

北海道大学工学部 ○熊本敏昭 原 聡 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸

要旨

レーザーPVD法において、 SiO_2 および Al_2O_3 ターゲットに関する熱解析、および蒸着実験を行った。その結果、平滑な Al_2O_3 膜表面を得るためには、ターゲットに対して、スポットを絞ったレーザー照射が有効なことが推測できた。

1. はじめに

レーザーが照射されたときの溶融・蒸発過程について、 SiO_2 および Al_2O_3 ターゲットに関する温度解析と蒸着実験の両側面から検討を行った。その結果をもとに、レーザーPVD法におけるターゲット材質の熱物性値が、形成される膜の表面性状に及ぼす影響について考察した。

2. 解析方法および実験方法

解析に用いた計算モデルは、平板ターゲット（ $50 \times 50 \text{mm}$ 、奥行きは単位長さ）を仮定した（図2、4参照）。ただし、温度分布はレーザー入射方向中心軸に対して対称と仮定し、半平面のみを計算した。熱伝導には熱伝導方程式（2次元）

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right)$$

を離散化して用い、レーザーによる熱流速は、半径方向の距離 r の関数として

$$I(r) = \frac{2P}{\pi w^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2}\right)$$

で与えた¹⁾。ここで、 θ : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 a : ターゲットの熱拡散率、 P : レーザ出力 (W)、 w : スポット半径である。表1は計算で用いたターゲットの熱物性値である。また、蒸着実験に用いた装置は、前報のとおりである²⁾。

表1 解析に用いた熱定数

	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	熱拡散率 (mm^2/s)	融点 ($^{\circ}\text{C}$)	沸点 ($^{\circ}\text{C}$)
SiO_2	2.17	0.89	1710	2230
Al_2O_3	10.4	2.29	2050	2980

3. 結果と考察

3.1 蒸着膜表面性状

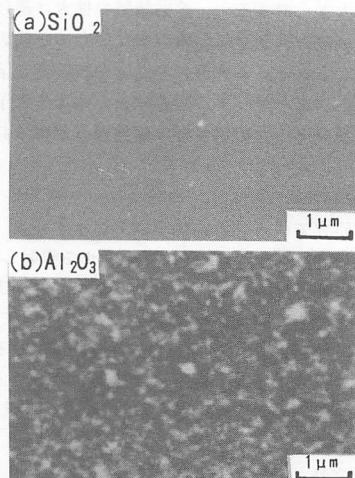
図1(a)(b)は、レーザー出力80W、スポット半径0.5mmの条件で形成された、 SiO_2 および Al_2O_3 膜の表面SEM写真である。この図から、 SiO_2 膜の表面は非常に平滑であるが、 Al_2O_3 膜の表面には一面に粒子が見られ、その表面性状は非常に悪いことがわかる。

3.2 ターゲット材質が溶融・蒸発機構に及ぼす影響

図2(a)(b)は、 SiO_2 、 Al_2O_3 ターゲットにレーザー照射した場合、各々が沸点に達したときの温度分布の解析結果である。照射条件は3.1同様レーザー出力80W、スポット半径0.5mmである。なお、このときのレーザーパワー密度は $1.02 \times 10^4 \text{W}/\text{cm}^2$ である。

図から、 SiO_2 に比べ Al_2O_3 の方が温度分布の広がりは大きく、ターゲット内部への熱伝導がより進んでいることがわかる。

図3は照射時間に対するターゲットの中心温度の変化を示したグラフである（曲線AとB）。グラフ中丸印が打たれている点はターゲットの融点である（ SiO_2 は●、 Al_2O_3 は○）。また、曲線が途切れる時点での中心温度が、各々のターゲットの沸点を示している。この図から、 Al_2O_3 ターゲットが沸点に達するまでの時間は、

レーザー出力 80W
スポット半径 0.5mm図1 SiO_2 および Al_2O_3 膜表面性状

SiO₂に比べ長いことがわかる。

以上のことから、SiO₂ターゲットではレーザー照射後、短時間のうちに沸点に達するため、昇華に近い現象でターゲットからの除去が進行するものと推測される。これに対して、Al₂O₃ターゲットでは、熱拡散率が大きく、また、沸点も高いため、拡大した溶融領域において沸騰現象が生じると考えられる。したがって、Al₂O₃での蒸発過程では、溶融領域の沸騰によって、比較的粒径の大きい溶融粒子が飛散し、これらが基板上に堆積することによって膜の表面性状が悪化するものと思われる。

3.3 レーザパワー密度の影響

Al₂O₃ターゲットに、パワーを120Wに上げ、スポット半径を0.5mmのままにしてレーザー照射した場合と、レーザー出力を80Wにしたままスポット半径を0.3mmに絞った場合との解析を行った。このとき、各々のパワー密度は $1.53 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ 、 $2.83 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ となり、両者ともパワー密度が上昇する。図3の曲線C、Dは、そのときのターゲット中心の昇温速度、そして、図4(a)(b)が、

図3から、曲線C、Dとも曲線Bに比べ昇温速度は大きくなっているのがわかる。また、図4を図2(b)と比べると、図4(a)の場合、深さ方向の熱拡散は若干抑えられてはいるが、表面では大差がない。これが、図4(b)の場合では双方とも熱の広がりは抑えられているのがわかる。

実際に、現在の実験装置で可能なスポット半径0.5mmで、レーザー出力150Wによる蒸着実験を行ってAl₂O₃膜を形成したが、その表面は、レーザー出力を上げる前(図1(b))と変化はなく、平滑なものとはならなかった。

以上のことから、パワーを上昇させることによって昇温速度は大きくできるが、溶融領域の拡大は避けられず、溶融粒子の飛散を抑制する効果が少ないため、膜表面性状は改善されないと考えられる。一方、スポットを絞ると、溶融領域を狭い状態にしたまま、ターゲットからの除去が始まると予想されることから、平滑な膜を得るための良好な蒸発過程が得られるものと推測される。

4. おわりに

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) Al₂O₃ターゲットでは、レーザーを照射してから沸点に至るまで、SiO₂に比べ長い時間がかかり、また、熱の広がりも大きくなる。このことから、Al₂O₃ターゲットの蒸発過程では、溶融領域での沸騰が生じ、粒径の大きい溶融粒子の飛散が生じるものと思われる。
- 2) スポットを絞ったレーザー照射をすることによって、溶融領域の拡大を抑えることができ、Al₂O₃膜表面性状の改善に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 高岡隆、高橋忠: レーザ技術入門、秋葉出版(1986)85.
- 2) 原ほか: 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(1991)25.

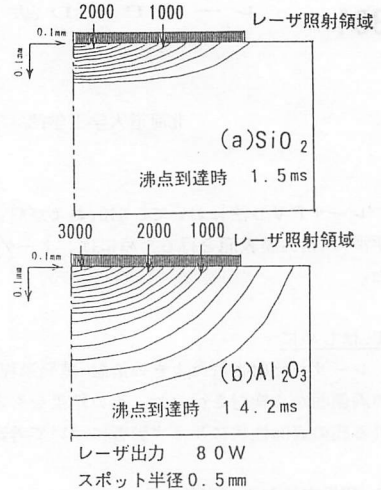


図2 SiO₂およびAl₂O₃ターゲットにおける温度分布

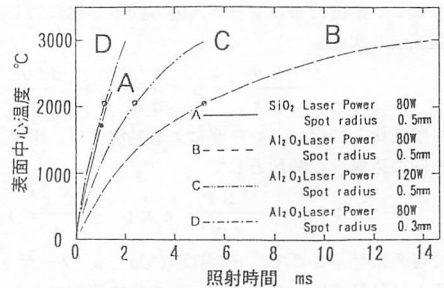
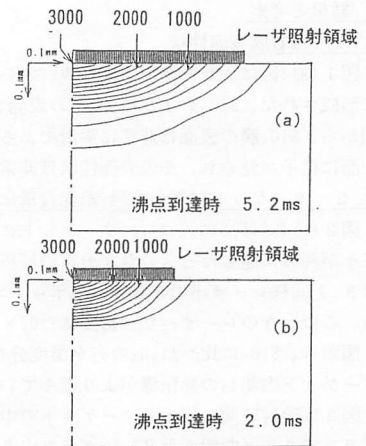


図3 時間経過に対する中心温度の変化



(a)レーザー出力 120W (b)レーザー出力 80W
スポット半径0.5mm スポット半径0.3mm
図4 Al₂O₃ターゲットにおける温度分布