

펄스 도금의 원리와 기술

김종상 · 송락현 · 변수일

한국과학기술원 재료공학과

The Principle and Practice of Pulse Plating

Jong-Sang Kim, Rak-Hyun Song and Su-Il Pyun

Dept. of Materials Sci. and Eng.

Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

The principle and practice of pulse plating, and prospect in the future on pulse plating are reviewed. Some of the advantages of pulse plating are detailed as compared with DC plating. The advantages of pulse plating are summarized as follows: 1) smooth and fine grained deposits 2) reduction in hydrogen embrittlement of deposits 3) reduction of residual stress and microcracks in the deposit 4) improvement of physical properties 5) uniform alloy composition through the deposit thickness 6) improved throwing power and adhesion.

1. 서 론

펄스 전류(pulse current : PC) 도금은 전류 파형을 주기적으로 변화시키는 cycle plating의 한 종류로서 종래의 연속적인 직류(direct current : DC) 대신에 연속적으로 직류를 단속(interrupt)시켜 도금하는 방법으로 1934년 J. R. Winkler에 의해 처음으로 개발되었다¹⁾. 그러나 이 도금 방법은 충분한 펄스전류 용량을 갖는 pulse current power supply (PCPS)를 적절한 가격에 제작하지 못하는 기술적, 경제적 문제로 인하여, 귀금속 산업분야 이외에는 큰 관심을 끌지 못하였다. 최근에 전기, 전자 산업의 급속한 발달에 따라 30,000A까지의 고용량을 갖는 PC를 정확하게 제어할 수 있게 되고, 전자부품에 사용되는 Au, Pd, Rh등의 귀금속도금²⁻⁶⁾, Cr,

Ni도금 및 합금도금⁷⁻¹⁵⁾ 등에 있어 직류도금층이 갖는 물성에 대한 개선이 크게 요구됨에 따라 펄스도금은 전기도금의 새로운 개혁수단으로 각광을 받고 있다.

현재까지 다양한 도금 system에 대하여 보고되고 있는 펄스 도금의 특징으로서 1) 평활하고 미세한 결정립을 갖는 도금층 2) 수소 흡장량의 감소 3) 내부응력 및 균열의 감소 4) 경도 및 연성과 같은 기계적 성질의 증가 5) 균일한 합금도금의 조성 6) 도금층의 피복력(throwing power) 및 밀착성(adhesion) 개선 등등의 많은 장점들이 보고되고 있다.¹⁶⁾ 그러나 현재까지 펄스 도금의 정확한 기구(mechanism)가 아직 명확하게 정립되어 있지 않아 모든 도금계에 적용할 수 있는 도금 조건에 대한 standard pattern

이 없는 실정이며 PCPS장비 가격이 비싼 단점이 있다.

본 고에서는 현재까지 보고되고 있는 펄스 도금에 대한 전착원리, 특성을 소개함으로써 펄스 도금 기술에 대한 이해를 돕고자 하였으며 또한 펄스 도금의 현황과 전망에 대해 고찰하였다.

2. 펄스 파형의 종류

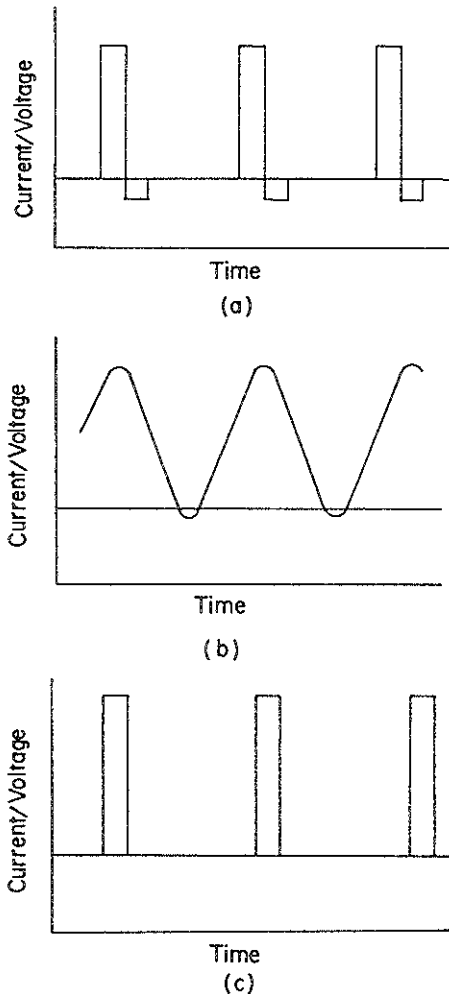


Fig. 1 Schematic diagram of various wave shapes of pulse plating;
 a) periodic reverse; b) asymmetric sine;
 c) square.

전류를 주기적으로 변화시켜 도금하는 넓은 의미의 펄스 도금의 3가지 중요한 펄스 파형은 Fig. 1에 나타낸 것처럼 a) periodic reverse(PR), b) asymmetric sine(AS), c) square 펄스 파형으로 구분된다. a)의 periodic reverse(PR)파형은 음극이 짧은 시간동안 양극으로 변화될때 고갈된 전착이온을 보충할 수 있고 도금층의 돌출 부위를 제거하여 평탄한 도금층을 얻을 수 있는 반면, 양극 용해가 심하게 되면 도금층에 pits나 cavities등을 형성하는 단점이 있어서 Cu도금 등 일부 도금계에서만 유용한 것으로 보고되고 있다¹⁷⁾. 이런 현상은 b)의 AS 파형에서도 나타나는데, AS장비는 가격이 저렴한 장점이 있으나 50-60Hz의 저주파수에서만 작동되므로 펄스 도금에서는 거의 사용하지 않고 있다.

가장 널리 사용되고 있는 펄스 파형은 c)의 square 펄스 파형으로서 power-line 주파수에 무관한 time base특성이 있고 10 KHz을 넘는 고주파수 영역에 걸쳐 사용할 수 있으나, 장비 가격이 비싼 단점이 있다. 좁은 의미에서는 square 펄스 파형만을 펄스 도금이라고 호칭하며 귀금속, 전자, 장식용 분야에서 소지 금속의 전착에 주로 사용되는데, 다양한 조업변수는 사용자로 하여금 최적 도금조건을 결정하는데 유연성(flexibility)을 줄 수 있다. 최근에는 Fig. 1의 c)와 같은 간단한 unipolar square pulse 이외에 pulse-on-pulse, duplex pulse등과 같은 복잡한 square 펄스 파형을 사용하기도 한다¹⁸⁾. 그러나 최대 전류 밀도(i_p)가 너무 높게되면 음극표면의 전착이온이 고갈되고 Fig. 2에 나타낸 것과 같은 큰

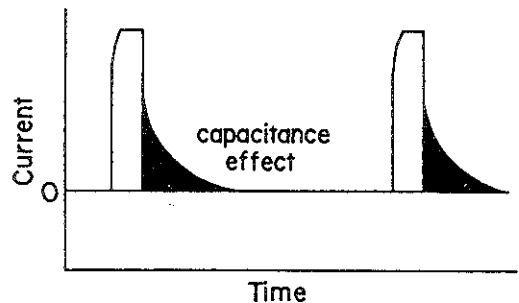


Fig. 2 Schematic diagram of capacitance effect by improper pulse.

capacitance 효과가 발생하여 granular, spongy 형태의 바람직 하지 않은 도금층이 형성되며 모재와의 결합력도 약화되는 문제가 있다.

3. 펄스도금의 원리

종래의 직류 도금에서는 전기적인 도금 변수로서 전류밀도만을 변화시킬 수 있으나 펄스 도금에서는 단속전류를 사용함으로 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 다음의 3가지 변수들을 독립적으로 변화시킬 수 있다.

- 1) t_{on} : current-on 시간
- 2) t_{off} : current-off 시간
- 3) i_a : 평균 전류밀도 $= \frac{t_{on} \cdot i_p}{t_{cycle}}$

이 때 펄스 도금의 최대 전류밀도(i_p)는 위의 3가지 변수들이 고정되면 결정된다. 또한 펄스 도금에서 가장 널리 쓰이고 있는 duty cycle이라 부르는 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Duty cycle}(\%) = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100$$

Duty cycle은 도금계에 따라 변화하는데 일반적으로 귀금속 도금에서는 10-40% 인 반면 Cu, Ni과 같은 base metals에서는 50% 이상을 채택하고 있다. 그러나 펄스 도금이 성공적으로 수행되기 위해서는 duty cycle뿐 아니라 펄스 도금시의 음극 과전압,

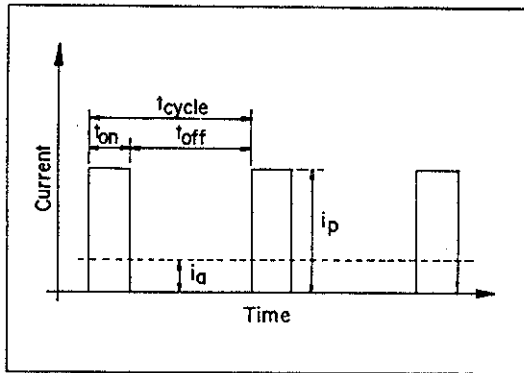


Fig. 3 Pulse plating parameters defined on a current-time plot.

mass transport, 전류밀도 분포 등 많은 전기 화학 변수 들이 실험적으로 확립되어야 한다.

정상적인 직류도금에서는 음극에 근접한 용액층에서 전착이온이 고갈되는데, 전류밀도가 증가함에 따라 이 층은 더욱 전착이온이 고갈되어 전착이온이 영(zero)이 되어 전기 화학자들이 정의하고 있는 한계 전류밀도(limiting current density: LCD)에 도달하게 된다. 이 한계 전류밀도에서는 도금층 물성 개선에 한계를 나타내는데, 도금업자들이 정의한 LCD(도금층이 dendritic growth하기 시작하는 전류밀도)와는 차이가 있다. 펄스도금을 사용하면 t_{off} 시기에 고갈된 전착 이온을 bulk용액으로 부터 보충할 수 있으므로 고전류밀도에서도 도금이 가능하다. 이점이 펄스도금을 하는 이론적 근간으로써 펄스도금의 한계 전류밀도는 직류도금에 비해 상당히 증가시킬 수 있다. 예를 들면 평균 전류밀도(i_a)가 동일한 조건에서 10% duty cycle일 때 펄스도금의 최대 전류밀도(i_p)는 직류 도금의 전류밀도에 비해 10배로 증가시킬 수 있으므로 도금층의 물성이 크게 변화될 수 있다.

펄스 도금의 기구에 대한 이론적 고찰로서 Cheh¹⁹⁾는 펄스 도금의 율속단계가 mass transport에 의해 제어된다고 가정하고 적절한 경계조건을 대입하여 mass transport 방정식을 풀었다. 그결과 펄스 도금에서 음극표면의 전착이온 농도는 직류도금에 비해 높게되므로 한계 전류밀도를 증가시킬 수 있는 반면 도금속도는 직류 도금속도를 초과할 수 없다고 하였다. 그러나 mass transport의 율속 단계를 벗어나면 전착반응은 electrochemical kinetics에 의해 제어되므로 펄스 도금효과를 예측할 수 있는 일반적인 법칙이 없게 된다고 하였다. 반면 Ibl²⁰⁾은 도금층의 물성이 mass transport보다 다른 여러 인자에 의해 영향을 받는다고 하였다. 즉 핵생성과 성장뿐 아니라, 전착이온의 흡착(adsorption)과 탈착(desorption)등이 중요한 역할을 하게 되는데 이러한 현상은 t_{off} 시기에 발생할 수 있으며, t_{on} 뿐만 아니라 duty cycle이 중요한 요인이 될 수 있다고 하였다.

펄스도금의 핵생성속도에 제안되고 있는 이론을 간략하게 설명하면 도금층의 핵생성 속도 I 는²¹⁾

$$I = k_1 \exp(-k_2/\eta^2) \quad (1),$$

으로 나타낼 수 있는데 여기서 k_1 , k_2 는 상수이며, η 는 과전압(overpotential)을 나타낸다. 고로 도금층의 핵생성속도는 도금층의 음극과전압 η 에 크게 의존하는데 activation-controlled 전착반응시에 직류도금의 음극과전압은

$$\eta_{DC} = \eta_0 \ln(i_{DC}/i_0) \quad (2),$$

또한 펄스 도금시의 과전압은

$$\eta_{PC} = \eta_0 \ln(i_a/i_0) + \eta_0 \ln(p+1) \quad (3),$$

표시할 수 있는데 여기서 $p = t_{off}/t_{on}$ 을 나타낸다. 위식에서 평균 전류밀도(i_a)는 펄스 파형과 관계없이 전착이온의 표면농도를 결정하므로, 만일 직류도금에서의 전착반응이 activation-controlled 이라면, 펄스도금에서도 activation-controlled 반응이 되므로

$$i_{DC} = i_a \quad (4),$$

$$i_{PC} > i_{DC} \quad (5),$$

$$\eta_{PC} = \eta_{DC} + \eta_0 \ln(p+1) \quad (6),$$

으로 나타낼 수 있다²²⁾. 고로 펄스 도금에서의 음극 과전압은 직류 도금에 비해 $\eta_0 \ln(p+1)$ 만큼 증가될 수 있으므로 (1)식에 따라 핵 생성속도가 증가되어 도금층의 결정립이 미세화 될 수 있어 기공이 없고 경도 및 연성등 기계적 성질이 우수한 도금층을 얻을 수 있다.

펄스 도금은 또한 높은 음극 전위와 낮은 확산 피막을 형성하므로 음극 피막내에는 충분한 전착이온과 낮은 불순물을 포함한다. 즉 current-on 시기에 음극근처에서 전착이온이 고갈되고 많은 양의 비금속 이온이 잔류하게 되나 t_{off} 시기에 음극 표면에서 흡착(adsorption)된 수소와 불순물 들은 탈착(desorption)되어 bulk 용액으로 확산해 나가므로 낮은 불순물과 수소 함장량을 갖는 도금층을 얻을 수

있다고 한다. 그러나 아직까지 펄스 도금기구가 규명되어 있지 않은 실정이며 연구자에 따라서는 상이한 결과가 보고되고 있다.

4. 펄스도금의 특성

종래의 직류 도금에 비해 현재까지 알려지고 있는 펄스 도금의 장점은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 결정립 미세화: 펄스도금층은 직류도금층에 비해 결정립이 미세화 되는데, 이는 새로운 핵형성 위치가 많기 때문이다. 이 결과 미세한 결정립이 형성되고, 큰 입자나 columnar 입자를 갖는 도금층은 제거되고 도금층내의 기공(porosity)도 감소된다²³⁾. 그러나 금속의 결정립(grain size)과는 달리 도금층의 결정립에 대해서는 아직까지 명확한 정의가 확립되지 않은 상태에서 단순히 SEM 등을 사용하여 도금층 형상의 크기 관찰로 결정립 미세화를 논하는 것은 문제가 있다.

2) 밀착력 개선: 펄스 도금에서의 최대 전류밀도는 직류보다 상당히 증가시킬 수 있으므로 금속표면에 존재하는 음극피막을 파괴하여 도금층의 밀착성(adhesion)을 개선할 수 있다. 이 특성은 특별한 전처리 없이도 stainless steel 위에 도금을 가능케 한다.

3) 피복력 개선: 어떤 주어진 특성(예를 들면 색조, 기공이 없는 도금층)을 갖는데 필요한 도금층의 두께가 직류에 비해 1/3 내지 1/2로 감소될 수 있어 금속의 손실을 절감할 수 있다.

4) 수소 취성의 감소: 직류 도금시는 음극에서 발생한 수소가 모재내로 침입하여 고강도등의 경우 모재에 심각한 수소취성 효과를 나타내는데 반해, 펄스 도금시는 t_{off} 시기동안 수소가 bulk 용액으로 재확산해 나가므로 모재내의 수소흡장량을 상당히 감소시킬 수 있다²⁴⁾.

5) 전착금속의 분포: 펄스 도금의 경우 도금부위의 전착금속의 분포는 직류도금에 비해 매우 균일하게 된다. Fig. 4는 직류와 펄스로 도금했을 때의 금속분포를 정성적으로 나타내고 있다. 직류 도금층

의 dog-bone 효과가 과장되어 있기는 하나 실제 도금과정시 발생하는 상황을 보여주고 있다. 펄스 도금은 고주파의 cyclic 직류도금이기 때문에 도금부위의 표면을 가로지르는 전압이 고정되지 않으므로 전압구배가 항상 동적이며 고 전류 또는 저 전류 밀도효과가 도금부위에 나타날 확률이 적게 된다. 이는 도금부위에서 전착이온의 농도차로 나타나는데 펄스도금시는 전착이온 농도가 전체 도금표면에 걸쳐 균일하므로 펄스도금시 전착이온을 고갈시키거나 큰 capacitance 효과를 나타내지 않는 한 균일한 두께의 도금층을 얻을 수 있다.

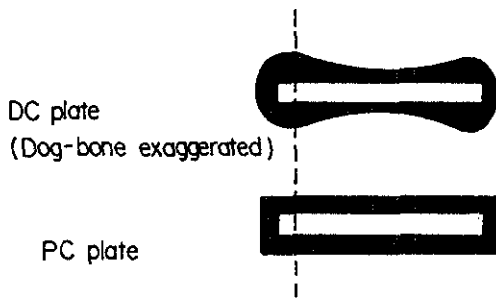


Fig. 4 Comparison of metal distribution between DC plate and PC plate.

6) 내부응력의 감소: 직류도금에서 도금층의 핵형성과 성장은 격자결함, 불순물, nodules과 같은 결함을 도금층내에 유발하고 도금층내에 잔류응력을 형성하여 도금층의 균열을 발생시킨다. 반면 펄스도금에서는 불순물과 결함들의 동시전착이 매우 적으므로 도금층내의 내부응력이 상당히 감소될 수 있다. 이 방법에 의해 crack free 크롬도금층을 얻을 수 있다²⁵⁻²⁶.

7) 양극용해: 용해성 양극 전극(soluble anode)을 사용하는 직류도금에서는 산화피막이 종종 양극에 형성되어 양극 재료의 용해를 방해하므로 도금욕 조성의 변화가 일어나는 반면, 펄스 도금시는 양극에서의 산화피막 형성이 감소되므로, 양극의 산화피막을 제거하는 첨가제의 필요성이 감소된다.

8) 음극 전류효율: 펄스도금은 직류도금에 비해 음극 전류효율을 증가시켜 에너지 절감, 생산성 향상에 효과가 있다고 한다⁶. 그러나 이와는 반대로 일부도금 system에서는 오히려 효율이 감소된다는 상반된 주장도 있다²⁷.

9) 균일한 합금도금의 조성: 펄스 도금에 의한 합금도금은 이론적으로나 실제적으로 상당히 흥미가 있는 분야이다. 직류에 비해 펄스에 의한 합금도금은 도금욕의 농도와 더욱 근접하면서 균일한 조성의 합금도금층을 얻을 수 있는데²⁸, Fig.5는 펄스 도금을 사용하면 전체 도금층 두께에 걸쳐 균일한 합금 조성을 갖는 도금층을 형성함을 보여주고 있다. 합금 도금층의 조성과 구조는 펄스 변수에 의해 영향을 받을 수 있는데, 아직까지 펄스도금에 의한 합금도금의 기구(mechanism) 및 도금층 물성에 대한 연구는 미비한 실정이므로 앞으로 중점을 두고 연구할 분야의 하나이다.

10) 결정구조 및 우선방위의 변화: 펄스도금은 도금층의 핵성장을 억제하고 새로운 핵형성을 촉진시켜 3차원으로 성장하므로 직류 도금층과는 다른 우선 방위(preferred orientation)를 갖을 수 있으며 Pd²⁹, Ni-P³⁰등의 경우 펄스 도금을 사용하여 비정질(amorphous)의 도금층을 얻을 수 있다고 보고되고 있다.

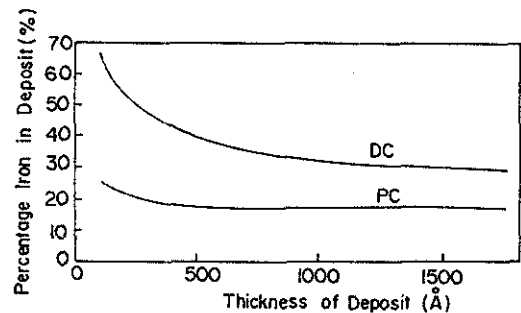


Fig. 5 Comparison of alloy composition for PC vs DC plating.

11) 물리적 성질의 개선

a) 밀도(density)증가: 예를 들어 Co 또는 Ni로

강화시킨 금은 지난 20여년 동안 내마모성 및 내식성이 우수하여 전자분야에서 connector류의 접점재료로 널리 사용되어 왔다. 직류도금한 경질 Au의 밀도는 대략 17.3-17.7 g/cm³ 정도인데 비해 펄스도금한 Au의 밀도는 18.7 g/cm³이다. 이 두 도금층을 비교해보면 펄스 도금의 경우 미세한 결정립의 equiaxed구조를 나타내며 동일조건에서 직류 도금에 비해 약 6-7% 정도의 밀도증가를 보이므로 내식성이 약 50% 증가되어 도금층의 수명이 향상되기 때문에 반도체등 전자 산업분야의 요구에 적합하다.

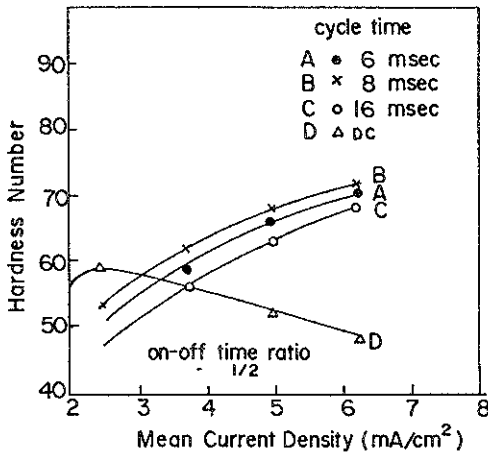


Fig. 6 Vickers hardness vs. mean current density.

b) 경도 및 내마모성 증가: 펄스 도금층은 결정립 미세화로 인해 경도가 증가되고 상대적으로 내마모성도 증가한다. Fig. 6은 직류 및 펄스 도금한 Au도금층의 경도를 비교한 것으로 펄스 변수에 따라 경도가 변화됨을 알 수 있다.

c) 접촉저항(contact resistance)의 감소: 전자산업 분야에서 사용되는 집적회로 기판은 낮은 저항을 갖는 gold electroplated conductor path을 요구한다. Fig. 7은 metallized ceramic 기판위에 도금시킨 Au도금층의 접촉 저항(contact resistance)에 대한 펄스도금의 효과를 보여주고 있다²¹. Fig. 7의 결과를 보면 펄스도금시 도금두께에 대한 접촉저항의 향상을 보여주고 있는데, 예를 들면 약 0.1ohm

/square의 sheet resistance를 갖기 위해서 직류도금일 때에는 약 3.1 μ m두께가 필요한 반면 펄스도금을 사용하면 약 1.7 μ m에서도 동일한 sheet resistance을 얻을 수 있다. 접촉저항은 실제 접촉(real contact)부의 총면적에 관계되는데 Gurovich²² 등은 직류도금을 사용할 때 형성된 표면이 펄스도금 보다 rough한 이유로서, current-off시기 동안 불순물(impurities)들의 흡착이 새로운 핵생성을 가속화하고, 이미 생성된 핵생성 위치에서의 핵 성장을 방해하여 도금층이 더욱 미세화되고, 표면이 평탄(smooth)함에 따라 실제 접촉면적이 증가하게 되어 접촉저항이 작아지게 된다고 하였다. 또한 접촉하중(contact load)이 변화해도 펄스도금층 표면의 접촉저항은 직류도금층에 비해 덜 영향을 받는데, 그 이유는 직류도금층이 soft하고 접촉하중에 의해 쉽게 변형되므로, 실제 접촉면적이 변화하기 때문이라 하였다.

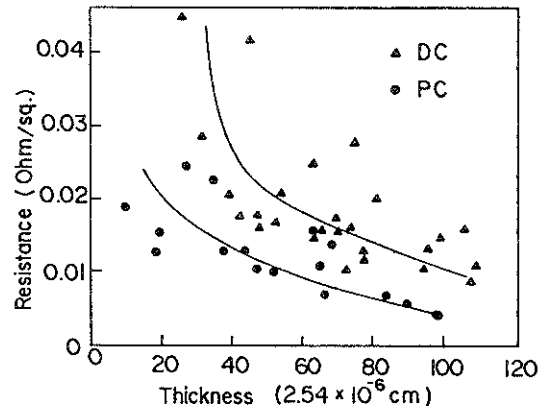


Fig. 7 Curves from four point probe resistivity measurements of electroplated gold on metallized ceramic substrates.

반면 펄스도금은 몇가지 단점을 갖고 있다. 먼저 펄스 도금에는 사용할 때 준수하여야 할 도금 조건에 대한 standard pattern이 없으므로 각 금속, 합금 도금계는 각각의 장점 및 특성에 맞게 개발되어야 한다. 즉 도금층의 물리적 성질을 개선하기

위해서는 실험을 통해 formular을 만들어 최적의 process cycle을 만들어야 하는데, 최적의 펄스 도금조건을 얻기 위해서는 다음 사항이 고려되어야 한다.

- a) 펄스 도금에 의해 개선되어야 하는 도금층의 특성을 정의한다.
- b) 도금층에 행해지는 분석(부식시험, 마모시험, 내부응력 등등)의 종류를 결정한다.
- c) 동일한 조건에서 직류도금과 펄스도금의 결과를 비교한다.
- d) 이러한 결과로부터 펄스 도금의 최적 도금조건을 결정한다.

한편 펄스 도금은 경제적인 문제를 고려해야 하는데 square wave를 이용한 펄스 장치의 경우, 유사한 최대전류 용량을 갖는 직류도금 장비에 비해 가격이 5-10배 정도가 비싸다. 반면 AS 펄스장비는 가격이 상당히 저렴하나 고주파의 capability가 낮은 단점이 있다. 그러나 긍정적인 면에서는 최종 도금층의 물성이 문제가 될 수 있다. 예를 들면 펄스도금층의 우수한 내식 및 내마모성은 전착금속의 소비를 감소시킬 수 있다. 예를 들면 Au 펄스도금층의 우수한 내식성은 직류 도금층 두께의 50% 감소효과와 동일한 내식성을 나타내며, 내마모성의 경우 30% 정도의 두께감소가 있을 수 있다. 고로 사용자가 펄스도금의 장, 단점을 잘 이해하고 펄스도금을 사용하여 얻고자 하는 최종 도금층의 특성을 개발하여야 할 것이다.

5. 펄스도금의 현황 및 전망

펄스도금은 종래의 직류도금층에 비해 물성이 우수하고 다양한 성질을 갖는 도금층을 만들 수 있다. 고로 펄스 도금에 대한 연구는 실제적인 면에서 다양한 도금계에 활용하기 위해 최적 펄스 도금조건 및 펄스도금층의 물성에 대해 주로 연구가 진행되어 왔으며, 도금의 이론적인 측면에서도 연구가 활발히 이루어지고 있다. 현재까지 연구되어진 펄스도금 종류의 예는 간략하게 Table 1에 나타내었다. 최근에는 Table 1에서 볼 수 있듯이 단일 금속의 펄

스도금이외에도 도금욕 조성과 관계되어 도금층의 조성을 잘 조절할 수 없었던 합금도금 등의 연구가 활발하다.

Table 1. Example of pulse plating system

plating system	reference	plating system	reference
Au	2-3	Cd	38
Pd	4-5	Ti	39
Rh	6	Pd-Ni	14
Cr	7-11	Ni-Zn, Ni-Sn	15
Ni	12-13	Ni-P	30
Cu	33-34	Sn-Pb	40
Zn	35	Pd-Co, Pd-Ag	41
Ag	36	Cu-Ni, Cu-Zn	42
Ru	37	Au-Co	43

펄스도금이 응용되고 있는 예를 현재 이 방법이 광범위하게 활용되고 있는 전자산업을 중심으로 살펴보면 다음과 같다¹⁸⁾.

1) Connectors : 펄스도금은 electronic connector와 switch contact에 사용하고 있는 Ni, Au 도금에 널리 사용되고 있다. 일부 접점재료(contact material)는 전체표면에 걸쳐 Au를 barrell 도금해야 하는데, Au의 가격이 비싸므로 그 사용을 최소화 하기 위해 접촉지역에만 Au를 도금하는 특별한 도금방식을 요구하게 되었다. 그 결과 Ni과 Au의 stripe 도금은 펄스도금을 사용하는 것이 매우 성공적이었다. 또한 펄스도금한 Ni도금층은 도금층 내의 잔류응력이 감소하므로 도금후에 절단하여 접점(contact)을 만들 수 있게 됨에 따라 경제적인 이익이 PCPS의 비교적 높은 가격을 훨씬 능가하게 되었다.

2) Lead frames : 반도체에 사용되는 lead frames의 제조업자들은 wire의 결합(bonding)력 증대와 도금속도를 증가시키기 위해 펄스도금을 사용한다.

3) Fine patterns : 정밀전자 산업에서는 고밀도의 전자회로를 만드는 곳에 펄스도금을 이용한다. 전형적인 직류 도금층은 mushroom shape의 도금층을 만들기 때문에 fine pattern에서 요구하는 어떤

line trace에 대한 다른 trace의 밀착성이 제한된다. 반면 펄스 전류를 사용한 circuit trace는 서로 단락됨이 없이 밀착시킬 수 있으므로 고밀도의 회로를 만들 수 있다. 예를 들어 computer의 disc drive에 사용되는 magnetic head film을 펄스도금으로 제조하면 head의 자기적성능을 크게 향상시킬 수 있다.

4) Surface acoustic wave(SAW) technology : SAW기술에 펄스도금층을 사용하여 cable television의 고주파 oscillator, filter 및 satellite communication, modem 및 radar등에 이용되고 있다.

5) Wave guides : 고주파수의 transmission에서는 평탄한 표면이 radio frequency에 의한 손실을 줄일 수 있는데, 펄스도금으로 Au를 도금한 표면은 표면 거칠기(surface roughness)가 개선되어 waveguide 성능이 향상되었다.

6) Decorative work : Au, Rh, Ag 등의 귀금속도금에 PC를 사용하면 고전류밀도 지역에서의 overplating을 줄이면서 복잡한 형상을 갖는 후미진 곳(recessed area)의 균일 전착성을 향상시킨다.

7) Circuit boards : 회로기판에 사용하는 Pb-Sn 합금도금층에 펄스도금을 사용하면 도금한 전체면적에 걸쳐 균일한 Pb-Sn 합금농도를 유지할 수 있으므로 infrared solder reflow에 대한 우수한 특성을 나타낸다.

이밖에도 펄스기술은 금속 표면처리의 다른 분야인 electropolishing, anodizing, electropainting, electroetching, electroforming 및 electrodischarge machining 등 다른 전기화학 공정분야에서도 유용한 수단일 수 있다. 그러나 국내에서는 이 분야의 기술이 국내 도금산업의 영세성, 낮은 기술 수준 등으로 인하여 낙후되어 있고 기초 연구마저 미비한 실정이므로 이 분야에 대한 정부의 적극적인 육성 과 연구가 진행되어야 할 것이다.

펄스도금의 미래는 특수 공업용 분야, 특히 합금도금층의 성질개선에 중점을 두게 될 전망이다. 현재 Ag-Cd, Cr-Mo, Ni-P, Au-Ni 등 다양한 합금도금 system에 대한 적용이 시도되고 있다. 또한

멀지 않은 장래에 대부분의 전기도금은 펄스 도금으로 대체되고 그 응용 분야는 더욱 확대될 전망이다.

6. 결 론

펄스 도금층은 직류 도금층에 비해 우수한 물성을 얻을 수 있는 장점이 있으나 펄스 도금의 기구가 명확히 밝혀져 있지 않은 상태이므로 모든 도금계에 적용할 수 있는 조건에 대한 standard pattern이 없는 실정이다. 펄스 도금의 기구 규명을 위해서는 다양한 도금계에서 용액내에서의 전기화학 반응 및 도금층의 물성에 미치는 펄스변수의 효과에 대해 보다 체계적이고 심층적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 1986년도 과학 기술처의 지원에 의하여 시행한 특정 연구 개발사업인 펄스 전해법에 의한 금속 재료의 피복 기술 개선에 대한 연구(N205-2721-1)의 일환으로 수행되었다. 저자들은 연구비를 지원해 준 과학 기술처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Winkler, Jr.: U.S. Patent 1,951,893, (1934).
2. A. Blair: Metaloberfläche, 34, (1980), 201.
3. K. Lin, R. Weil and K. Desai: J. Electrochem. Soc., 133, (1986), 690.
4. S. Yoshimura, S. Chida, E. Sato and N. Kubota: Met. Finish., 84, (1986), 39.
5. I.P. Nenov and L. Tebai: Metaloberfläche, 40, (1986), 9.
6. W.S. Miu and Y.S. Fung: Plat, Surf. Finish., 73, (1986), 58.
7. Leland: U.S. Patent 3,886,053, (1975).
8. M. Sutter: Surfaces, 24, (1985), 8.

9. D.T. Chin and H. Zang: *Electrochim. Acta*, **31**, (1986), 299.
10. V.A. Lamb: *Plating*, **56**, (1969), 909.
11. A. Knödler: *Galvanotechnik*, **61**, (1970), 290.
12. W. Kleinekathöfer, Ch. J. Raub and E. Raub: *Metalloberfläche*, **36**, (1982), 411.
13. V.S. Abdulin and V.I. Chernenko: *Zashch. Met.*, **18**, (1982), 964.
14. Y. Fukumoto, Y. Kawashima and T. Hayashi: *Plat. Surf. Finish.*, **73**, (1986), 62.
15. A. Knödler, Ch. J. Raub and E. Raub: *Metalloberfläche*, **39**, (1985), 21.
16. G. Perger and P.M. Robinson: *Met. Finish.*, **77**, (1979), 17.
17. G.W. Jernstedt: *Proc. Amer. Electroplaters' Soc.*, **36**, (1949), 62.
18. N.M. Osero: *Plat. Surf. Finish.*, **73**, (1986), 20.
19. H.Y. Cheh: *J. Electrochem. Soc.*, **118**, (1971), 551.
20. N. Ibl: *Surf. Technol.*, **10**, (1980), 81.
21. S. Toshev and I. Markov: *Electrochim. Acta*, **12**, (1967), 281.
22. K.I. Popov, M.D. Maksimović, R.M. Stevanovic and N.V. Krstajić: *Surf. Technol.*, **22**, (1984), 155.
23. T.P. Sun, C.C. Wan and Y.M. Shy: *Met. Finish.*, **77**, (1979), 33.
24. Y. Fukumoto, Y. Kawashima, K. Handa and Y. Hayashi: *Met. Finish.*, **82**, (1984), 77.
25. A. Knödler: *Metalloberfläche*, **17**, (1963), 331.
26. J.S. Kim, R.H. Song, S.I. Pyun and H.C. Kim: *J. Mater. Sci.*, to be submitted.
27. Y.Y. Wang, C.S. Tung and C.C. Wan: *Met. Finish.*, **78**, (1980), 21.
28. G.R. Perger: *Electrodeposition and Surface Treatment*, **2**, (1979), 369.
29. S. Chida, N. Kubota and E. Sato: *J. Met. Finish. Soc. Jpn.*, **38**, (1987), 74.
30. D.S. Lashmore and J.F. Weinroth: *Plat. Surf. Finish.*, **69**, (1982), 72.
31. A.J. Avila and M.J. Brown: *Plating*, **57**, (1970), 1105.
32. R.I. Gurovich: *J. Appl. Chem., U.S.S.R.*, **41**, (1968), 1168.
33. O. Chène, M. Datta and D. Landolt: *Oberfläche Surf.*, **26**, (1985), 45.
34. K.I. Popov, M.D. Maksimović and D.C. Totovski: *Surf. Technol.*, **17**, (1982), 125.
35. Y. Tsuru, K. Fukagawa, M. Matsunaga and K. Hosokawa: *J. Met. Finish. Soc. Jpn.*, **36**, (1985), 110.
36. M.G. Pavlović, M.D. Maksimović, K.I. Popov and M.B. Kršul: *J. Appl. Electrochem.*, **8**, (1978), 61.
37. A. Blair and A. Ferrara: *Proc. 2nd AES Symposium on Pulse Plating, Louisiana, Fla.*, (1981), 6.
38. J. Cl. Puippe and N. Ibl: *Plat. Surf. Finish.*, **73**, (1986), 68.
39. I.A. Groza, A.S. Parsadanyan and A.G. Karcha: *Elektronnaya Obrab. Mater.*, **2**, (1986), 60.
40. G. Messin, A. Tai and J. Pagetti: *Galvano-Organo-Trai. Surf.*, **53**, (1984), 737.
41. A. Knödler, Ch. J. Raub and E. Raub: *Metalloberfläche*, **38**, (1984), 379.
42. *Ibid.*, **38**, (1984), 496.
43. W.F. Fluehmann, F.H. Reid, P.A. Maüsli and S.G. Steineman: *Plat. Surf. Finish.*, **67**, (1980), 62.