

2011年3月

## サーモリフレクタンス法を使った薄膜における熱伝導率の測定

物質系専攻 47-096043 本間英智

指導教員:三尾典克(准教授)

キーワード:熱伝導率、吸収率、レーザー、薄膜

### 背景と目的

光学媒質中の光学吸収は、通常非遅延的または遅延的に熱励起として働く。すなわち、光のエネルギーから熱エネルギーへの部分的変換として現れる。高精度な光学的測定を行う場合、各光学素子は、このような光学吸収は低いことが望ましく、それによる効果の低減のため低吸収材料の選定・採用や光学素子の冷却などが行われている。デバイスの吸収はバルクによってのみ起こると考えられてきたが、 $\text{SiO}_2$ のような低吸収材料では実際の吸収値がバルクのそれから予想されるよりも高く測定されるなど、バルクの吸収だけでは説明できない現象が観測され、その説明として表面吸収という概念が生まれた。

デバイスの薄膜化・多層化が進むにつれその寄与は相対的に大きくなるため、表面吸収の研究は精力的に行われてきたが、幾つかの問題から今尚困難を伴っている。表面吸収の測定のためには薄膜内での温度分布や熱伝導率を知る必要があるからであるが、薄膜での熱の振る舞いは未だ不明瞭な所が多く、それらを知ることは難しい。

本研究ではレーザーに対する薄膜での吸収による温度変化を測定するとともに、表面吸収測定で必要となる熱伝導率を求める。

### 実験方法

本研究では、参照用に既知のパラメータを持つ Cr ハーフミラー、Al 全反射ミラー、値の分からないダイヤモンドライクカーボン(DLC)ハーフミラーを測定した。

DLC はシリカガラス上に条件を変えて成膜した物(五種)をサンプルとして用いた。裏面には減反射コーティングを行い、試料背面での反射を防いでいる。

最初に DLC の試料表面を光学顕微鏡で精査し、光学パラメータを測定した。

接着性の高くない材質の成膜には接着性改善のために基板との間に中間層を設けられることがあるが、今回の試料では中間層を用いなかった物は接着性が弱く、膜厚が厚いものほど表面構造に欠陥が見られた。光学パラメータにおいても同様の傾向が見られた為、表面の構造欠陥に起因すると思われる散乱が低い中間層を用いた試料を選んだ。

然る後に熱伝導率の測定を行った。

屈折率と体積は温度依存性を持つ為、温度によって反射率と透過率が変化することが知られている。逆に反射率の変化を追うことで、その観測点の温度変化を知ることができる。このように、透過率及び反射率の変化によって温度変化を測定する方法をサーモリフレクタンス法<sup>1)</sup>と呼ぶ。

図1は、実験の概略図である。ポンプ光の光源は1WのNd:YVO<sub>4</sub>レーザー、プローブ光は10mW

の Nd:YAG レーザーを用いた。

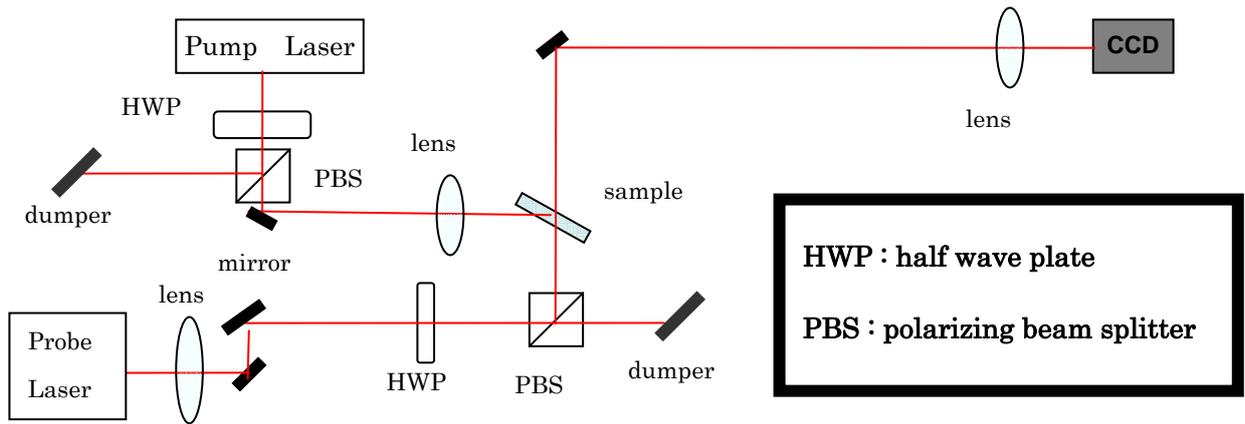


図 1 実験装置の概略図。

ポンプ光照射前後で CCD により透過光を画像として取り込み、それらの差分を取ることで、透過光強度変化の分布がわかる。これに準定常的に温度変化させて測定した透過率変化の温度特性を用いることで、温度分布を作成することが出来る。

### 結果と考察

ここでは Cr のハーフミラーでの結果だけを載せる。尚、Cr 膜の損傷を抑えるため、ポンプ光の入射強度は 0.195W に減光してある。

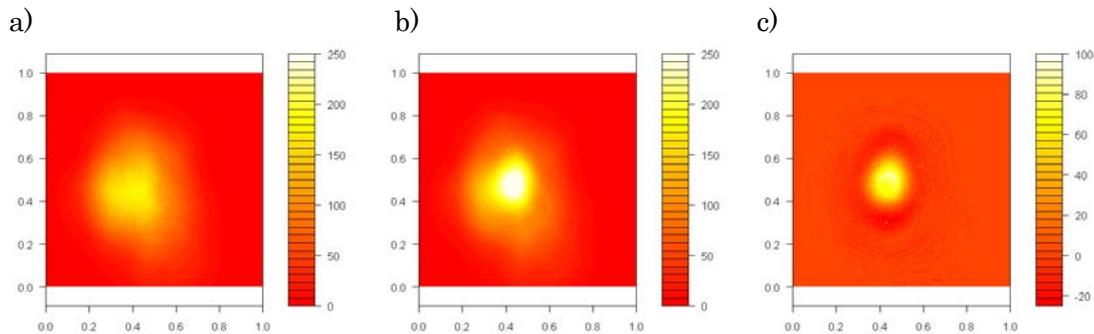


図 2 ポンプ光照射前(a)後(b)の透過光強度とその差分(c)。

尚、同様の測定をポンプ光のみで行ったが、有意な結果は得られなかった。そして図 2 の強度分布を、画像のピクセル数を実際のビーム径で規格化して実空間上の大きさに換算し、また透過率変化の温度特性によって温度変化に換算することで温度分布に直した。この温度特性は準定常的に温度を変化させて得た実測値である。

その結果得られた温度分布(T-r グラフ)を図 3(a)に示す。熱源から遠方では温度が距離に対してほぼ一次関数的に変化することが観察された。更にポンプ光強度を変化させたところ、T-r グラフの傾きは吸収量に比例することが分かった。

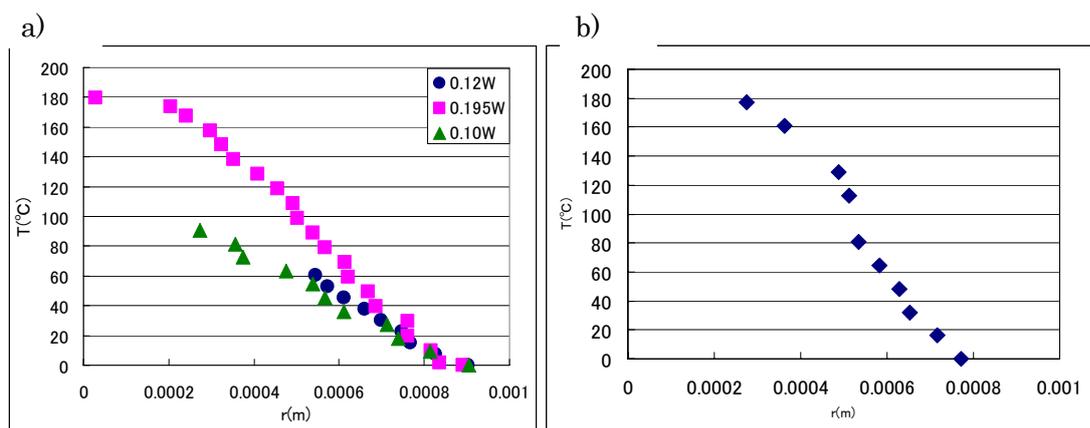


図3 ポンプ光の強度を変化させたときのCrの温度分布(a)とDLC(1W)の温度分布(b)。入射強度が0.12WのデータはCCDがサチレーションを起こしたため、途中までしかない。

DLCやAlについても同様の実験を行った。図3(b)にはDLCの結果が載せてある。これらのT-rグラフの相似比は、フーリエ則に基づいて考えれば吸収量と熱伝導率の逆数の積の比に等しいと考えられる。そこで透過率測定法で吸収率を求め、DLCとAlの熱伝導率を求めた。その結果が表1である。

表1 サンプルの熱伝導率の文献値<sup>2) 3)</sup>と実験値:Crの値で規格化してある。

	Cr	DLC	Al
文献値(W/mK)	96.5	1~10	236
実験値(W/mK)	96.5	2.04	173

### まとめ

DLCをシリカガラス上に成膜し、その特性を評価した。Cr、DLC、Alの薄膜についてサーモリフレクタンス法を使って温度分布を求めた。その相似比は、吸収量と熱伝導率の逆数に比例することが確かめられた。また、既知であるCrの物性値を用いることでDLCの熱伝導率を求め、文献値と同様の傾向が確認された。吸収率の値が必要なため、低吸収材料の熱伝導率測定は難しいように思われるが、吸収膜を成膜する、または吸収ピークに合うようにポンプ光の波長を変えることで十分な吸収量を確保することが出来る。ポンプ光の波長を変えることのメリットとしては、同様の測定で吸収量を評価できることである。

吸収膜を成膜する場合、合成熱伝導率の概念を用いる必要がある。接触熱抵抗も考慮に入れなくてはならず、セッティングを変えなくて良い利点はあるが、計算が煩雑になる可能性がある。

### References

- 1) C. A. Paddock and G. L. Eesley: J. Appl. Phys. 60, 265 (1986)
- 2) M. Shamsa, W. L. Liu, A. A. Balandin, C. Casiraghi, W. I. Milne, and A. C. Ferrari: Applied Physics Letters (2006)
- 3) 理科年表平成20年版(2007)