

立 S22-08

真空蒸着装置の窓部の蒸着金属による汚染に関する研究

Study on detection of metal-pollutions adsorbed on windows of vacuum evaporator chamber

田淵 雅夫^a, 恵良 淳史^b
Masao Tabuchi^a, and Atsushi Era^b^a名古屋大学 VBL, ^b名古屋大学大学院工学研究科^aVenture Business Laboratory, Nagoya University, ^bGraduate School of Engineering, Nagoya University

真空蒸着装置の Be 窓部分に吸着した 1 原子層相当以下の量の Cs 原子を立命館大学の SR 光を用いた蛍光 X 線収量測定で検出することが可能かどうか、また、その量が 0.1 原子層相当程度に少なくなっても判定ができるかどうかをモデル試料に対する測定によって検討した。結果として、1 原子層程度の Cs は十分に検出可能であることが分かったが、その定量性や検出限界については今後の検討課題となった。

It was studied if Cs atoms adsorbed on a Be window of a vacuum evaporator can be detected using SR at Ritsumeikan University. As the result, when the amount of the adsorbed Cs atoms was as much as 1 atomic layer, it was surely detected by the Cs-L fluorescence X-ray yield measurement for about 30 min. On the other hand, the accuracy on the quantitative evaluation and how low amount of Cs can be detected should be checked in the future.

Keywords: Negative electron affinity (NEA), Cs, GaAs, Fluorescence X-ray yield, XAFS

背景と研究目的: GaAs 結晶表面に Cs を蒸着することで、表面の電子親和を負にする(半導体バルク中の伝導帯のエネルギー準位より、表面の真空準位を低くする)ことができると考えられており、NEA(negative electron affinity)表面と呼ばれて電子源への利用が進められている。NEA表面の大きな利点は、半導体の伝導帯に電子を励起すると、それを電流として外部に取り出せることである。従ってNEA表面を利用して作られる電子源では、1) 光励起などによって電流のコントロールができ、パルス動作、高周波動作する電子源にできる、2) 取り出される電子のエネルギーや運動量の分布は半導体の伝導帯中に電子があった時の分布で決まるため、エネルギー分布の小さい、低エミッタンスの電子源とすることができる、という特徴がある。このため、NEA表面は次期PFに計画されているERLの電子源(フォトカソード)にも利用されようとしている。

このように、NEA 表面は高い潜在能力を秘めているが、実際には半導体表面に Cs がどのような形で吸着し、どのような構造を作り、どのような原理で負の電子親和力が得られて

いるかについては、今だ未知の部分が多い。原理については、表面双極子(電気二重層)モデルが提案されているが、表面構造が未知の現状では本当に正しいかどうかの判断は難しい。また、Cs 蒸着した GaAs 表面を NEA 表面として活性化させる(負の電子親和力を得る)ために、Yo-Yo 法と呼ばれる独特の手法で微量の酸素を導入する手続きが必要で、このような手続きが必要なことも NEA 表面を理解するのに複雑な物理があることを示唆している。

NEA 表面が応用上極めて重要であるにも関わらず、その構造や原理について未知の部分が多いのは、NEA 表面が極めて繊細で、超高真空中で NEA 表面を形成した後、これを大気中に取り出すことができないからである。このため、NEA 表面を調べるためには、NEA 表面作製装置を何らかの評価装置中に持ち込むことが必要で、これまで実際に何かの評価を行なった報告は少ない。

このような状況に対して、我々は NEA 表面作製装置を PF や Spring8 などの XAFS 測定ラインに持ち込み、超高真空中で形成された NEA 表面をそのまま測定し、さらには、NEA

表面の形成過程を観察することを計画した。NEA 表面作製装置は、この実験のために新たに設計作製された。XAFS 測定を行う上で重要となるのは、装置内の超高真空を保ちつつ、装置にX線を導入する Be 窓の存在である。しかし、ここで問題となるのは、高温でのベーキングができず、薬剤等での洗浄も難しい Be 窓に、Cs が吸着してしまうことである。装置を XAFS 測定系中に設置できるようにコンパクトに設計した為、装置内の試料位置と Be 窓の間の距離は 10cm 程度しかなく、試料に Cs を蒸着する操作を行うと同時に、Be 窓にも Cs が吸着する可能性を否定できない。しかし、もし Be 窓に Cs が吸着してしまい、その量が試料表面の Cs からの信号と比べられるほどの量になると、測定がそもそも成立しなくなる。そのチェックは、PF 等で XAFS 測定を行う際、先に Be 窓を測定対象として Cs の蛍光 X 線収量の測定などを行えば可能であるが、その場合には、もし Be 窓から大量の Cs が検出されてしまうと、その先の実験が行えなくなる。従って、Be 窓に付着する Cs の量を事前にチェックする手段が望まれた。

そこで、今回の申請では、将来のこのようなチェックを立命館大学の SR を用いた Cs の蛍光 X 線収量測定で行うことができるかどうかを明らかにするため、Be 窓に付着している程度の量の Cs を検出できるか、また、その量が XAFS 測定に影響を及ぼすほどのものかどうかを定量的に判断できるだけの感度があるかどうかを、検討した。

実験： これまでの研究で、GaAs 表面に Cs を蒸着し NEA 表面として活性化している時、その表面には 2 原子層前後 (1×10^{15} 原子/cm²) 程度の Cs 原子が存在していることが分かっている。この量に近い Cs 原子が表面にある試料として、NEA 表面作製装置で Cs を蒸着し実際に NEA 表面を得た後に、大気中に取り出した GaAs 試料を準備した。この試料では、Cs の化学状態は変化してしまっているが、その量に大きな変化が無いことは事前の実験で確認してある。

このような試料に対して、立命館大学 SR センター、BL3 で Cs の蛍光 X 線収量を測る測定を行った。実験は立命館大学 SR センターの片山氏の全面的な御協力により遂行することができた。測定時の入射 X 線は Si(220) 2 結晶分光器で分光し、エネルギーを 4.9, 5.2, 5.5 または 5.8 keV とした。検出対象は 4~5 keV の範囲にある Cs-L 蛍光 X 線とし、3 素子 SSD で検出し

た。このとき、入射 X 線は試料表面に対して 45 度で入射するようにし、蛍光 X 線の検出も同じく 45 度方向から行った(試料を挟んで、X 線の入射方向と検出方向の間の角が 90 度)。それぞれ入射 X 線エネルギーでの測定は約 30 分で行った。

結果、および、考察： 図に蛍光 X 線収量測定の結果を示す。色の違う線は、入射 X 線のエネルギーを変えて行った測定の結果を示し

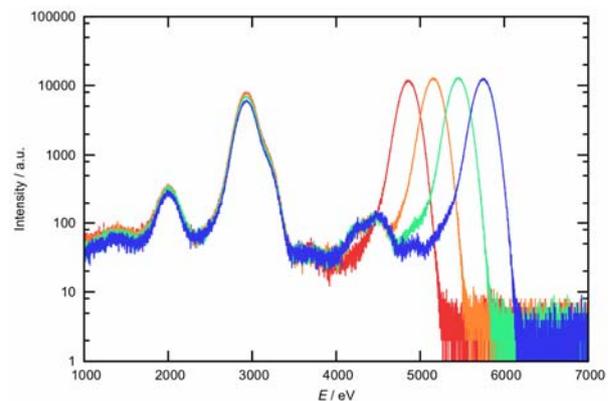


図 Cs が吸着した GaAs 試料に対する Cs-L 蛍光 X 線収量測定の結果。

ている。4~5 keV の範囲を見ると、入射 X 線のエネルギーが Cs-La 殻の励起エネルギー以下となる赤線のスペクトルには存在しないピークが、オレンジ、緑、青のスペクトルでは測定では確認できる。これらは、Cs-L の蛍光 X 線ピークで、立命館大学の SR によって、1~2 原子層程度の量の Cs が 30 分程度の測定で確認できることが分かった。

PF で行った同様の実験から得た目安では、Cs の量が 1 原子層の時、GaAs 基板による散乱 X 線の強度に対して Cs-L の蛍光 X 線強度は約 5% 程度となる。今回の試料中の Cs 量もおおよそ同程度を予想していたが、図を見ると蛍光 X 線強度は散乱 X 線強度の約 1% 程度であった。この結果が、試料上の Cs の量が実際に少なく 1/5 原子層程度だったことを意味しているのか、測定系や測定条件を厳密に揃えられていないことによる変化なのかは今後の検討課題である。いずれにしても、Be 窓に、今回ほどの量の Cs が吸着していると XAFS 測定は難しくなるので、実際に検出したい Cs の量は、今回の 1/10 程度以下であるが、その検出が信頼性を持って行えるかどうか今後併せて検討していきたい。

謝 辞 立命館大学 SR センターでの蛍光 X 線収量測定に際し、全面的な御協力を頂きました片山真祥氏に感謝致します。