

1. はじめに

レーザ光を照射することによって、高速でかつ局部的な電気メッキ法が試みられている。この方法を使うと微小領域への部分的なメッキが可能であり、メッキ金属を節約できるという利点もある。この特長を利用して、局所的な金属メッキ技術の開発が期待されている。

今回は、基板温度に対する部分メッキ量を評価するために、レーザ照射時間およびレーザ出力による析出物の高さ、直径の変化を観察した。また、H.K.Kuikenら¹⁾が2層膜の熱伝導方程式を解析した結果を用いて温度分布を推察し、実験結果との比較・検討を行った。

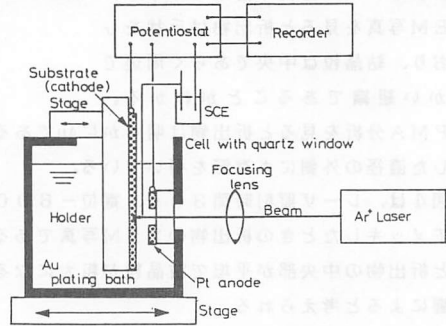


図1 実験装置

2. 実験方法

図1は、本実験で使用した装置の概略図である。Ar⁺レーザ光(全波長同時発振、TEM₀₀モード)は深さ7mmのメッキ液中の基板の上にレンズで集光した。メッキは定電位電解で行い、参照電極は飽和カロメル電極(SCE)、対極は白金板を用いた。Auメッキ液はK[Au(CN)₂]系TEMPEREX702(日本エレクトロレティンクインジニヤーズ株式会社製)を用い、液温を18±1℃にした。基板は黄銅板(20mm×40mm×0.3mm t)にNiを1μmメッキしたものをを用いた。

析出した析出物の高さ、直径の測定は次のように行った。まず、レーザメッキ後の基板に保護膜としてNiメッキ(0.2μm厚)をかけ、その上から触針式あらさ計で析出物の形状を測定した。析出物の高さは最大高さ、直径は最大高さの1/e²での直径とした。

Ar⁺ laser
Au film (1μm thick) on Brass substrate
Beam diameter = 45 (μm)
Absorption coefficient = 0.585
Thermal conductivity of substrate = 1.23 (W/cm·K)
Thermal conductivity of film = 3.15 (W/cm·K)

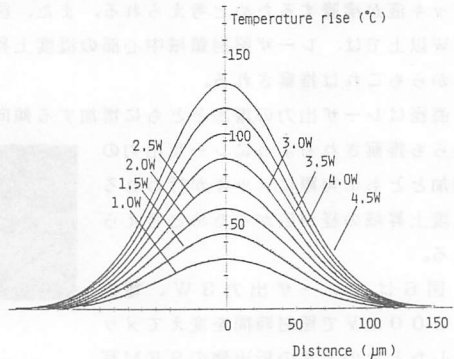


図2 数値計算結果

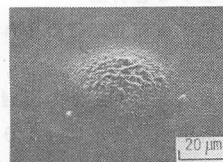
3. 熱解析¹⁾

基板に薄膜(厚さδ)を接合させた半無限平面を仮定する。薄膜上にX, Y軸をとり、原点にガウスモードのレーザ光を照射したときの薄膜表面の定常状態での温度分布は(1)式で与えられる。

$$\frac{\pi a k_2}{Q} \theta(x, y) \approx \frac{\pi^{1/2}}{2} \exp\left(-\frac{r^2}{2a^2}\right) I_0\left(\frac{r^2}{2a^2}\right) + \gamma \frac{\delta}{a} \exp\left(-\frac{r^2}{a^2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $r^2 = x^2 + y^2$ 、 $\gamma = k_2/k_1$ 、 a はレーザ光の直径、 k_1 は薄膜の熱伝導率、 k_2 は基板の熱伝導率、 I_0 は第1種変形ベッセル関数、 $\theta(x, y)$ は(x, y)での温度上昇を示す。

これに実験で用いたパラメータを代入し数値計算を行うと図2のようになる。



レーザ出力: 3W
照射時間: 30s
電極電位: -600mV

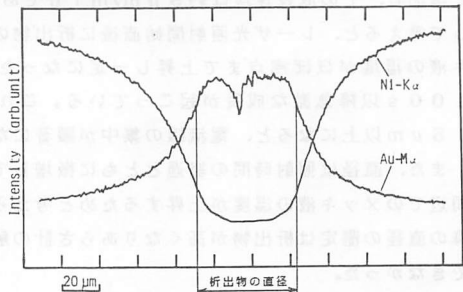


図3 析出物のSEM像, EPMA分析結果

4. 実験結果および考察

図3は、レーザー出力3W、照射時間30s、電位-600mVでメッキしたときの典型的な析出物のSEM写真およびEPMA分析の結果である。

SEM写真を見ると析出物は丘状をしており、結晶粒は中央であらく周辺で細かい組織であることがわかる。

EPMA分析を見ると析出物は明らかにAuである。Auは断面形状から測定した直径の外側にも裾野を引いている。

図4は、レーザー照射時間30s、電位-600mVでレーザー出力を変えてメッキしたときの析出物のSEM写真である。レーザー出力が増加すると析出物の中央部が平坦で結晶粒が粗大になる。これは、温度上昇の影響によると考えられる。

図5は、図4の条件でメッキしたときのレーザー出力に対する析出物の高さ、直径の変化である。析出物の高さは、レーザー出力2.5Wまではレーザー出力とともに増加する。これは、レーザー出力とともに基板温度が増加するためと考えられる。レーザー出力が2.5W以上では析出物の高さは飽和し、高さのばらつきも激しくなる。これは、基板-メッキ液界面でメッキ液が沸騰するためと考えられる。また、図2によるとレーザー出力3W以上では、レーザー照射領域中心部の温度上昇が、約90℃となることからこれも推察される。

直径はレーザー出力の増加とともに増加する傾向がある。これは、図2からも推察されるようにレーザー出力の増加とともに実際にメッキが行われる温度上昇域の径が広がるためと考えられる。

図6は、レーザー出力3W、電位-600mVで照射時間を変えてメッキしたときのときの析出物のSEM写真である。照射時間が増加すると析出物が膜状から山状へと変化する傾向が認められる。析出物の中心部では結晶粒が粗大化することがわかる。

図7は、図6の条件でメッキしたときの照射時間に対する析出物の高さ、直径の変化である。析出物の高さは、100sまでは時間に比例して増加し、その成長速度は約9 $\mu\text{m}/\text{min}$ である。これは、図5を参照して考えると、レーザー照射開始直後に析出物の中央で基板近傍のメッキ液の温度がほぼ沸点まで上昇し一定になったためであろう。しかし100s以降急激な成長が起こっている。これは、析出物の高さが約15 μm 以上になると、電流線の集中が顕著になるためと考えられる。

また、直径は照射時間の経過とともに微増している。これは、析出物周辺でのメッキ液の温度が上昇するためと考えられる。なお、60s以降の直径の測定は析出物が高くなりあさ計の触針の側面が触れたためできなかった。

参考文献：1) H.K.Kuiken, F.E.P.Mikkers, and P.E.Wierenga

; J. Electrochem. Soc., 130, 554 (1983).

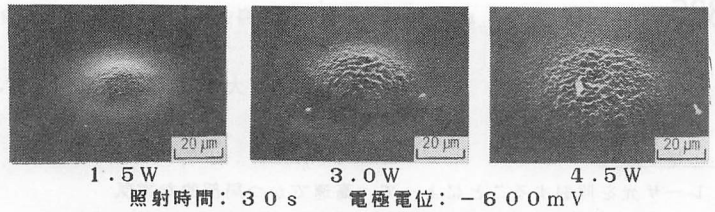


図4 レーザ出力と析出物の形状の関係 (SEM像)

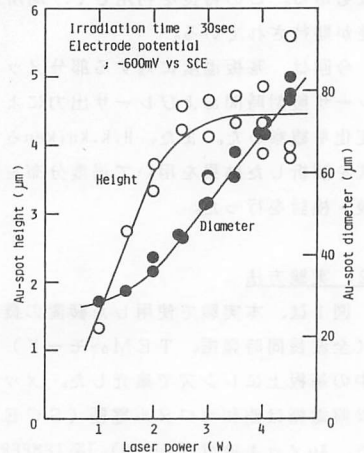


図5 レーザ出力と析出物の高さ、直径

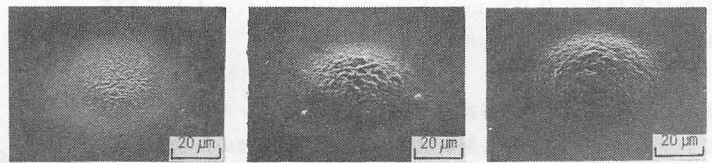


図6 レーザ照射時間と析出物の形状の関係 (SEM像)

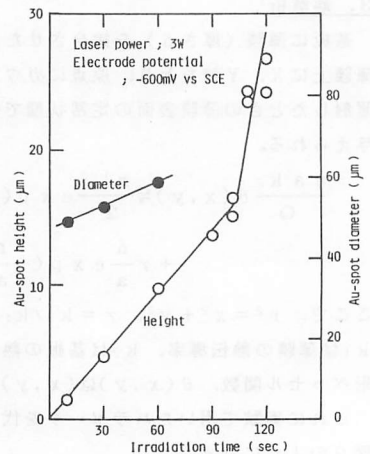


図7 レーザ照射時間と析出物の高さ、直径