

2008 年度 ETL プログラム

Prog2. 光学コーティング

電子ビーム蒸着器を用いた  
誘電体多層膜ミラーの作製

中川研究室 渡邊 智貴

## [概要]

電子ビーム蒸着器を使って誘電体多層膜高反射ミラーを作製します。その後、ミラーの特性を調べるための簡単な実験を行います。

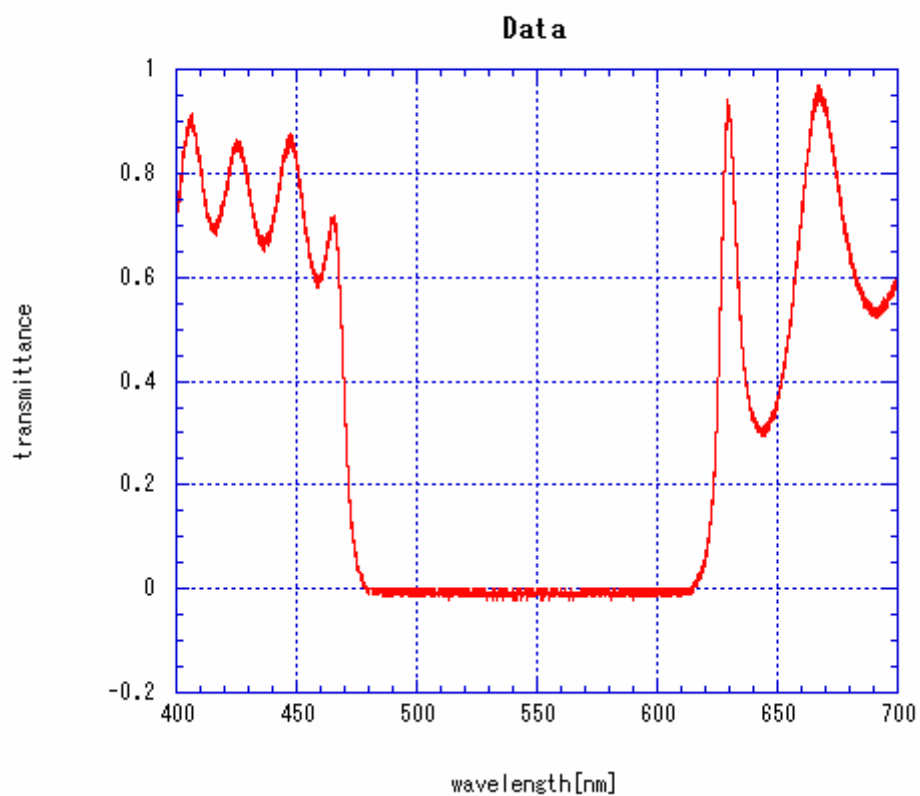


図 1. 誘電体多層膜高反射ミラーの透過率スペクトル（中心波長:532nm）

## [目的]

薄膜による光干渉の物理を、その応用である誘電体多層膜高反射ミラーの作製及び実験を通して体感、理解する。

## [主なミラーの種類と特徴]

### a. 金属ミラー



金属ミラーは、基板の上に金属を積層したミラーです。私たちが普段、至る所で使用している鏡も金属ミラーの一つです。金属ミラーには以下のような特徴があります。

- 非常に広範囲な波長の光を反射することができる。
- 金属自身の吸収が大きく、反射率は通常 90%程度。
- ダメージに弱い
- 作成が容易で、比較的安価。

金属ミラーに用いられる代表的な金属材料には、以下のものがあります。

表 1. 代表的な金属材料の特徴

| 金属材料       | 高反射波長範囲 | 屈折率(n-ik)@650nm | 蒸発温度(°C)  |
|------------|---------|-----------------|-----------|
| Al(アルミニウム) | 紫外～赤外   | 1.3-i7.11       | 1100～1300 |
| Ag(銀)      | 青～赤外    | 0.07-i4.2       | 1100～1200 |
| Au(金)      | 赤外      | 0.142-i3.374    | 1100～1300 |

Design: Reflectance

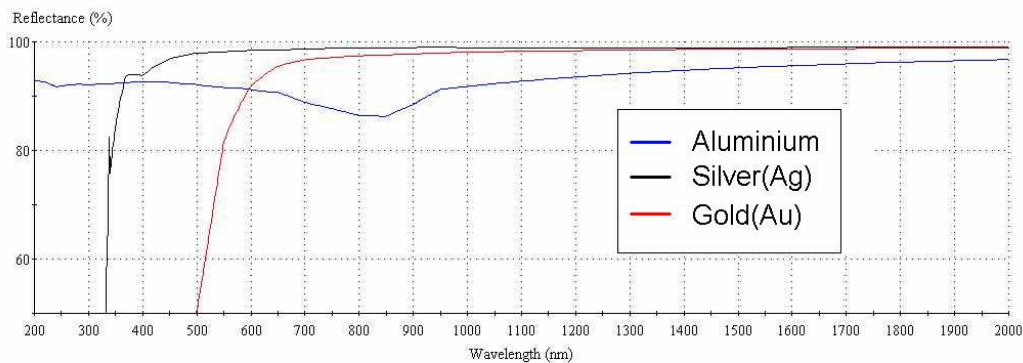


図 2. 代表的な金属材料の反射率スペクトル

## b.誘電体多層膜ミラー



誘電体多層膜ミラーは、基板上に誘電体を複数積層したもので、光の干渉効果を利用しています。誘電体多層膜ミラーには以下のような特徴があります。

- 波長選択性が大きく、波長ごとに反射と透過に分かれる。
- 吸収が小さく、反射率を大きく高めることが可能。
- ダメージに強い。
- 作成が大変で、比較的高価。

誘電体多層膜ミラーに用いられる誘電体材料には、以下のものがあります。

表 2.主な誘電体材料の特徴(可視の代表的なもの)

|            | 誘電体材料                   | 透過領域( $\mu\text{m}$ ) | 屈折率       | 蒸発温度( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------|-------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|
| 高屈折率<br>材料 | $\text{TiO}_2$          | 0.35~12               | 2.2~2.5   | 1900~2200                  |
|            | $\text{Ta}_2\text{O}_3$ | 0.35~10               | 2~2.3     | 1900~2200                  |
| 低屈折率<br>材料 | $\text{SiO}_2$          | 0.16~8                | 1.45~1.47 | 1800~2200                  |
|            | $\text{MgF}_2$          | 0.13~10               | 1.38      | 1300~1600                  |

今回は、高屈折率材料として  $\text{TiO}_2$ 、低屈折率材料として  $\text{SiO}_2$  を使用します。

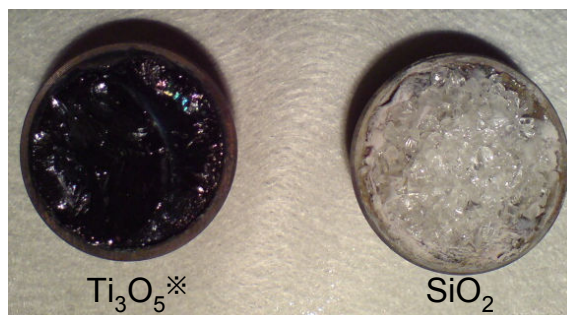
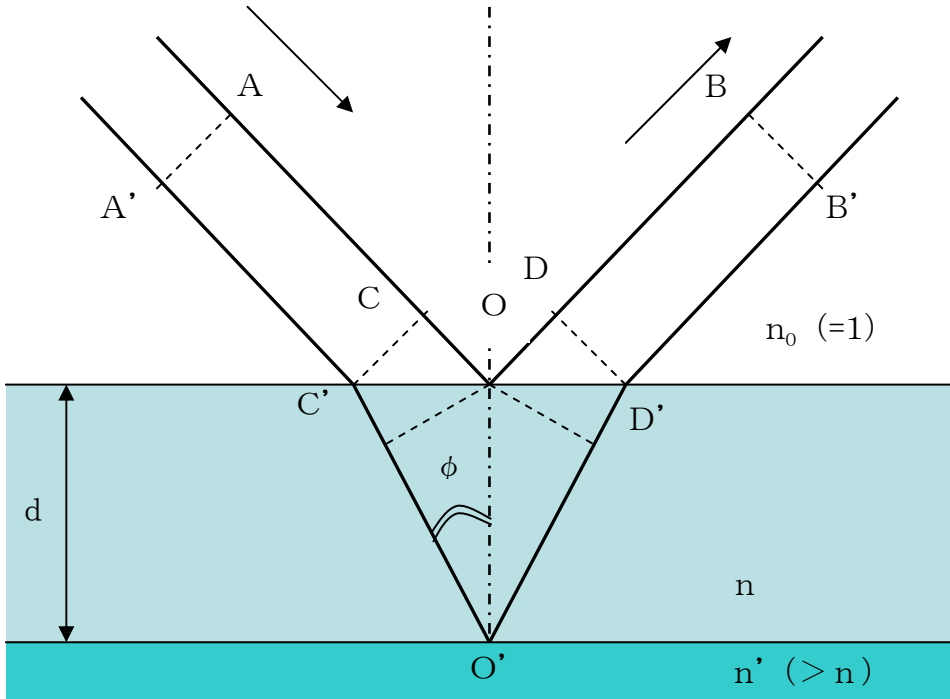


図 3.使用する蒸着材料

※ $\text{Ti}_3\text{O}_5$ は適切な酸素雰囲気中で蒸着させることで、 $\text{TiO}_2$ の膜が得られる。

[問題]

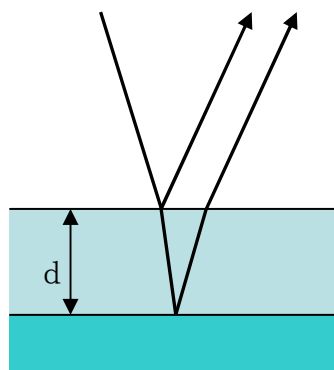
Q1. 薄膜による干渉



図の境界面で反射する光線について、光路  $A \rightarrow O \rightarrow B$  と  $A' \rightarrow C' \rightarrow O' \rightarrow D' \rightarrow B'$  の光路差はどう表されるでしょう？また、この間で生じる位相差はどう表されるでしょう？（空気中の光の波長： $\lambda$ ）

Q2. AR (Anti-Reflection) コート

レンズの表面からの反射を少なくするために、 $MgF_2$  をガラス表面に蒸着する。2つの境界面で反射した光が干渉して弱めあうように、膜厚を決めなければならない。



空気  $n_1=1.00$

$MgF_2$   $n_2=1.38$

ガラス  $n_3=1.50$

中心波長  $\lambda = 550 \text{ nm}$  の光が垂直入射する場合、 $MgF_2$  の最小の厚さ  $d$  はどのくらいになるでしょう？

[電子ビーム蒸着器]

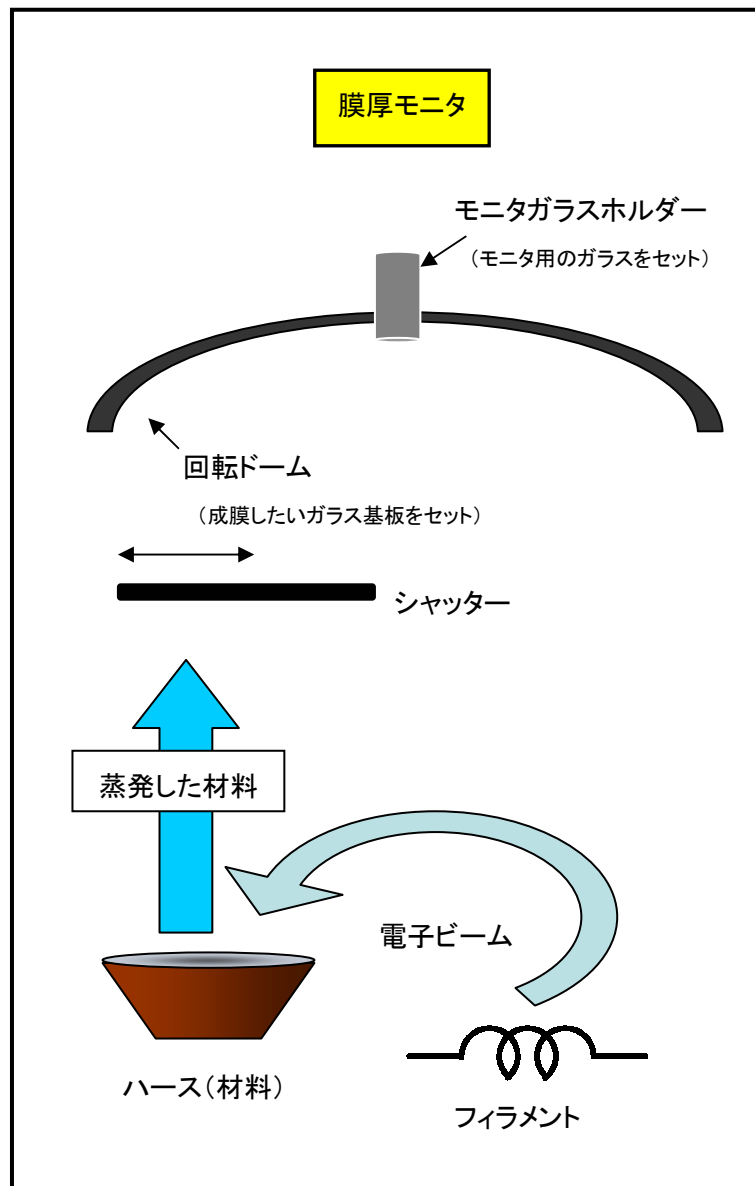


図4.電子ビーム蒸着器内の模式図

図は、今回光学コーティングを行う装置の模式図です。

フィラメント加熱によって放出された熱電子を電場によって加速し、電子の持つ運動エネルギーを利用して材料を直接加熱します。

蒸着中は、薄膜がガラス基板に積層されていく様子を、光学式膜厚モニタでリアルタイムに観測することで膜厚制御を行います。

### [膜厚モニタによる膜厚制御]

今回、みなさんには実際に膜厚を制御して、コーティングを行ってまいります。

右図に示した装置は、薄膜が積層されることで変化する反射光の光強度を出力します。

光電子増倍管の前には干渉フィルタが置かれていて、特定の波長のみが透過するようになっています。

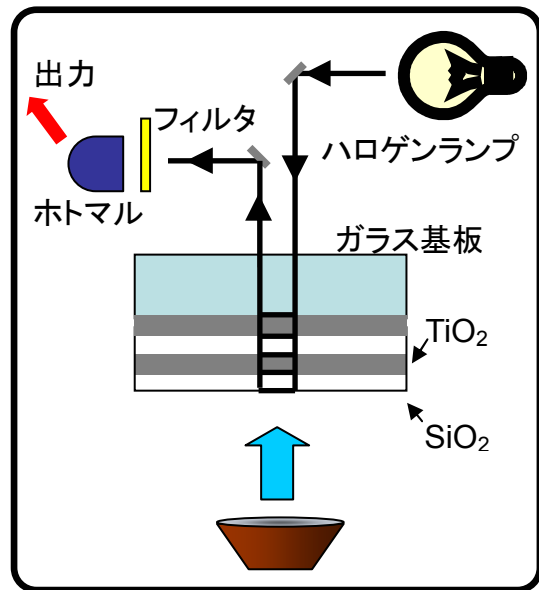


図 5. 光学式膜厚モニタの模式図

### [高反射コーティング]

高屈折率の層( $\text{TiO}_2$ )と低屈折率の層( $\text{SiO}_2$ )を、光学膜厚(nd)で $\lambda/4$  ずつ積層することで、それぞれの境界面で波長 $\lambda$ の光だけが干渉し、強め合っていくような構造の高反射ミラーを作ることができます。

図 6 は高反射コーティングのシミュレーションです。層数を増やしていくことで、反射率が増加していく様子が分かります。

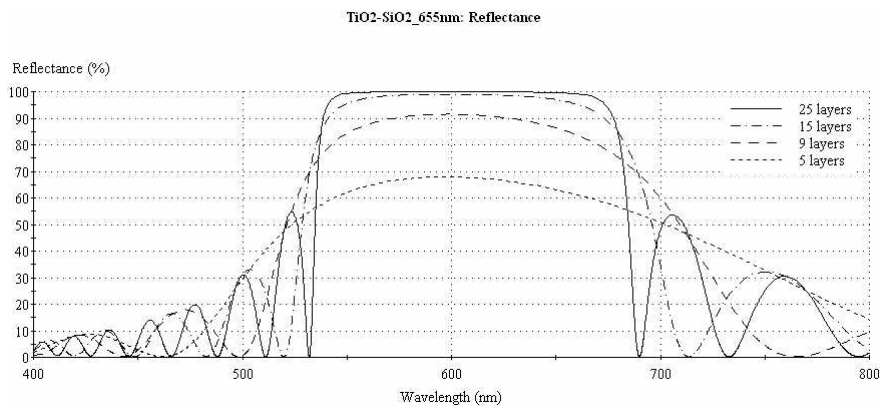


図 6. 高反射コーティングの各層数に対する反射率の推移

みなさんお疲れ様でした。

誘電体多層膜高反射ミラーの作製を通じて、光学の基礎である光の干渉効果について深い理解が得られたなら、今回の目標は達成です。

今回は、短い時間の実習で、ミラーの種類や蒸着材料については少ししか紹介できませんでした。みなさんの中には、これから様々なミラーを使用して実験を行う方もいると思います。波長や位相、偏光などの光のパラメータとミラーの特性との関係を理解し、実験に取り組んで下さい。

私の ETL を受講していただき、本当にありがとうございました。

#### [参考文献]

- ・ 光学薄膜の基礎理論・フレネル係数、特性マトリクス  
小檜山光信 著 (株) オプトロニクス
- ・ な~るほど! の波と光  
伊東敏雄 著 (株) 学術図書出版社
- ・ 平成 19 年度修士論文「反射位相制御光学素子のための光学薄膜生成の研究」  
引地学