない装置増設を強いられた。複数の研究課題が利用する真空紫外域の、主に表面・界面物性物理の研究のためのビームラインであり、本研究のためだけではなく、総合的に機能する装置開発、システム構築となり、開発は容易なものではなかった。

- ・セシウムテルライド薄膜及び従来型 NEA 膜を成膜するための真空蒸着装置を完成させた。蒸着装置槽は、測定槽と同じく、基礎圧力は 3×10^{-8} Pa 以下程度の超高真空を達成している。しかし、従来型 NEA 膜が要求する極高真空への到達はできなかった。

- ・作製した薄膜サンプルを測定槽へ移送するシステムと、真空蒸着装置や測定槽の超高真空を保ったまま、サンプルを移送することが可能なエアロックシステムを構築した。

- ・セシウムテルライド薄膜と負電子親和性膜の作成方法として、光電流値をモニタしながら Cs の蒸着量を捕捉する方法を採用している。そのため、真空蒸着装置へのレーザー光導入システム、また光電流値測定システムを構築した。レーザー光の導入により、サンプル作製と量子効率測定を同時に行うことが

できるシステムになっている。

・比較サンプルとして用いる、従来型 NEA 膜を施したガリウム砒素系半導体のための蒸着手段となる、O ガス導入のシステムを、セシウムテルライド薄膜蒸着槽に、合わせて備えている。

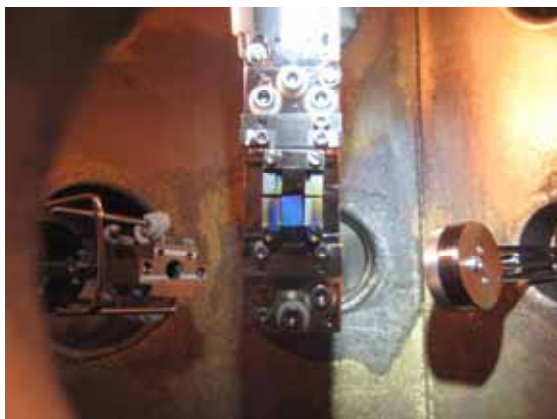


図 1：薄膜作製槽の内部の写真。中央のブルーに見えるものがセシウムテルライド薄膜。

(2) シンクロトロン光を用いた光電子分光測定

・モリブデン基板上的セシウムテルライド薄膜の光電子分光スペクトルを測定した。この測定によって、薄膜作製からの時間経過とともに、電子親和力が経時的に変化することを突き止めた。このとき、同時に価電子帯付近のスペクトルも収集し、その関係を分析している。セシウムテルライドについての同様の報告例は存在せず、全く新しい知見を得るに至った。

・一連の光電子分光測定を終了したセシウムテルライド薄膜サンプルの Auger 電子分光測定を行った。その結果、酸素や炭素のピークは検出限界以下であり、電子親和力の経時変化は、経時的に表面が汚染したために起こったものではないことが明らかとなった。また Cs と Te のピーク比や散乱断面積比により測定したサンプルの組成比を見積もったが、本研究の作製方法では、一般に言われている Cs_2Te ではなく、 Cs_7Te などのものもできていることがわかった。この場合でも、量子効率などの性能には影響は認められなかった。

・現在、偏極電子源として世界で最も有望視されているものの一つである、アルミを混晶したガリウムヒ素系半導体上に、従来型 NEA 膜を作成し、光電子分光測定を行った。電子親和力はわずかにではあるが、負を示した。本研究の装置を用いて、特殊技術とされてきた従来型 NEA 膜を作製することに成功している。測定結果から、価電子帯上端は、NEA 膜を施す前と比べ、高束縛エネルギー側へ移

動することがわかった。

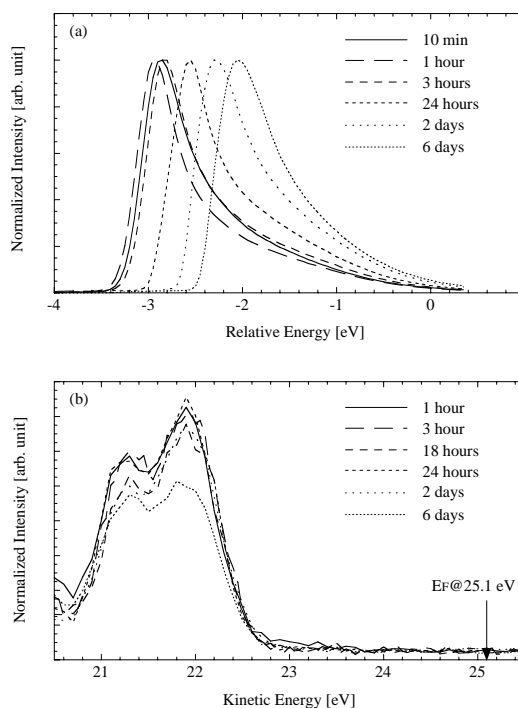


図 2：光電子分光スペクトル

- (a) 低束縛エネルギー側の立ち上がり付近。立ち上がり位置が電子親和力に相当する。
- (b) 価電子帯上端付近。価電子帯のスペクトルには経時変化が見られるものの、上端に経時変化は認められない。

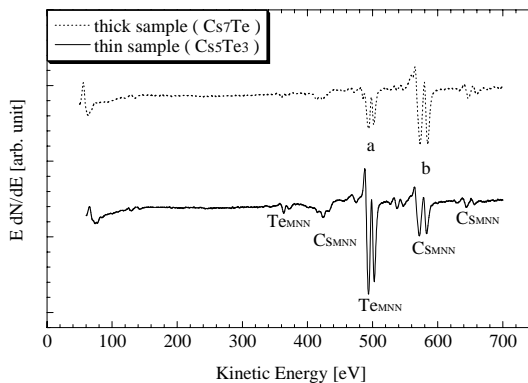


図 3：Auger 電子分光スペクトル

(3) Cs/Te 型 NEA 膜の可否

2008 年夏に、数々試した薄膜作製条件の中から、Cs と Te を組み合わせた NEA を示すことが見込まれる薄膜作製方法を発見した。本研究の装置では、直接的に測定することが困難であるエネルギーギャップについては、文献値を使用した。サンプルの電子親和力が約 $-1eV$ であることを測定している。この値は、従来型 NEA 膜をしのぐ値である。Cs/Te 型

NEA 膜を実現することが可能であることを示す結果であり、また、大きく負である電子親和力から、長時間耐化する可能性も高いことが結論される。

アルミを混晶した、エネルギーギャップが広いガリウム砒素系半導体超格子は、従来型 NEA 膜であっても、長寿命を示すことが報告されているが、本研究の Cs/Te 型 NEA 膜と組み合わせ、超長耐久 NEA 型半導体光陰極の実用化に向けての応用研究の開始が待望される。

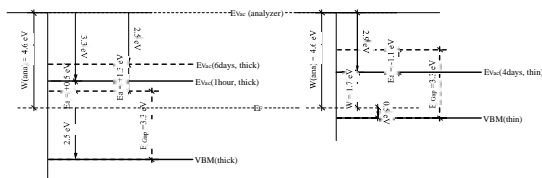


図 4：エネルギーダイアグラム

(4) 他分野との融合と協力

・本研究は、加速器のための光陰極の研究でありながら、加速器利用の側にも立った研究である点が特色である。今や光陰極は、加速器分野単独では突破できない技術革新を要求されており、シンクロトロン光を利用し発展して来た基礎物性物理や材料科学・工学の知見を循環させる必要がある。本研究は、その循環の端緒となりつつある。

・本事業により、佐賀大学において、シンクロトロン光を利用する基礎物性物理分野の研究者にも参加して頂き、光陰極（フォトカソード）の研究会を開催した。加速器科学分野はもちろん、電子顕微鏡の装置開発と観測の両分野、材料科学・工学分野の研究者の方々にも参加して頂くことができ、まさに分野をまたいだ研究交流・協力の礎を築いているところである。

本事業から始まったこの研究会は、本事業の手を離れ、翌年には理化学研究所にて開催され、さらに本年度は名古屋大での開催が予定されている。現在は、やや電子顕微鏡分野の研究者が優勢を占めるが、フォトカソード科学分野の分野横断的な研究グループが築かれている。本研究会をきっかけとした、相互の協力により成り立つ幾つかの共同研究が進行中である。

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 0 件)
執筆中

〔学会発表〕(計 5 件)

杉山陽栄、小川浩二、東純平、高橋和敏、

鎌田雅夫、「セシウムテルライド薄膜フォトカソードの電子親和性」、第 21 回日本放射光学会年会、2008、査読無し

鎌田雅夫、杉山陽栄、高橋和敏、東純平、Jiajun Gu、Wang Zhang、Di Zhang、郭其新、「蝶々をテンプレートとする ZnO の状態分析」、第 21 回日本放射光学会年会、2008、査読無し

杉山陽栄、小川浩二、東純平、高橋和敏、鎌田雅夫、「セシウムテルライド薄膜フォトカソードの電子親和性」、日本物理学会第 63 回年次大会、2008、査読無し

杉山陽栄、「シンクロトロン光利用によるナノ薄膜フォトカソードの電子親和性について」、第 1 回フォトカソード研究会、2008、査読無し

H. Sugiyama, K. Ogawa, J. Azuma, K. Takahashi, and M. Kamada, "Photoemission Spectroscopic Study of Cesium Telluride Thin Film Photocathode", Workshop on sources of polarized electrons and high brightness electron beam, 2008, 査読あり

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

なし

取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山 陽栄 (SUGIYAMA HARUE)

佐賀大学・シンクロトロン光応用研究センター・非常勤博士研究員

研究者番号：70444867

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし