

- ・ 2 日目 3 日目

- ・ 実験課題

スライドガラスにアルミニウムを 2 種類、蒸着させる。その膜厚を多重干渉法で測定する。

- ・ 目的

アルミニウムの蒸着の方法を学ぶ。そして、膜厚の理論値と測定値を比較する。

- ・ 使用器具

真空蒸着装置、電離真空計、スライドガラス、アルミニウム線(3.0cm、1.5cm)

蒸着用電源(PA18-5B TEXIO×2、KENWOOD PR18-5A)

- ・ 実験方法

1 日目の排気特性を測定した時と同様の操作によりガラスベルジャー内を真空にした。メインバルブを閉じ、ガラスベルジャーを開放した後に、中央に約 1/3 の範囲にアルミホイルを巻き付けたスライドガラスを置いた。また、ガラスベルジャー内にあるタングステン線に 3.0cm に切ったアルミニウム線を取り付けた。なお、この工程はガラスベルジャー内に手の表面の皮脂や汚れが入らないように、手袋をつけて行った。ガラスベルジャーを再び取り付けて、三方向バルブを Rough 方向にした。気圧の減少がなくなったところで、三方向バルブを Fore 方向にしてメインバルブを開放した。気圧が 0.2[Pa]になった時に、タングステン線に電流を 1A/10s のペースで流し始めて、13.6A になった地点でアルミニウムが蒸着を始めた。アルミニウム線が全て蒸着した後、電流を 2A/10s のペースで下げていき、10 分経過したところでガラスベルジャーを開放した。次に、タングステン線に 1.5cm のアルミニウム線を取り付けた。また、スライドガラスのアルミホイルを取り外し、蒸着したアルミニウムの端から約 1/3 が覆われるようにアルミホイルを再び巻き付けた。ここで、1 回目に蒸着したアルミニウムが全て覆われないように注意した。スライドガラスをガラスベルジャー内に取り付けて、先ほどと同じようにアルミニウムを蒸着させた。

メインバルブを閉じて、スライドガラスをガラスベルジャーから取り出した。そのスライドガラスを顕微鏡で観測した。

・実験結果

蒸着後、ガラスペルジヤーにはアルミニウムが付着していた。

顕微鏡でアルミニウムの膜厚を観測すると図 2-1 と図 2-2 のようになった。

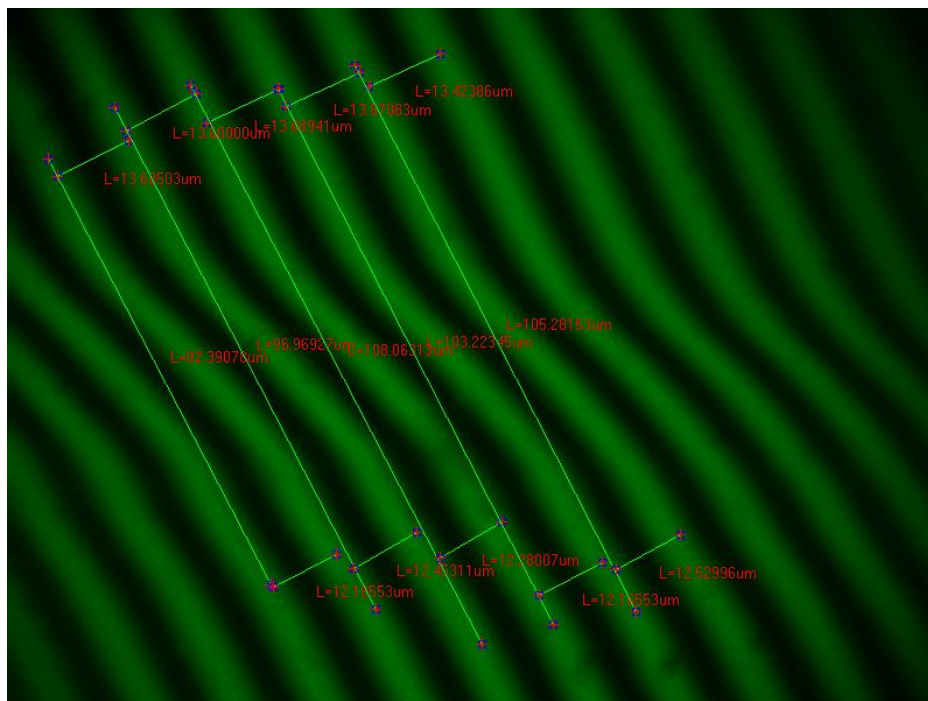


図 2-1 3.0cm アルミニウム線側の膜厚

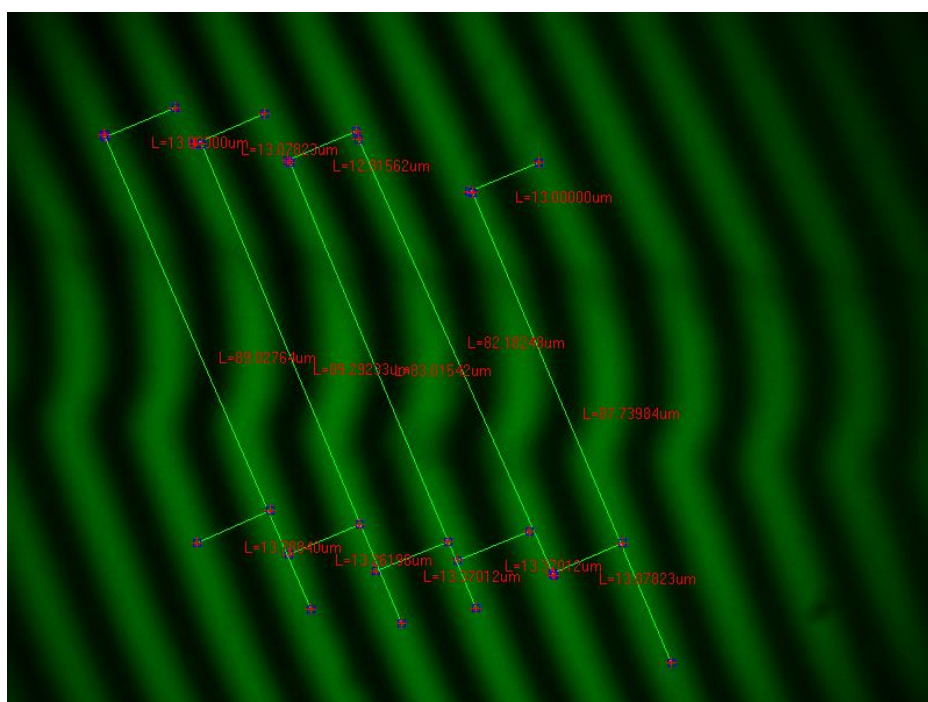


図 2-2 1.5cm アルミニウム線側の膜厚

図 2-1 と図 2-2 のように膜の間の長さを a としてその膜から垂線を引き、その垂線と隣の膜との距離を b とした。膜厚の大きさを t、顕微鏡の光の波長を λ ($=532\text{nm}$) とすると

$$t = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{b}{a} \quad \text{---(b1)}$$

として、測定値を求めることができる。

3.0cm アルミニウムの膜厚の測定結果は

$a=13.6583(\mu\text{m})$ $b=12.31884(\mu\text{m})$ となった。

1.5cm アルミニウムの膜厚の測定結果は

$a=13.01058(\mu\text{m})$ $b=13.37377(\mu\text{m})$ となった。

なお、a と b はそれぞれ 5 か所ずつ測定して平均値を出した。

式(b1)を用いると、膜厚はそれぞれ

$$t(3.0\text{cmAl 測定値}) = \frac{532(\text{nm}) \times 13.37377(\mu\text{m})}{2 \times 13.01058(\mu\text{m})} = 273.4254(\text{nm})$$

$$t(1.5\text{cmAl 測定値}) = \frac{532(\text{nm}) \times 12.31884(\mu\text{m})}{2 \times 13.6583(\mu\text{m})} = 239.9922(\text{nm})$$

となった。

また、理論値について考える。蒸着する際にタングステン線に掛けたアルミニウム線がスライドガラス間(rとする)との距離で等方的に球状に拡散し、アルミニウム線が全てスライドガラスに蒸着すると仮定した。その仮定した球の表面積と膜厚との積がアルミニウム線の体積であると考えられる。アルミニウム線の直径は 0.5mm でアルミニウム線とスライドガラス間の距離は 23mm であったので

$$t(3.0\text{cmAl 理論値}) = \frac{\left(\frac{0.5(\text{mm})}{2}\right)^2 \times \pi \times 30(\text{mm})}{4 \times \pi \times (23(\text{mm}))^2} \times 10^6 = 886.1059(\text{nm})$$

$$t(1.5\text{cmAl 理論値}) = \frac{\left(\frac{0.5(\text{mm})}{2}\right)^2 \times \pi \times 15(\text{mm})}{4 \times \pi \times (23(\text{mm}))^2} \times 10^6 = 443.0529(\text{nm})$$

となった。

理論値と測定値の膜厚を縦軸として、アルミニウム線の長さを横軸にしたグラフは図 2-3 のようになった。

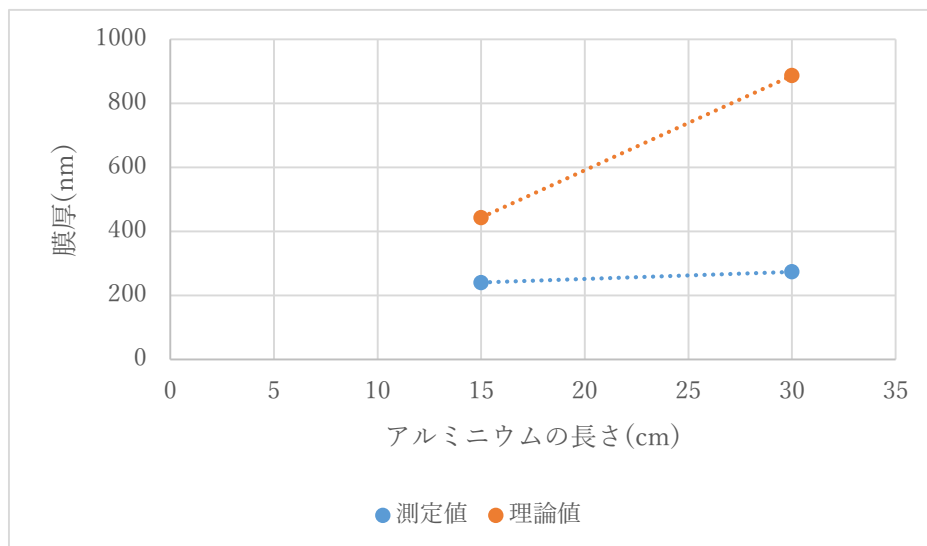


図 2-3 アルミニウムの長さ と膜厚のグラフ

理論値はアルミニウムの長さ に比例するグラフになった。しかし、測定値はアルミニウムの長さに対して比例する関係にはならず、変化はあまり大きくなかった。

・考察

まず、膜厚の測定値と理論値に大きな差があることについて考える。測定値を求める際にアルミニウムは一点から等方的に拡散すると仮定した。実験結果からガラスベルジャー内壁にはアルミニウムが付着していたことから明らかにアルミニウム線とスライドガラス間の距離以上をアルミニウムは拡散したと考えられる。また、ガラスベルジャー内壁に付着したアルミニウム質量分はスライドガラスには付着していない。以上 2 つの理由から測定値と理論値は必然的に誤差が生じると考えた。

また、顕微鏡を用いた測定方法にも測定誤差が生じる原因となる要素が考えられる。干渉縞の間隔 a と干渉縞のずれ b をそれぞれ測定する際に干渉縞の間隔を測定した側から 1 点のみを基準として垂線を描いた。つまり完全に目視でのみの垂線となった。ここで、干渉縞の間隔を測った側の干渉縞上に 2 点以上を基準として、その線を結ぶように直線を引くと垂線が今回の実験の測定方法よりも正確に垂線を表現することが可能になると考えた。また同様に干渉縞の間隔 a を測定する際にも垂線を引く必要がある。その時にも 1 か所のみではなく 2 か所以上で垂線を引き、その平均をとることで更に正確な実験結果を得られると考えた。

図 2-4 として、改善した測定方法の例を載せる。

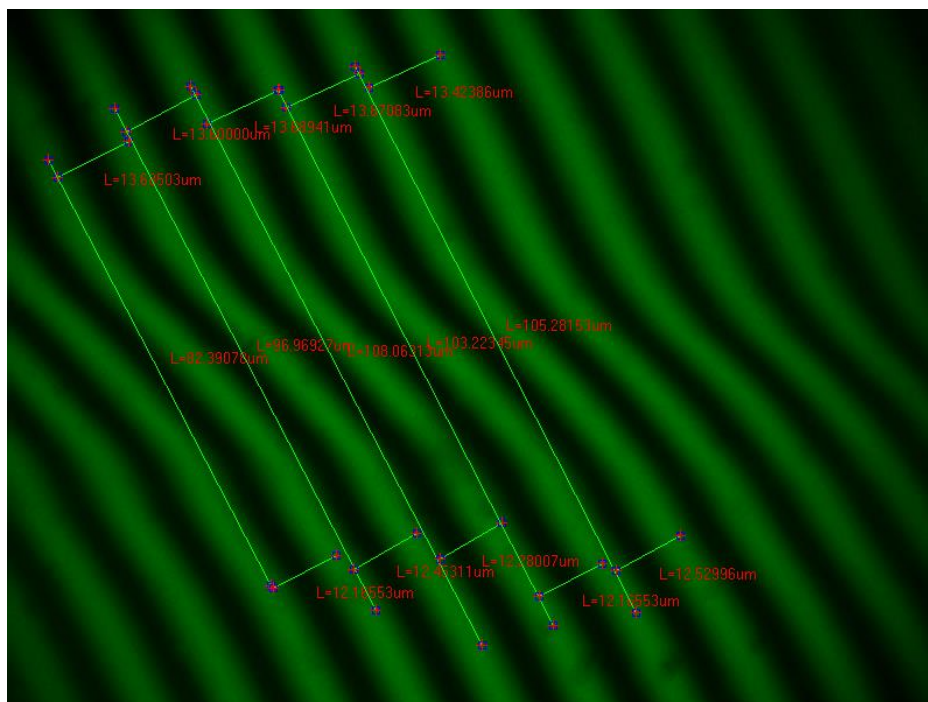


図 2-4 正確な実験結果を得るための測定方法例

今回の実験では膜厚を測定するのに光の干渉を用いて測定を行った。直接的に膜厚を測定するには電子顕微鏡で直接断面を測定する方法が考えられる。しかし、電子顕微鏡を用いるとスライドガラスの薄い側面を立てて置く必要がある。従って非常に不安定な状況での測定となる上にスライドガラスが倒れて破損する可能性が大きいので電子顕微鏡を用いるのは現実的ではないと考えた。

一方で光の干渉を用いた顕微鏡を用いる場合には接触すると破損するような感度の大きい物質の膜厚を測定するのに適していると考えられる。この顕微鏡の原理としては、膜厚のある基板に光を入射させた時に膜の表面で反射された光と膜の裏面で反射した 2 つの光の干渉によって観察が可能となる。2 つの光の位相が一致して強め合うときには図 2-1 と図 2-2 の様に緑色の光が強く見えて、弱め合うときには黒く見えると分かる。

なお、空気中の屈折率を 1.0 とした時にアルミニウムの屈折率は 1.373、スライドガラスは 1.5 より 2 つの光はどちらも屈折率の小さな物質から大きな物質へと入射していることから反射時に位相のずれは起こらないと考えられる。