



電子収量法による観察深さの検討 (Te, Zn, Ga, As)

Lin Yunli, 鈴木凌輔, 久能俊介, 箱木響, 重松航太, 安藤大生, 西村蒼生, 田淵雅夫
名古屋大学

キーワード : XAFS 測定的基础、電子収量法、電子による観察深さ

1. 背景

XAFS測定は吸収分光測定なので試料に入射する光の強さ I_0 と透過する光の強さ I_1 を測定し、 $I_1 = I_0 \exp(-\mu t)$ の関係から、吸光度 μt を求めるのが基本的な測定になる。しかし透過光が測定できない場合でも、吸収の結果として発生する何らかのシグナルを測定して XAFS スペクトルを得る測定も行われる。電子収量法による XAFS 測定はその例で、X線吸収の結果起こる電子放出を測定する。放出される電子の脱出深さは、X線の侵入/脱出深さより小さいので、表面敏感な測定法として利用されることが多い。しかしこの方法によって具体的にどの程度の深さまで観察されるのか、系統だって与えられ、広く認められている具体的な数値はあまりない。目安として、物質中を運動する電子の平均自由行程(図1)を挙げて数 nm~10 数 nm 程度と言われることもあるが、これは目安に過ぎないことも知られている。そこで我々は、なるべく系統立った数値として脱出深さを具体的に明らかにする研究を行ってきた。今回、その継続として対象物質を ZnTe とし、対象吸収端を Te-L, Zn-K, Ga-K, As-K とした測定を行った。

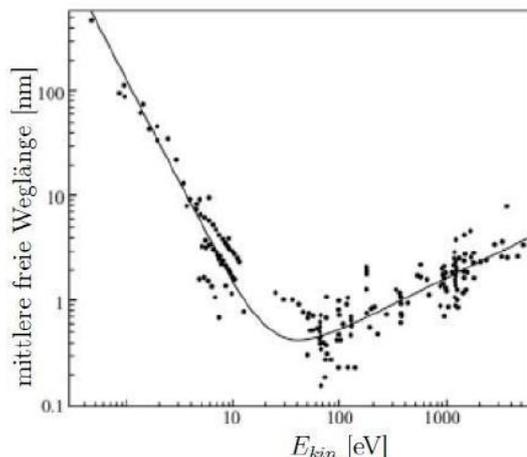


図1 web で「electron mean free path」で検索して出てきた図の一例

2. 実験内容

試料として、GaAs 基板の上に MBE 法で作製された ZnTe 薄膜を準備した。膜厚 10nm 程度から 500nm 程度の一連の試料を準備したが、正確な厚さは別途エリプソメトリー法、X線反射率法によって測定した。転換電子収量法により測定したとき Te, Zn, Ga, As のシグナルがどれほど強く得られるかをそれぞれの XAFS スペクトルの吸収端でのエッジジャンプの大きさから見積もることで、Te-L, Zn-K, Ga-K, As-K を励起したときの電子の脱出深さをそれぞれ推定した。

3. 結果

図2に測定の結果得られた Zn-K 吸収端(上)、Ga-K 吸収端の XAFS スペクトルを示す。Zn は膜中に含まれている元素なので、膜厚が増大するとその量が増え信号強度が増しているのがわかる。一方、Ga は基板に含まれている元素なので、膜厚が増大するとしだいに膜を透過できなくなり信号強度が減衰している。他の2元素、Te と As については、Te は膜を構成する元素で、As は基板に含まれる元素なので、Te は Zn と同様の、As は

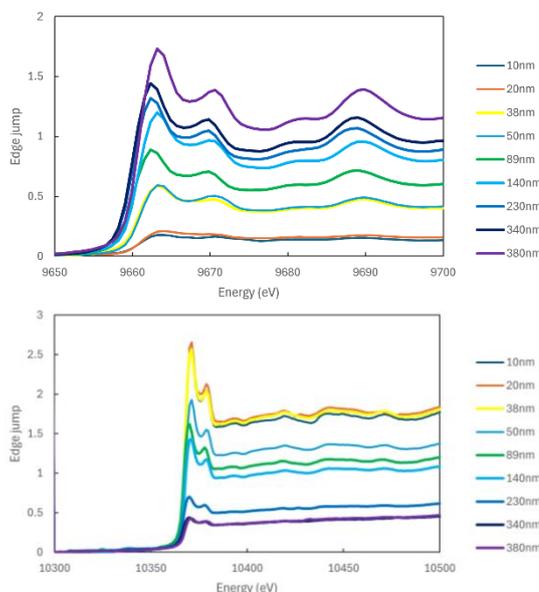


図2 Zn-K 吸収端(上)、Ga-K 吸収端で測定された XAFS スペクトル。Zn は膜中に含まれている元素なので膜厚が大きくなると信号強度が増す。Ga は基板にある元素なので逆に信号強度が減少する。

Ga と同様の变化を示す。

Zn、Ga の XAFS スペクトルのエッジジャンプの大きさを膜厚に対してプロットしたものを図3に示す。Zn については膜厚が増大するにつれて信号強度が大きくなっていく様子が、Ga については逆に減少していく様子が明確に観察できる。図中には、このようなプロットに対して、膜厚を d 、観察深さを L としたとき、エッジジャンプの大きさ($\Delta\mu t$)が

$$\Delta\mu t = \beta \left\{ 1 - \alpha \exp\left(-\frac{d}{L}\right) \right\}$$

に従うと仮定して行ったフィッティング結果を点線で示した(α, β はフィッティングパラメータ)。Te、As についても同様のプロットとフィッティングを行うことでそれぞれの吸収端での観察深さ L を求めることができる。

得られた観察深さ L を、吸収端のエネルギーに対してプロットした結果を図4に示す。図4には、過去に ZrO_2 (膜)/Si(基板)、 ZrO_2 (膜)/GaAs(基板)試料のSi、Zr-L、Ga-K、As-K、Zr-K、Hf-L(Hfは ZrO_2 に含まれる不純物)について得た結果を併せて示す。従来測定してきた ZrO_2 を通過する観察深さの測定結果(黒記号)と今回のZnTe膜を通過する観察深さの測定結果(青記号)は少し傾きが異なっているが、吸収端のエネルギーが大きくなるにつれて観察深さが大きくなる傾向は同様であった。

傾きが異なるのは、電子が透過する膜の種類(ZrO_2 、ZnTe)が異なるからで、むしろ当然ではあるが、今後はこの結果をもとに、他の物質ではどうなるかを予測できるよう、理論的な側面からも検討を行い理解を深めたい。

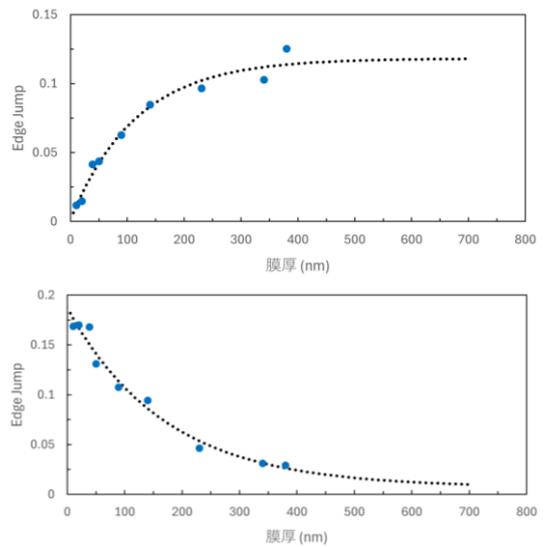


図3 膜厚に対するエッジジャンプの大きさをプロットした図。上はZn-K吸収端、下はGa-K吸収端。

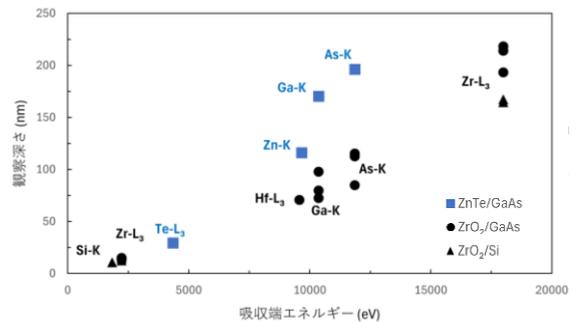


図4 観察深さ L の、吸収端エネルギー依存性