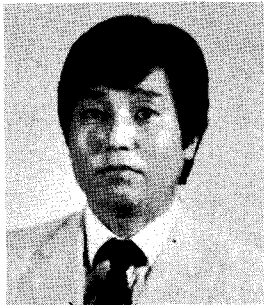


레이저 鍍金技術



金弘救

〈산업기술정보원 책임연구원〉

목 차

- I. 머리말
- II. 방법과 원리
- III. 응용
- IV. 문제점
- V. 맺는말

〈이번호에 전재〉

I. 머리말

전자제품의 소형화나 고집적화의 진전과 함께, 미소 부분에서의 피막 형성 기술의 필요성이 높아지고 있다. 成膜에 의한 패턴의 형성 방법으로서는 레이스트 패턴 형성과 에칭 등에 의한 Subtractive법이 알려지고 있으며, 또한 이와 같은 방법을 複數會 조합시킨 복잡한 프로세스에 의해서 대단히 高精度한 패턴 형성도 행해지고 있다.

한편, 부품의 다양화나 低코스트화에 대응하기 위하여, 다품종 소량 생산에 적합한 간편하면서도 自由度가 높은 加工 프로세스도 요구되고 있는데, 이 기술의 하나로써 直描技術이 있다. 直描 기술이라고 하는 것은 레이저 등의 에너지 빔을 패턴상으로 走査함으로써 에칭 공정을 거치지 않고, 패턴을 직접 형성한다고 하는 기술인데, 이 기술에 의하면, 회로 배선의 부분적인 보수나 시작단계에서의 설계 변경에 신속하게 대응할 수 있기 때문에 제품의 개발 기간을 대폭 단축할 수 있다.

레이저 도금은 도금액 중 침지한 전극에 레이저 집광 조사함으로써 조사부분에 선택적으로 금속을 석출시키는 방법을 처음으로 발표한 사람은, 1979年 獨逸의 R. J. Von Gutfeld이다. 이 방법은 Subtractive법과 같은 복잡한 공정을 취하지 않고도 부분 成膜이 되기 때문에, 高速微小 部分 鍍金法이라고도 불리운다. 또한 레이저가 가지는 微小 集光性이나 照射位置의 자유로운 제어성의 특징을 살려서, 전자 부품(도체 패턴이나 전기 집점)의 소량 생산이나 회로 수정 등 직묘 기술로서의 이용도 기대되고 있다.

지금까지 보고된 레이저 도금의 특징을 정리하면 아래와 같이 된다.

① 레이저 照射부분에만 금속 석출이 얻어지며,

(析出面積을 자유자재로 제어할 수 있고 마이크로오더의 패턴 描畵 가능)

② 높은 석출 速度(통상의 수배~10³배)와

- ③ 無電解法도 가능하지만,
- ④ 良熱 傳導體로의 局所 析出이 어려울 뿐 아니라,
- ⑤ 석출물 分布가 일정하지 않아서, 대량생산에는 적합치 않다.

여기에서는 레이저 도금의 방법 및 원리에 대하여 해설함과 동시에, 각종 응용 시도에 대하여 소개하였으며, 이 기술의 문제점이나 실용화에 대한 과제에 대해서 언급하였다.

II. 방법과 원리

1. 각종 레이저 도금 방법

레이저 도금은 기본적으로는 도금액 중의 피가공물(음극)에 레이저를 조사하여 국소 석출을 얻는 것인데, 전류를 작동하는 방법에 따라 다음 세가지의 방법으로 나눌 수 있으며, 이 레이저 도금 방법들을 <圖 1>에 나타냈다.

(1) 정전위법 (<圖 1-a>)

정전위법은 레이저 도금에 의해 局所 석출을 얻는 가장 일반적인 방법으로 도금액 중에 침지한 전극의 전위를 평형 전위 또는 석출이 일어나지 않을 정도의 적은 과전압의 상태로 설정하여 레이저를 집광 조사한다. 레이저 조사부분에서는 급격한 도금 속도의 증대가 일어나나, 미세 조사 부분은 반응이 거의 일어나지 않는 전위로 유지되고 있기 때문에, 조사 부분에만 석출 피막이 생긴다.

(2) 무전해법 (<圖 1-b>)

외부 전원을 쓰지 않아도 局所 석출이 가능한 이 방법은 치환 동금을 일으키는 도금액과 素地재료(금속)을 조합시킨 경우나 환원제를 포함하는 도금액을 사용한 경우는, 도금액 중에 素材를 담고 레이저를 照射하는 것만으로도 局所 석출을 얻을 수 있다. 또한, 素地 재료가 平導體나 수지 등인 경우에도 局所 석출을 얻을 수 있다.

(3) 정전류법 (일명 : 레이저 젯트 도금) (<圖 1-c>)

젯트 도금에 레이저를 병용한 방법으로, 통

상 정전류 전해를 하면 도금액에 담겨 있는 부분에서는 전면에 석출이 일어나는데, 이때 전해액을 노즐로부터 젯트류로 분출하여 음극에 닿게 함으로써 도금의 부분을 한정시킨다. 레이저는 젯트류 가운데를 光 화이버와 같이 전달되어 도금 부분에 照射된다.

젯트류는 물질 이동의 촉진과 전류가 흐르는 영역으로 한정되는데, 이것에 레이저의 국소가열 효과를 加함으로서 더 한층의 석출 속도의 증가와 물성 향상을 얻을 수 있다. 따라서 이 방법에서는 정전류법에서는 얻을 수 없는 고속의 도금이 가능하다.

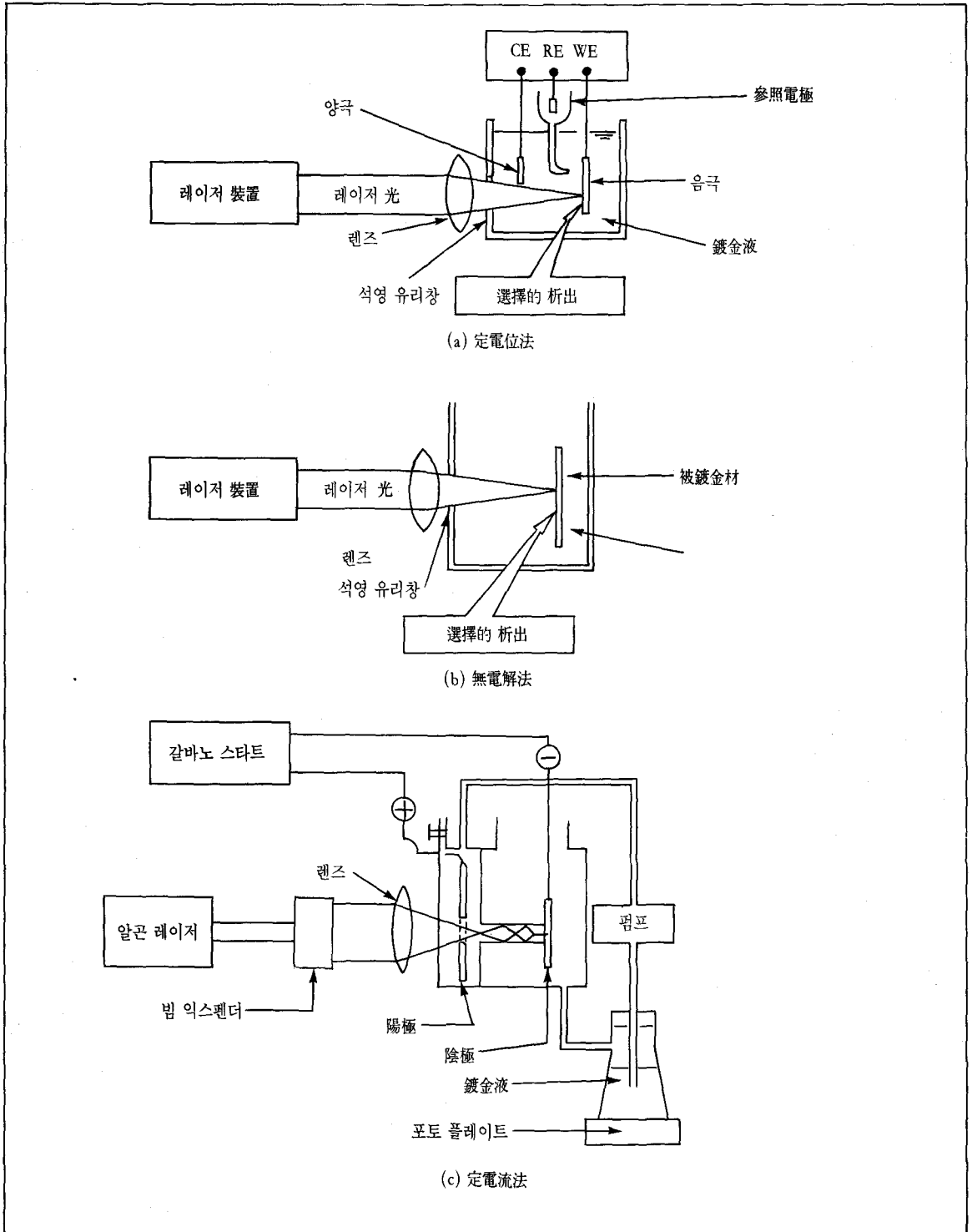
2. 레이저 도금의 원리

레이저 조사의 효과를 도식적으로 <圖 2>에 나타냈듯이, 레이저가 도금액 중의 전극 표면에 照射되어 그 에너지가 照射 부분에 흡수되면 電極과 電解液의 界面은 국부적으로 가열되며, 이 국부적인 온도 상승은 다음과 같은 현상을 일으킨다.

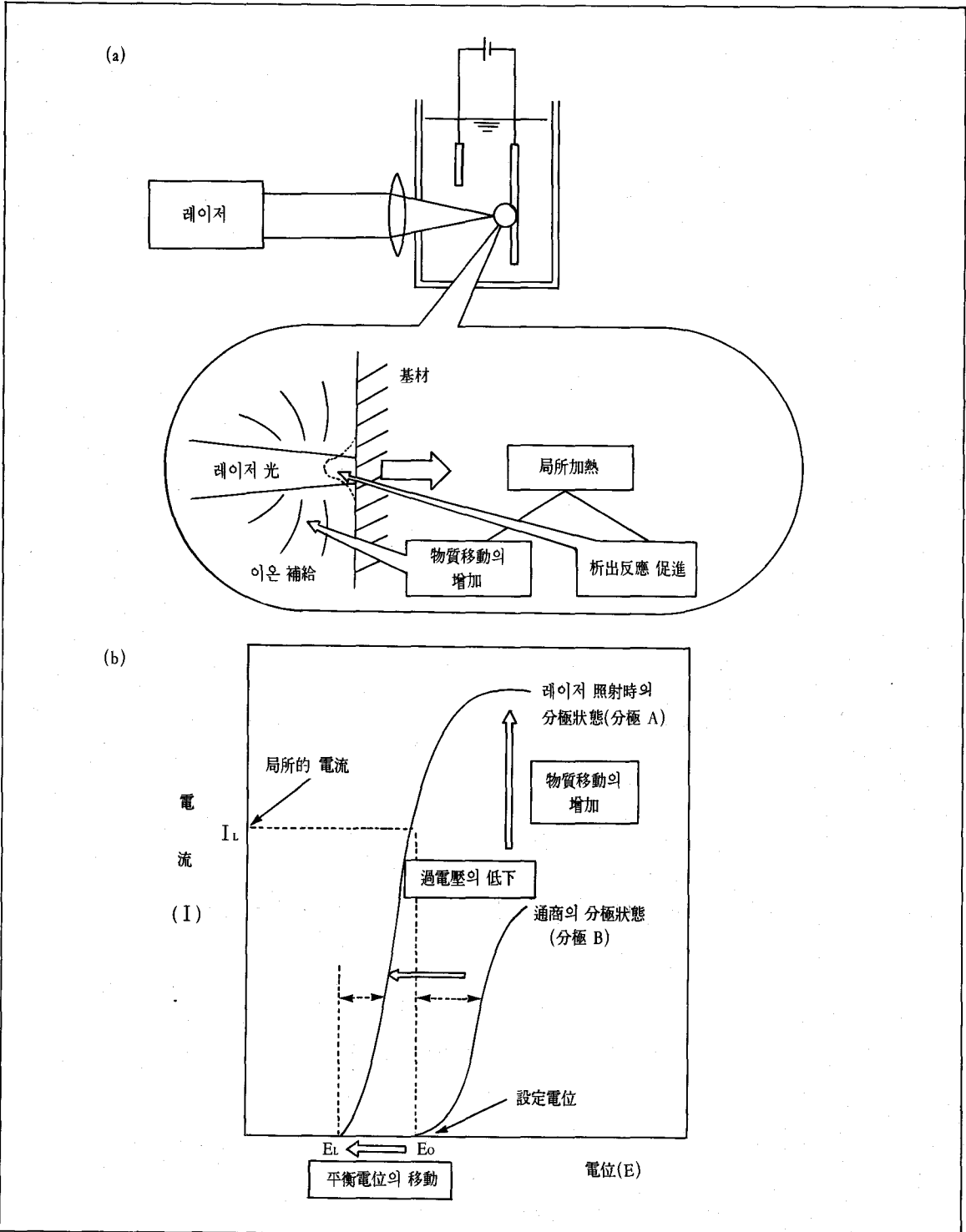
- ① 전하 이동 반응을 촉진하며,
- ② 평형 전위가 높은 전위로 이행하며(소재의 금속 종류와 용액의 이온 종류의 조합에 의해서 낮은 전위로 이동하는 경우도 있는데, 이 경우는 局所 에칭이 일어남.),
- ③ 적은 과전압에서도 반응이 일어나며,
- ④ 확산 계수와 점도 등이 온도에 따라 量이 변화할 뿐 아니라
- ⑤ 물 등에 의한 마이크로攪반이 일어난다.

여기서 ①~③은 석출 반응을 촉진시켜 국소 석출성을 주는 요인으로, 레이저의 국소가열에 의한 현저한 온도 상승은 素材 / 鍍金液 계면의 반응 평형계에 크게 영향을 끼쳐서 分極 상태를 析出이 일어나기 쉬운 상태(分極 A)로 변화시킨다. 그리고, <圖 2-a>와 같이 포텐셜 스타트로 전극의 전위를 전류가 흐르지 않는 전위(E_0)로 설정하면, 레이저 조사 부분에서는 전류(I_L)가 흘러 국소적으로 석출이 생긴다.

〈圖 1〉 각종 레이저 鍍金 方法



〈圖 2〉 레이저 鍍金의 原理



한편, ④~⑥은 물질 이동을 촉진하는 요인으로, 高速 析出을 가능케 한다. 온도 상승에 의한 석출 반응의 촉진만으로는, 석출 속도는 곧 한계에 도달하지만, 동시에 온도 상승은 이온 보급도 증대시킴으로서 현저하게 한계 전류를 높일 수 있는데, 특히 비등에 의한 마이크로 교반은 효과에의 기여도가 크다.

金の 분극 거동에 미치는 레이저 照射의 영향을 검토하면, 석출 속도는 일정 시간에 석출된 금의 막 두께를 구한 결과, 금 석출은 분극 전류에 의존하며, 도금액의 경우에는 도금액 온도를 올리면 석출 반응은 일어나기 쉬우나, 25℃에서 -100mv 보다 높은 전위에서는 거의 반응이 일어나지 않는다.

그러나, 레이저 照射下에서는 통상 거의 반응이 일어나지 않는 전위에서도 높은 석출 속도로 반응이 일어나는 것을 알 수 있으며, 또한 레이저 출력이 높아지게 되면, 분극은 보

다 높은 방향으로 옮겨서 석출 속도도 증대하는 것이 확인되었다.

<圖 3>에 무전해법에 의한 레이저 국소 석출의 원리를 나타냈다.

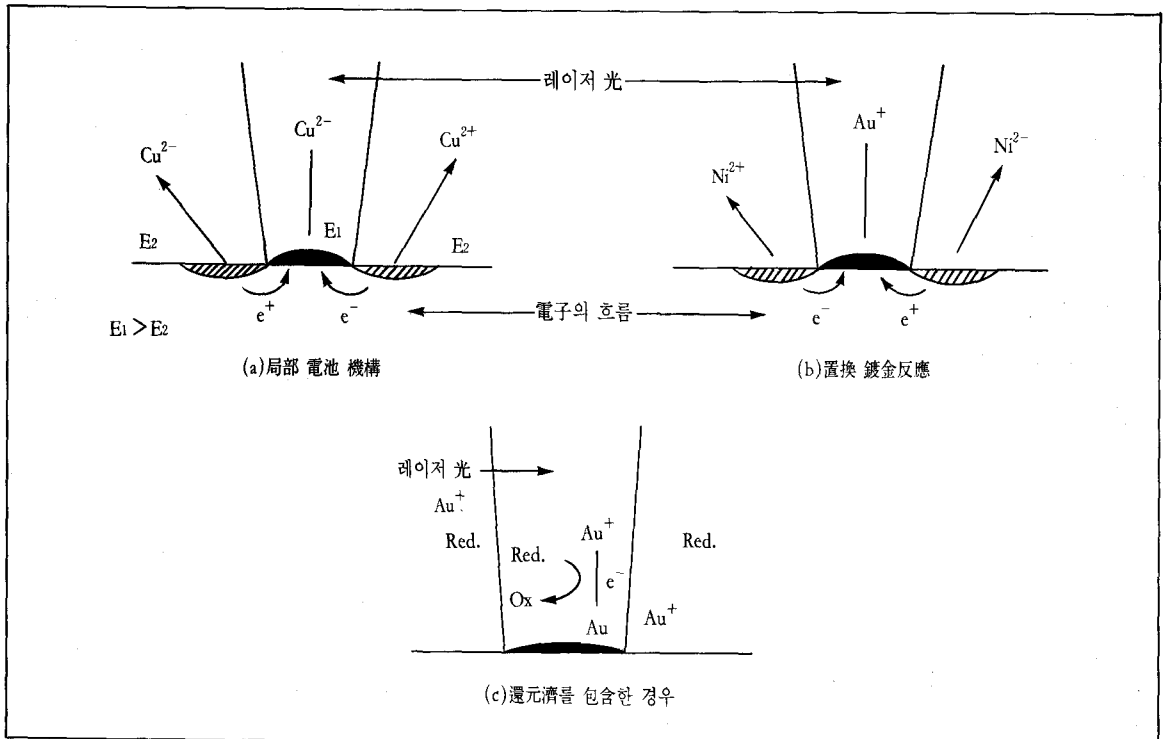
(1) 국부 전지 기구(<圖 3-a>)

레이저 조사 영역에서는 부분적으로 평형 전류가 높게 되므로, 그 주변 영역과의 사이에 전위차가 생겨서 국부 전지가 형성되며(thermo-battery effect), 낮은 전위 영역으로부터 높은 전위 영역으로 전자가 이동하기 때문에 레이저 조사부에서는 석출이 일어나고, 그 주변에서는 용해가 일어난다.

(2) 치환 도금의 촉진(<圖 3-b>)

도금액과 소재가 치환 도금을 일으키는 것과 같은 조합, 예를 들면, 니켈 상에 금 도금을 하는 경우, 레이저 조사 영역에서는 치환 도금을 일으키는 구동력인 전위차가 커지게 됨으로, 치환 반응이 보다 촉진되어 일어

<圖 3> 레이저 無電解 鍍金



난다.

(3) 환원제를 포함하는 도금액 (<圖 3-c>)

환원제를 포함하는 무전해 도금액에서는 환원제의 양극 산화 반응에 전자가 공급된다. 液 온도를 이 반응이 일어나는 온도보다도 낮게 설정하여 레이저를 照射하면 레이저 조사 영역에서는 부분적으로 고온화되므로, 조사 부분에서만 반응이 진행하고, 局所的인 析出이 일어난다.

(4) 기타

소재가 반도체, 수조 또는 세라믹 등의 무기물로, 電子를 공급하는 금속막이 없는 경우에 있어서도 還元劑를 포함하지 않는 도금액으로 부터, 국소 석출이 얻어지는 경우가 있다.

소재가 반도체인 경우에는 광리기 전기에 의한 석출이고, 소재가 유기물 또는 무기물의 경우에는 素材의 분해 전류 또는 금속 이온을 형성하는 錨體(예를 들면, HAuCl_4 , $\text{Pd}(\text{NH}_3)_4$ 등)의 直接 熱分解 反應이 요인이다.

III. 응용

레이저 도금을 실제 적용하려고 하는 각종 시도가 행하여지고 있다.

Gutfeld 등에 의해서 고안된 레이저 젯트 도금(<圖 1-c>)는 젯트와 레이저의 병용에 의해서, 물질 이동의 한계를 끌어 올리는 것에 성공하였다.

그 석출물의 단면을 살펴보면, 레이저 照射가 없는 경우에 한계 전류를 넘는 전류 밀도로 도금을 행하면 젯트 도금의 경우에서도, 석출물은 수지상이나 분말상의 석출이 되고, 소지 까지 도달하는 핀 홀이 존재한다.

그러나, 레이저 광을 중첩하면, 출력이 높을수록 석출 속도가 증가하고, (전류 효율이 증가) 석출물이 평활하고 치밀한 것으로 바뀐다. 이 방법에 의해서, 금 도금에서는 약 $10\mu\text{m}/\text{s}$, 동 도금에서는 약 $50\mu\text{m}/\text{s}$ 석출 속도가 얻어지는 것으로 발표되고 있다. 이 방법은 패턴 정밀도가 별로 요구되지 않는 경우의 패

턴이나 리드 프레임 등으로의 고속 부분 金鍍金, 나아가서는 동 패턴 결함의 보수 등에 대단히 유효한 방법이 될 것으로 생각된다. 절연체의 세라믹이나 수지는 열전도율이 낮고, 확산이 일어나기 어려우므로, 국소 가열에는 유리할 것 같다. 자기 촉매형의 무전해 금 도금액은 통상 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 에서 반응하나, 실온에서는 거의 석출은 일어나지 않는데, 이 때문에 레이저가 조사되어 고온화 된 부분에만 석출 반응이 일어난다.

또한 浴溫을 올리지 않고 미소 부분에만 가열이 되여지기 때문에, 욱의 분가 일어나기 어렵고, 욱 수명은 극히 길게 된다. DMAB를 환원제로하는 무전해 금 도금액으로, 수 $\mu\text{m}/\text{min}$ 의 대단히 높은 석출 속도가 얻어지고 있다.

통상 세라믹이나, 수지 등의 절연물 상에서는 반응 개시점이 존재하지 않으므로, 레이저 도금반응은 일어나기 어렵다. 여기서 표면을 팔라듐으로 활성화함으로써, 초기 반응이 일어나기 쉬워지고, 보다 경계가 분명한 국소 석출이 얻어진다. 반도체 표면에 레이저로 국소적 석출을 얻고자 하는 시도도 있는데, 예를 들면 미국의 Zahavi 등은 GaAs 등의 반도체 상에 Q 스위치 펄스 YAG 레이저 (제2고주파 : $0.503\mu\text{m}$)을 조사함으로써, 외부 전원을 쓰지않고 환원제를 포함하지 않는 도금액으로부터 그의 석출을 얻었는데, 이것은 레이저 照射로 표면에 생성되는 광리기 전자가 석출에 관여하고 있다고 설명되고 있다.

IV. 문제점

1. 열확산의 영향

여기서는 레이저 도금의 실용화에 대한 문제점을 살펴 보기로 한다.

석출물의 두께 분포는,

- (1) 조사부의 레이저의 에너지 분포(가우스 분포),
- (2) 조사부와 주변 부분의 온도 구배 및
- (3) 전해액의 온도 민감성과 설정 전위(전

해액 및 전해조건)에 의존한다. 위와 같이 기본적으로는 레이저 조사는 온도 분포에 의존하며, 특히 국소적인 온도 상승에는 소재의 열전도가 극히 중요한 문제가 된다. 그리고 열전도가 양호한 소재인 경우, 레이저 광의 흡수에 의하여 발생한 열을 금속으로 확산시키기 때문에 표면의 온도 상승이 일어나기 어려우며 또한 확산된 열에 의해서 석출 부분은 照射 영역보다도 넓어진다.

즉, 素地 두께의 증가에 의해서 급격히 도금 전류가 저하하는 동시에 도금 면적도 넓어짐으로, 열의 확산이 도금의 고속 析出性과 局所 析出性의 兩面을 因子이다.

그러므로 薄板이며 열전도율이 낮은 재료는, 고도의 석출 선택성과 고속 석출을 바랄 수 있으나, 열전도율이 양호한 재료에 대하여는 레이저 도금 자체가 곤란해 질 것으로 예상된다.

또한, 같은 에너지량의 레이저를 조사하여도, 기재/도금액 계면에서의 온도상승이 다르면 같은 반응 촉진은 일어나지 않는다. 즉, 기재 재료나 형상이 다르면, 레이저의 흡수 효율이나 열확산 조건이 다르기 때문에 初期 析出 반응이나 석출 속도의 촉진 효과에 큰 차이가 생긴다. 이러한 점이 레이저 도금 조건을 일반화하기 어려운 이유이다.

다음으로는 레이저 도금의 석출물 분포에 대하여 고려해 보기로 한다. Subtractive법에 의한 패턴 형성에서는 사이드 에칭이 있기는 해도, 패턴 표면은 일단 평탄하다. 패턴의 모서리부에서는 역확산을 억제하지 않으면, 레이저 조사 영역보다도 넓어진 석출물이 된다. 이때문에 석출물의 경계가 애매한 것이 되기 쉬우며, 이것 역시 정밀한 패턴이 요구되는 분야에 대하여 레이저 도금의 적용을 어렵게 하고 있는 이유일 것이다.

즉, 열의 확산을 억제하고 효율 좋게 局所 가열을 일으키게 하는 것이 레이저 도금의 국소화와 고속화에 중요한 과제이다. 열확산의 억제를 위해 각종방법이 시도되고 있는데, 예

를 들면 열전도율이 좋은 素地(Cu)의 표면에 열전도율이 나쁜 피막(Nip)을 밑바탕 도금으로 형성함으로써 素地로의 열확산을 차단하여, 국소적인 온도 상승을 일으키기 쉽게 한다. 그리고 펄스 발진 레이저를 사용하여 레이저를 간헐적으로 照射하므로 해서, 열확산의 영향을 적게함과 동시에 레이저의 反射미러(mirror)를 고속으로 진동시켜 레이저의 照射 位置를 바꾸어 되풀이 照射한다(이것은 일종의 펄스 照射임).

또한 電極面에 냉각된 전해액을 흐르게 하여, 열전도에 의하여 생기는 레이저 조사 주변부의 온도 상승을 막고, 주변으로의 석출을 억제한다. 또한 고속 석출시에는 도금 계면에서 이온 결핍상태가 일어나나(확산, 한계, 전류), 이와 같은 펄스화나 고속액 유동은 열확산의 억제만이 아니고, 계면에서의 이온 濃度 回復에도 효과가 있다.

2. 沸騰 現狀

레이저 도금에서는 열원인 레이저 출력이 클수록, 석출 속도의 촉진이 크다. 그러나, 정전위법에서는 레이저 출력을 올려도 어느 온도 이상에서는 표면온도가 상승하지 않는 경우가 있는데, 이때의 석출 온도는 변화하지 않게 된다. 전극 온도와 석출 속도에 미치는 레이저 출력의 영향을 살펴보면,

표면 온도의 포화 현상은 석출물 표면에서 反射의 증가나, 비등 현상에 의해서 온도 상승이 저해되는 것에 의한 것으로 판단된다.

비등 현상은 마이크로한 교반 효과에 의하여 물질 이동을 비약적으로 증대시키나, 비등 가스에 의하여 레이저 光이 표면에서 산란하거나 氣化 潛熱의 흡열 효과에 의해서 온도 상승이 방해되는 경우가 있다. 또한 대단히 작게 집광하였을 때는 이온의 도달을 저해하고, 분화구 모양의 석출물을 형성하는 경우도 있다.

3. 레이저 도금에 적합한 鍍金液

레이저 도금의 연구에서는 국소 석출성이나 석출 속도에 관한 보고서는 많으나, 그 석출물의 물성을 언급한 것은 적을 뿐 아니라 보고서의 대부분도 粒狀의 석출을 조로 언급하였으므로, 앞으로 레이저 도금에 적합한 조성의 도금액이나 첨가제에 대한 연구 개발이 기대된다.

레이저 도금을 한 경우의 분극 곡선에 미치는 금 이온 농도의 영향을 살펴보면, -800mV 보다 높은 전위에서는 금 농도가 증가하여도 석출 속도는 거의 변하지 않으나, -1000mV 보다 낮은 전위에서는 석출 속도가 향상된다. 또한 液流動을 변화시켜도 같은 양의 결과를 얻을 수 있는데, 이것은 금 농도나 액유동의 증가에 의하여 도금면으로의 이온 보급이 개선되어 한계전류가 증가하기 때문인데, 이러한 사실로부터 레이저 도금에서도 물질이동 율속영역과 電荷移動 율속영역이 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 석출물의 표면 형태를 검토해 보면, 전하이동 율속영역에 있는 -800mV 에서는 석출물의 형태는 금 농도나, 액 유동의 영향을 거의 받지 않는다. 한편, 물질이동 율속영역에 있는 조건(-1000mV , 液流動 無)에서는 입상의 석출이었으나, 전하이동 율속영역에서 金濃度를 높게 하고 液流動을 증가시킴에 의해서 析出은 평활하고 치밀한 것으로 바뀌었다. 따라서 석출물 物性이 좋은 것을 얻기 위해서는 레이저 도금에 있어서도, 전하이동 율속 조건에서 행하지 않으면 안되는 것을 알 수 있다.

그리고 정전위법에서는 낮은 전위일수록 석출 속도가 빠르나, 너무 낮은 전위에서는 백그라운드의 석출이 많아지고 局所 析出性이나 빠지기 때문에 적당한 전위 조건을 선택할 필요가 있다.

도금액은 기본적으로는 시판되는 것을 사용할 수 있으나, 도금액의 종류에 따라서는 입상의 석출밖에 얻지 못하는 경우도 있다.

레이저 도금의 석출물 물성은 아직 충분히 조사되지 않고 있으나, 코발트나 니켈의 금합금 도금에서는 고온하의 석출물은 공식 금속 농도가 낮게 되고, 이에 따라서 경도가 저하되는 것이 확인되고 있으며, 또한 Ni-P의 레이저 무전해 도금에서도 P 함유율이 낮은 것이 인정되고 있다.

이것들은 레이저 照射下에서는 높은 고온하에서 석출이 일어나기 때문에 흡착 물질의 탈리가 촉진되는 것이나, 큰 결정 성장의 에너지가 얻어지는 것 또한 어닐링적인 효과도 크게 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

각종 무전해 도금욕에 대해서 레이저 조사한 경우, 석출물의 확산 또는 석출물 물성에 대하여 크게 영향을 끼치나, 레이저 무전해 금도금에서는 전해도금으로 얻어지는 것과 같은 양호한 석출이 얻어지는 예가 적고, 대부분은 입상의 석출이 얻어졌다.

V. 맺는말

레이저 도금은 열전도율이 낮은 소재상에 금속막을 밀착시킨 재료나, 얇은 금속재료의 표면에서는 국소가열이 효율 좋게 일어나므로, 미소 부분에 석출을 일으킬 수 있다.

그러나 문제는, 열전도가 양호한 두꺼운 재료나 光을 투과시키는 재료에서는 국소가열이 곤란하다는 것이다. 또한 레이저 가공은 微小 스폿 加工이 되기 때문에 大量 生産에 적합치 않다는 면도 있다. 따라서 레이저 도금은 레이저의 특징을 살린 분야에 한정적으로 사용될 것으로 사료 된다.

레이저 도금의 반응(局所 加熱)은 표면에서 光의 反射나 吸收, 용액에서의 열확산 또는 비등현상 등이 복잡하게 영향을 서로 미치고 있기 때문에 일반화하기 어려울 뿐 아니라 고온하에서의 석출 반응 기구나 석출물의 물성에 대해서도 아직 충분하게 해명되고 있지 않다. 이들 레이저 도금에 관한 기초적인 연구가 진행되어야 다양한 용도로 응용될 것이다. <♣>