

돌출부를 지닌 전극의 전기도금시스템에 대한 이론적 이차 전류분포 해석

손태원 · 주재백*

홍익대학교 공과대학 화학공학과

(2009년 8월 31일 접수: 2009년 10월 29일 채택)

Theoretical Analysis of Secondary Current Distributions for Electrode with a Projection Part in Electroplating System

Tai-Won Sohn and Jeh-Beck Ju*

Department of Chemical Engineering, Hong Ik University, Seoul 121-791, Korea

(Received August 31, 2009 : Accepted October 29, 2009)

초 록

돌출부를 지니고 있는 전극의 전기도금 공정에 대한 이론적 이차 전류분포에 대하여 고찰하였다. 전극이 모두 전도체인 경우(Case 1)와 돌출부위만 전도체인 경우(Case 2) 두 가지 경우에 대하여 인가전위, 이온교환 전류밀도와 용액의 비전도도의 비인 ξ 값, aspect ratio의 영향 등에 대하여 살펴보았다. 그 결과 인가 전위와 ξ 값이 증가할수록 전류분포는 불균등화가 심화됨을 알 수 있었다. Aspect ratio가 작아질수록 전류분포가 보다 균등화되며 Case 2의 경우가 Case 1의 경우보다 균등도가 좋아짐을 알 수 있었다. 돌출부위가 다양한 모양으로 이루어진 전극에 대해서도 이 모델을 적용한 결과 전극 표면에 따른 국부 전류분포를 동시에 계산할 수 있음을 알 수 있었고 이 경우에도 이전과 마찬가지로 ξ 값이 감소할수록 전류분포의 균등도가 좋아짐을 알 수 있었다.

Abstract : Theoretical calculations for the secondary current distributions for the electrode with a projection part in electroplating were performed. Two kinds of electrodes were considered. One is a electrode with the overall conducting surfaces(Case 1) and the other is an electrode in which only a projection part has a conducting surface(Case 2). The effects of applied potential, the ratio of ion exchange current to conductivity, ξ and the aspect ratio on the current distribution were examined. The increase of applied current or the value of ξ decreased the uniformity of current distribution. The small value of aspect ratio resulted the more uniform current distribution and Case 2 showed the better uniformity than Case 2. When this model was applied into an electrode with various projection parts, the local current distribution along the electrode surface were obtained successfully. In this case, the decrease of ξ also increase the uniformity of current distribution as seen previously.

Keyword : Electroplating model, Current distribution, Projection part, Uniformity

*E-mail: jbj@hongik.ac.kr

1. 서 론

근래 들어 전기도금기술은 전자산업 분야에서도 전자부품 및 소자의 가공기술 중 하나로서 그 중요성은 더욱 커지고 있으며 그 산업 또한 성장하고 있다. 전자제품의 소형화 및 고기능 패키징 기술의 필요성에 따라 전기도금 기술은 주요한 제조기술 중의 하나로 자리 잡고 있다. 인쇄 회로판, 연결핀, 박막자기헤드 등 여러 전자 부품들의 제조뿐만 아니라 미소소자 등의 제조 기술에도 전기 도금기술이 사용되고 있다.^{1,2)} 이러한 부품들의 전기도금 제조 기술에 있어서 가장 중요한 부분은 도금의 균일성 특히 도금 두께 분포에 대한 균일성으로 알려져 있다. 전자 부품내의 리소그래픽 회로 패턴, 불규칙적인 표면 형상, 여러 작은 구멍들 또는 간혹 나타나는 큰 구조물의 존재, 부도체나 산화물 층의 존재 등 여러 전기 도금 시스템 내에는 두께 균일을 위한 전착성에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 여러 다양한 조건들이 내재되어 있다. 이러한 조건들을 극복하여 두께의 균등성을 얻기 위해서는 적합한 전기도금의 공정 및 가동 조건을 모색하여야 한다.²⁻⁶⁾

일반적으로 두께 균일성은 적극의 각 표면에 따라 균일한 전류밀도가 이루어져야 가능하게 된다. 가장 근본적인 문제점으로는 전기도금공정의 일반적인 특성은 전류분포가 불균등화 되려는 성향을 강하게 갖고 있다는 것이다. 전류 분포 문제는 일반적으로 크게 세 가지로 분류된다. 즉 1차분포, 2차분포 및 3차 분포로 분류할 수 있으며 1차분포는 양극과 음극의 기하학적 형태 및 위치에 따른 전류분포를 말하며 이는 전해질에 의한 전기전도도의 영향이 중요한 결정인자라고 할 수 있다. 2차 분포는 이전의 1차 분포와 더불어 전극에서의 전기화학적 반응까지도 고려된 경우이며 3차분포는 2차 분포와 더불어 반응 물질의 전극표면까지의 물질전달까지 고려된 분포라 할 수 있다.⁷⁻¹¹⁾ 즉 2차 분포는 전해질 용액의 농도나 throwing power가 충분한 크기일 때 적용될 수 있으며 3차 분포는 물질전달의 지배를 받는 경우 예를 들어 희석 전해질을 쓰는 경우 또는 물질전달 속도가 일부의 전극 표면에 걸쳐 부분적으로 불균등하게 일어나는 경우다.

본 연구에서는 일차적으로 물질전달의 지배를 받지 않는다는 가정 하에서 2차 분포를 적용하여 돌출부위에 대한 전기도금 반응속도의 분포를 다양한 기하학적 형상에 대하여 고찰하여 적합한 도금분포를 지닐 수 있는 공정 조건들을 제시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

전기 도금과 같은 전기화학시스템의 설계 및 특성분

석을 위해서는 반드시 전류 및 전위분포에 관한 이해가 필요하며 이에 대한 이론적 모사가 수행되어야 한다. 전류 및 전위분포는 유체역학, 물질전달속도, 이온 및 전자 전달현상, 화학 및 전기화학 반응기구 혹은 열전달 등의 여러 조건들에 의하여 결정된다. 이러한 여러 문제들에 대한 전류분포 연구사례조사는 문헌에 잘 나타나 있다.^{2,7,8)}

전류 및 전위분포의 이론모사연구에 관련되는 여러 문제점들은 다음과 같다. 즉 일차원이나 다차원, 또는 충전층 전극이나 유동층 전극 등의 기하학적 형태의 문제, 제트흐름이나 플러그흐름 또는 경계층흐름 등에 따른 대류 유체흐름 시스템이 정상상태나 과도기적 또는 주기적인가 하는 시간과 연관된 문제, 전극표면에서의 전극 반응이 한계전류 하에서 일어나는지 또한 반응이 가역이나 비가역이냐의 전극 경계조건 문제, 물질전달 확산층 내에서의 이온의 이동효과의 중요성 여부, 전극표면에서 여러 반응이 동시에 일어날 경우의 문제, 전해질 내에서 가역 또는 비가역의 균일한 화학반응의 존재여부 등 실로 광범위한 범위에 걸친 전류분포 문제들이 있다. 총괄해서 대부분의 전류분포 문제들은 세 종류의 분포 문제로 나누어 요약되고 있으며 이는 1차(Primary), 2차(Secondary) 그리고 3차분포(Tertiary distribution) 문제이다. 이러한 세 종류의 분포 문제에 영향을 미치는 인자들은 셀의 기하학적 형태, kinetic parameter, 전기전도도, 반응물질의 농도, 대류 유체흐름 양상 및 셀에 흐르는 총 작동전류 등이다.^{7,8)}

1차분포는 전해질내의 저항전위차에 의하여 결정된다. 이 경우 전극표면에서의 활성화 과전위(Activation overpotential) 및 농도 과전위(Concentration overpotential) 등은 무시되며 단지 셀의 기하학적 형태에 의하여 결정된다. 전위분포는 Laplace 식의 해석결과에 의하여 얻을 수 있으며 보통 전극 모서리에서의 전류 singularity에 의하여 매우 불균등한 전류분포를 보인다. 2차분포는 전극표면에서의 농도변화가 없으며 단지 저항전위차와 반응에 의한 활성화 과전위가 시스템에 적용된 경우에 나타난다. 전극계면에서의 활성화 과전위는 시스템에 흐르는 총 전류값에 따라 변화하며 이에 따라 전극 끝의 전류 singularity가 방지되며 1차 분포에 비하여 균등한 분포를 나타낸다.

2차분포의 전위분포는 다음과 같은 식으로부터 얻어진다. 이러한 전위분포에 대한 이론적 해석은 여러 시스템에 사용된다. 차분포의 전위분포식과 다른 점은 경계조건에 있어서 전극반응에 따른 전류의 source term 이 존재한다는 것이다. 분포의 균등도(Uniformity)는 보통 무차원 변수인 Wagner number에 의해 결정된다. 즉 활성화 resistance, ohmic resistance 및 전극크기의 비로 나타난다.

$$W_a = \frac{RTk}{a_c Fil}$$

즉 활성화 resistance를 크게 하거나, 전극크기를 작게 하거나, 전기전도도를 증가시키거나 전류밀도를 낮출 경우 Wagner number는 커지며 따라서 더욱 균등한 전류분포를 나타내게 된다.

3차분포는 2차분포의 경우에 물질전달에 의한 농도 과전위의 영향이 첨가된 경우에 나타난다. 전류밀도는 확산 경계층의 두께에 반비례로 나타난다. 전기도금 공정의 경우 이러한 3차분포는 전착물질의 Micromorphology에 큰 영향을 주며 일반적으로 한계전류밀도의 50~70% 이상의 전류밀도에서는 표면이 매우 거칠게 된다. 보통 이러한 조건에서의 도금은 바람직하지 않으며 대류 흐름을 증진시키거나 농도를 증가시키거나 전류밀도를 낮춤으로써 적절한 표면의 평준화를 이룰 수 있다. 또한 전극표면의 조도(Roughness)가 확산층 두께보다 훨씬 작을 경우 전극표면에서의 반응속도는 물질전달속도에 지배된다. 이러한 경우 도금표면의 조도는 더욱 커지며 이를 조절하기 위해서는 물질전달속도를 증가시키거나 또는 유기첨가제 등을 첨가하여 활성화 과전위를 증가시켜 반응 율속으로 바꾸어 주기도 한다. 이와 같은 3차 분포 문제는 대류확산식과 더불어 전위분포식 및 전극반응속도식이 복합적으로 연결되어 있는 비선형시스템으로서 주로 컴퓨터에 의한 수치해석법 방식에 의하여 해석되고 있다.

2.1. 이차분포 모델식

시스템내의 전기전도는 Ohm의 법칙에 따른 전하수 지식에 의하여 Laplace식으로 표현되며 이차분포 식은 일차 분포의 경계조건대신 전극에서 전기화학반응이 일어나는 것으로 바뀌게 된다. 전위 및 전류분포는 아래의 식에 의하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} j &= -\kappa \nabla \phi \\ \nabla^2 \phi &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 전위, j 는 전류밀도이고 κ 는 도금액의 비전도도다.

경계조건은 부도체와 전극에서의 반응에 따른 전류의 플럭스이며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} n \cdot \nabla \phi &= 0 && \text{on insulator} \\ \phi &= \text{constant} && \text{at anode(potentiostatic mode)} \\ n \cdot \nabla \phi &= j_{av}/\kappa && \text{at anode(galvanostatic mode)} \\ n \cdot \nabla \phi &= j/\kappa && \text{at cathode} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 j_{av} 는 정전류 하에서 도금할 때 양극을 통해 흐르는 평균전류밀도이며 n 은 normal 벡터다.

음극에서의 전기도금 속도 j 는 다음과 같이 Butler-

Volmer 식으로 나타낸다.

$$j = j_o \left\{ \exp\left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta_s\right) - \exp\left(-\frac{\beta n F}{RT} \eta_s\right) \right\} \quad (3)$$

여기서 R 은 기체상수, T 는 절대온도, α, β 는 전달계수, F 는 Faraday 상수, n 은 반응에서 소모되는 전자의 수, j_o 는 이온교환전류밀도이며 η_s 는 활성화 과전위이다.

2.1.1. 모델식의 무차원화

시스템의 여러 인자들이 도금분포에 미치는 영향을 이해하고 적합한 도금 조건의 모색을 위하여 상기 식들을 아래와 같은 무차원 상수와 변수들을 도입하여 무차원식들로 전환한다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{x}{W}, \quad Y = \frac{y}{W}, \quad \Phi = \frac{nF}{RT} \phi, \quad \eta_s^* = \frac{nF}{RT} \eta_s \\ \xi &= \frac{nFWj_o}{RT\kappa}, \quad j^* = \frac{nFWj}{RT\kappa} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (1)-(3)은 다음과 같은 무차원 식들로 바뀐다.

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (5)$$

경계조건은 다음과 같이 변한다.

$$\begin{aligned} n \cdot \nabla \Phi &= 0 && \text{on insulator} \\ \Phi &= \text{constant} && \text{at anode(potentiostat mode)} \\ n \cdot \nabla \Phi &= j_{av}^* && \text{at anode(galvanostat mode)} \\ n \cdot \nabla \Phi &= -j^* && \text{at cathode} \end{aligned} \quad (6)$$

또한 전기도금 반응식은 다음과 같은 무차원 식으로 바뀐다.

$$j^* = \xi \{ \exp(\alpha \eta_s^*) - \exp(-\beta \eta_s^*) \} \quad (7)$$

2.2. 이론 모델의 전개

전극 위의 돌출부위에 대한 전류분포의 특성을 알아보기 위하여 상기와 같은 이차분포 식들을 기술하였다. 위의 변수 중 ξ 는 반응속도와 전해질에 의한 저항이 관여하는 중요한 도금특성 결정인자로서 이전에 언급한 Wagner 수에 상응하는 변수다. 즉 ξ 는 Wagner 수의 역수에 해당되며 Wagner수가 증가할 경우 ξ 값은 감소하게 된다. 본 연구에서는 ξ 의 크기, 인가 전위 또는 인가전류 값들을 다양하게 변화시켜 정전위 및 정전류 상태에서 조업할 경우의 전류분포를 계산하고자 하였다. 모델식들 (5)-(7)을 다음과 같은 가정들 하에서 적용하였다.

1. 시스템의 반응상수들과 물리적 조건은 일정하다.
2. 양극은 분극되지 않고 반응물질의 migration이나

물질전달에 의한 영향은 없다고 가정한다.

3. 본 연구는 단지 전류분포의 전반적인 균등도와 관련된 시스템 운전조건의 특성만을 살펴기 위한 연구이므로 양극과 음극의 국부적인 형상변화는 없다고 가정한다.

4. 다만 하나의 전기화학반응 즉 구리의 전기도금반응만이 일어난다고 가정한다.

2.3. 해석방법

본 연구에서 설정한 시스템 도메인을 Fig. 1에 나타내었다. 돌출부위를 지닌 음극은 아래에 위치하고 있고 양극은 위에 있는데 전류분포에 큰 영향을 미치지 않도록 충분히 거리를 두었으며 여기서 X, Y는 무차원 거리이다. 두 가지 경우에 대하여 해석하였는데 Case 1은 X축을 따라 표면전체가 전도체 전극인 경우이며 Case 2는 돌출 부위만 전극인 경우이다. 상기한 모델 식들은 편미분 방정식 솔버인 FlexPde 프로그램(PdeSolutions Co.)¹³⁾을 사용하여 해석하였다. 참고로 언급하면 FlexPde 프로그램은 유한요소법에 근거한 오픈 스크립트 형 소프트웨어로서 아직 전기도금 모사에 사용된 예가 없으나 본 연구 목적에 잘 부합한다고 판단하여 이를 사용하였다.

정전위에서 도금할 경우는 양극전위를 일정한 값으로 두고 음극전위(Φ_a)를 설정하여 아래의 식 (8)로부터 활성화 과전위(η_s^*)를 계산할 수 있다. 이로부터 도금

$$\eta_s^* = \Phi_a - \Phi_o, \text{ 여기서 } \Phi \text{는 Ohmic 강하 전위다.} \quad (8)$$

반응속도를 계산할 수 있다. 정전류에서 도금할 경우는 양극에 일정한 전류 밀도값이 설정되고 적절한 Φ_a 값을

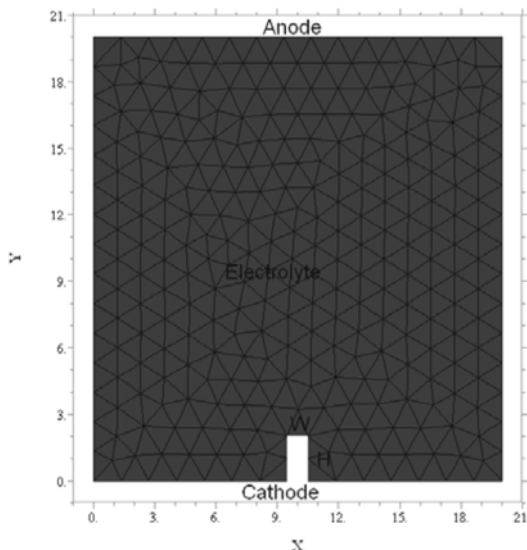


Fig. 1. Schematic view of domains for the calculation of current distribution.

가정하여 위의 식에 의하여 및 도금반응속도가 계산되며 도금반응에 의한 전류플럭스의 총합계가 총 가동 전류 값과 일치시켜 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

경우에 따라 전류분포는 전극거리에 따라 정규화(normalization)시켜야 더욱 그 변화를 잘 알 수 있으므로 일부 결과는 다음 식에 따라 정규화 하였다.

$$\beta = \int_0^l j^* ds \quad \text{and} \quad J = \frac{j_s^*}{\beta},$$

여기서 l 은 전극의 총 길이, s 는 전극 길이 방향을 따라 변하는 위치변수이며 β 는 무차원의 총 전류 값이다. θ 는 정규화 된 국부 도금 반응 속도를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

X축을 따라 기저물 표면전체가 전도체 전극으로 이루어진 경우(Case 1) 정전위 동작 조건에서의 무차원 전류 밀도 분포의 한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 돌출부위 양면 코너에서 전류밀도가 급격히 감소하였다가 돌출부위 양변을 따라 증가하고 윗부분에서 비교적 평탄한 분포를 이룸을 알 수 있다. 이는 정형적인 이차분포의 특성을 나타내는 것으로서 실제 도금액의 경우 비교적 진한 농도로서 throwing power가 우수한 용액을 사용하기 때문에 이차분포 해석이 비교적 유효하다고 생각할 수 있다. 전위 값에 따른 정규화된 전류분포를 Fig. 3에서 볼 수 있다. 정규화된 전류밀도(J)는 국부 무차원 전류밀도(j^*)를 X축에 따라 적분한 총 무차원 전류밀도를 이용하여 계산한 결과다. 전위 값이 증가할수록 전류분포가 매우 불균등해짐을 볼 수 있다. 전위가 작을 때는 전류밀도 값이 작아져 반응 속도가 되므로 전류분포 균등도가 좋아지고 전위가 커지면 전류 값이 커져 전해액에 의한 IR 강하의

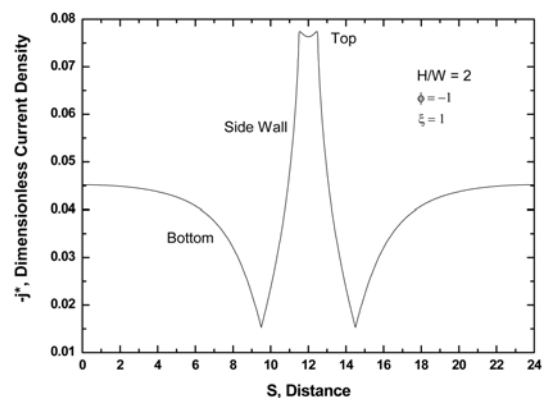


Fig. 2. A dimensionless current distribution along the electrode surface.

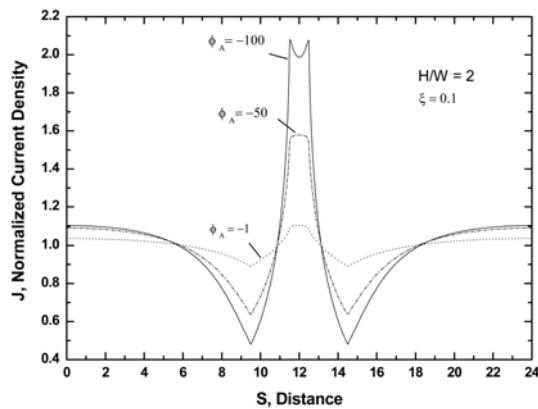


Fig. 3. Normalized current distributions with various values of applied potentials in potentiostatic mode.

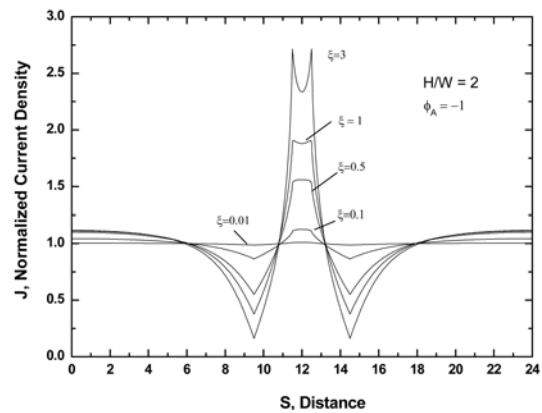


Fig. 5. Changes of normalized current with various values of ξ in Case 1.

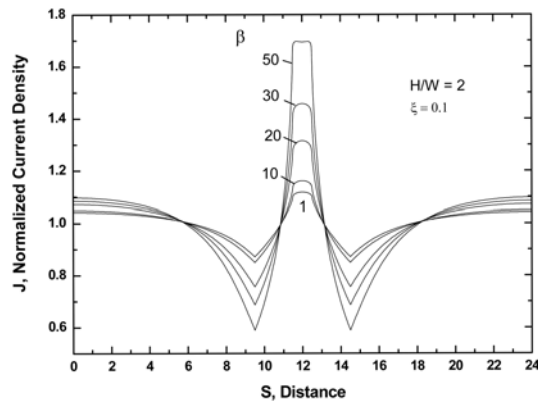


Fig. 4. Normalized current distributions with various values of applied total currents in galvanostatic mode.

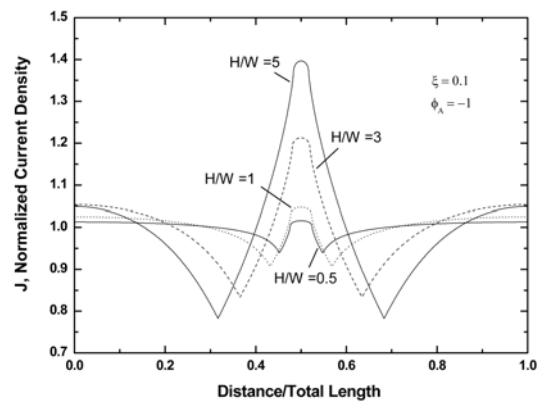


Fig. 6. The effects of aspect ratio on the normalized current distributions in Case 1.

영향 때문에 전류분포의 균등도가 나빠지게 된다. 이는 프로그램을 정전류 동작 조건으로 바꾸어 해석한 결과인 Fig. 4를 통하여 더 확연히 알 수 있다. 그림에서 β 는 무전위 총 인가전류량이며 β 값이 증가할수록 전류분포가 더 불균등해 짐을 볼 수 있다.

Fig. 5는 aspect ratio 즉 높이와 너비의 비가 2이고 무차원 인가전위가 -1일 경우 시스템의 전류분포에 중요한 영향을 미치는 상수인 ξ 의 값의 변화에 따른 전류 분포의 균등도(uniformity)변화를 보여주고 있다. 즉 ξ 값이 감소할수록 전류분포의 균등도가 좋아지는 전형적인 이차 분포가 됨을 알 수 있다. 무차원 상수 ξ 는 사실상 시스템의 교환 전류밀도와 전기전도도의 비를 나타내주는 상수로서 일반적으로 문헌에서 전하전달 저항과 용액의 비저항의 비로 나타내는 Wagner수^{8,11)}의 역수에 상당하는 의미를 지니고 있다. 일반적으로, 어느 정도의 ξ 범위 내에서 전기화학시스템은 전극표면에서의 전하전달 저항

과 용액에 의한 저항을 동시에 내포하고 있다. 즉 어느 저항 값이 상대적으로 큰 값 인가에 따라 영향을 받는 것이다. 즉 작은 ξ 값은 반응이 천천히 일어나거나 용액의 전도도가 큰 경우로서 이때는 반응속도가 전기도금 속도에 따라 결정되기 때문에 균등도가 좋아지게 된다. 반대로 ξ 값이 커질수록 균등도가 나빠지게 되며 결과적으로 매우 큰 ξ 값에서는 시스템의 기하학적 형태에 따라 전류 분포가 결정되는 일차 전류분포로 나타나게 된다.

Fig. 6에서는 ξ 가 0.1이고 무차원 인가전위를 -1로 고정하였을 경우 돌출부위 형태를 나타내는 여러 aspect ratio(H/W) 값에 따른 전류분포를 볼 수 있다. 이 그림에서 x축은 위치 변수를 전극 총길이를 등분한 변수로 나타내어 도금의 균등화 분포에 대한 비교가 잘 나타나도록 하였다. 전류분포의 균등화 정도는 aspect ratio가 작을수록 좋아짐을 알 수 있다. 전류분포 중 최소 부분은 돌출부위 밑의 모서리 부분의 경우이며 최대 부분은 위

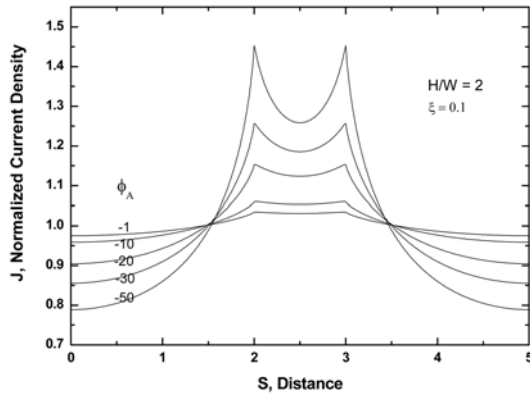


Fig. 7. Normalized current distributions with various values of applied potentials in Case 2.

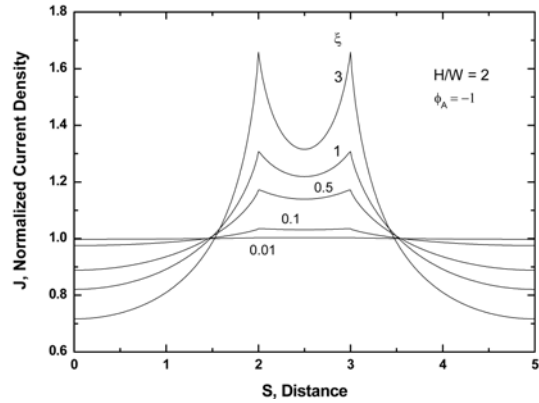


Fig. 8. Normalized current distributions with various values of ξ in Case 2.

모서리 부분의 전류분포를 의미한다.

돌출 부위만 전극이고 다른 곳은 부도체인 경우 즉 Case 2에 대한 전류분포를 여러 인가전위 값에 대하여 나타낸 결과가 Fig. 7에 나타나 있다. 이 경우 거리가 0일 때가 왼쪽 아래 부분 모서리부분이고 거리가 5일 때가 오른쪽 아래 모서리 부분이다. 이전의 결과와 마찬가지로 인가전위가 커질수록 전류분포의 균등도는 나빠지는 것을 알 수 있으며 Case 1과의 차이점은 인가 전위 값이 균등도에 미치는 영향이 다소 적다는 점이다. 또한 돌출부위 아래 모서리 부분의 최소값 부분(Fig. 3 참조)이 나타나지 않는다. 이로부터 짐작할 수 있는 것은 분체 입자를 복합 도금할 경우, 전기전도도가 좋은 분체입자보다는 전기 전도도가 떨어지는 입자의 경우의 아래 모서리부분의 전류밀도가 상대적으로 크기 때문에 기저물에 대하여 더 우수한 접착력을 지니게 된다고 유추할 수 있다는 것이다. 이 결과를 더 활용하여 분체입자의 복합도금에 대하여 시간에 따른 도금 표면 변화에 대한 연구도 앞으로 수행할 계획이다. Case 2의 경우 무차원 인가전위를 -1로 고정하였을 때 여러 ξ 값에 따른 전류분포를 Fig. 8에 나타내었다. 이전 Case 1의 경우와 마찬가지로 ξ 값이 증가할수록 전류분포의 균등도가 떨어짐을 볼 수 있으나 Case 1의 경우(Fig. 5 참조)보다 ξ 값에 대하여 덜 예민한 것을 알 수 있다. Case 1과 Case 2 경우의 전류분포 균등화 변화를 알 수 있도록 인가전위와 aspect ratio 값을 일정하게 고정하고 값을 변화시킨 결과가 Fig. 9에 나타나 있다. 여기서 불균등도는 최고의 전류밀도 값과 최소의 전류밀도 값의 비의 백분율로 나타내었다. Case 2의 경우가 Case 1보다 불균등도가 10배 정도 작아짐을 알 수 있으며 예를 들어 약 50% 이하의 불균등도를 달성하려면 Case 1의 ξ 경우 값을 0.4, Case 2의 경우 1보다 작은 값으로 정하여야 한다는 것을 알 수 있다. 또한 돌출부위가 전극전체가 전도체인 기저물에 있는 경우에는 돌출부

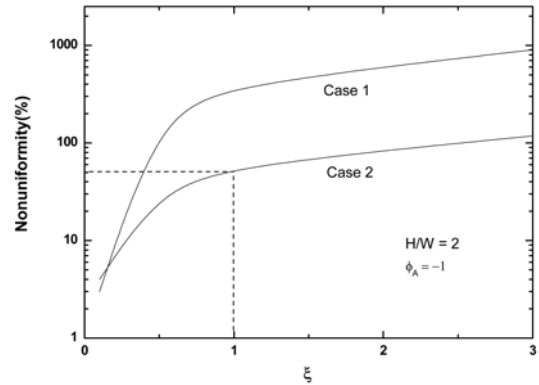


Fig. 9. The comparison of nonuniformities between Case 1 and Case 2 for various values of ξ .

위 이외의 다른 지역을 부도체로 가공하고 전기도금하는 것이 균등한 도금을 이룰 수 있다는 것을 알 수 있다.

기저물 표면위에 다양한 형태의 돌출구조가 형성되어 있을 때 전류분포를 예측하기 위한 계산을 하여 보았다. 이와 같은 실제 경우는 cmp 처리 전의 웨이퍼 위의 구리도금에 의한 필링공정,^{5,6)} 다양한 마이크로 머신의 도금공정^{2,4)} 등에서 찾아볼 수 있으며 본 결과는 적합한 도금조건을 모색하기 위한 이론적 모델로 개발 활용될 수 있다. Fig. 10은 간단한 돌출 구조물의 예를 적용하여 전류분포를 살펴 본 결과다. 값이 작아질수록 균등한 도금이 이루어짐을 알 수 있으며 단 한 개의 돌출부나 트랜치가 존재할 경우에 비하여 전류분포가 다소 균등화됨을 볼 수 있다.

본 연구의 한계는 정상상태와 충분한 물질전달이 이루어지고 있을 때라고 가정하고 해석한 점이다. 이는 실제 시스템의 경우와는 전적으로 일치하지는 않지만 도금 시스템의 선택 즉 도금액의 물성, 기저물의 형태, 인가

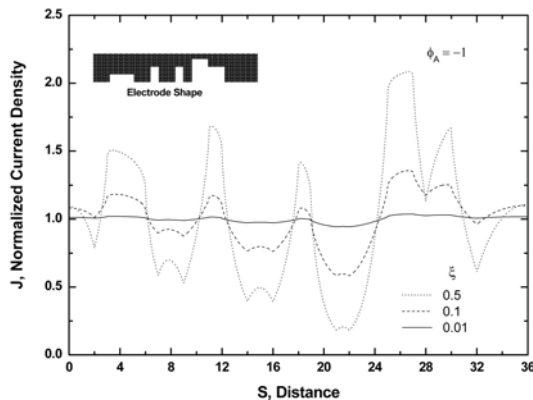


Fig. 10. The changes of normalized current density distributions for the random-shaped electrode with various values of ξ .

전위나 전류의 크기선택 등 전기도금공정에 있어 가장 기본적인 상수들의 최적 범위를 예측할 수 있다는 장점을 지니고 있어 시스템 해석에 필수적인 부분이다. 상용화된 외국의 도금모사 소프트웨어 패키지가 무척 고가라는 점을 감안하면 이의 활용가치는 크다고 할 수 있다. 앞으로 시간에 따른 도금 층의 형상 변화를 감안한 모델, 첨가제의 효과를 고려한 모델, 도금액의 유동현상을 고려한 3차 전류분포 등 여러 영향을 감안한 연구에 대해서도 수행할 계획이다.

4. 결 론

본 연구에서는 기저물 표면에 돌출부를 지니고 있는 전극위예의 구리 전기도금 공정에 대한 이론적 전류분포에 대하여 고찰하였다. 표면 전체가 전도체 전극인 경우 (Case 1)와 돌출부위만 전도체인 경우(Case 2) 두 가지 경우에 대하여 인가전위, 이온교환 전류밀도와 용액의 비전도도의 비인 ξ 값, aspect ratio의 영향 등에 대하여 살펴보았다. 그 결과 인가 전위와 ξ 값이 증가할수록 전류분포는 불균등화가 심화됨을 알 수 있었고 정전류 모드의 경우에서도 이를 확인할 수 있었다. Aspect ratio가 작아질수록 전류분포가 보다 균등화되며 Case 2의 경우가 Case 1의 경우보다 불균등도가 작아짐을 알 수 있었다. 50%정도의 불균등도를 지니려면 Case 1의 경우 ξ 값이 0.4, Case 2의 경우 1정도의 ξ 값이면 이루어짐을 알 수 있었다. 기저물 표면의 돌출부위가 다양한 모양으로 이루어진 전극을 예로 들어 전류분포를 구한 결

과 전체의 전류분포를 동시에 계산할 수 있음을 알 수 있었고 이 경우에도 이전과 마찬가지로 ξ 값이 감소할수록 전류분포의 균등도가 좋아짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2006학년도 홍익대학교 학술진흥연구비 지원에 의해 수행되었으며 본 연구에 도움을 주신 삼성테크윈 연구팀에게 감사드립니다.

참고문헌

1. M. Datta, 'Microfabrication by Electrochemical Metal Removal' *IBM J. Res. & Devel.*, **42**, 655 (1988).
2. D. Landolt, 'Electrodeposition Sciences and Technology in the Last Quarter of the Twenties Century', *J. Electrochemical Society*, **149**, S9 (2002).
3. M. Narashimhan, 'Inline Process Control of Advanced Thin Films' www.kla-tencor.com/magazine, 1 (2004).
4. R. Moutton, "Three-dimensional PCB Electroplating Simulation Tools", Presented at IPC Printed Circuits EXPO, www.ipcprintedcircuitsexpo.org, S10-2-1 (2001).
5. T. Park, T. Tugbawa, and D. Boning, 'Pattern Dependent Modeling of Electroplated Copper Profiles' International Interconnect Technology Conference(IITC), 274, San Francisco, CA, June (2001).
6. T. Park, Ph. D. Thesis, "Characterization and Modeling of Pattern Dependencies in Copper Interconnects for Integrated Circuits", MIT, June (2002).
7. G. A. Prentice and C. W. Tobias, 'A Survey of Numerical Methods and Solutions for Current Distribution Problems' *J. Electrochemical Society*, **129**, 72 (1982).
8. J. Newman, "Electrochemical Systems", John & Wileys, New York (1991).
9. C. T. J. Low, E. P. L. Roberts and F. C. Walsh, 'Numerical Simulation of the Current, Potential and Concentration Distributions along the Cathode of Rotating Cylinder Hull Cell', *Electrochimica Acta*, **52**, 3831 (2007).
10. I. O. Dukovic, 'Computation of Current Distribution in Electrodeposition, a Review' *IBM J. Res. & Devel.*, **34**, 693 (1990).
11. J. Deconinck, "Current Distributions and Electrode Shape Changes in Electrochemical Systems", Springer-Verlag, London (1992).
12. J. Lee and J.B. Talbot, "Simulation of Electrochemical Processes" WIT Transactions on Eng. Sci., 48, WIT Press, Boston (2005).
13. FlexPde Professional, www.PdeSolutions.com.