

# 감광성 폴리이미드를 모울드로 이용한 기반층이 없는 선택적 금속 도금에 관한 기초 연구

안 동섭\*, 이 상욱, 김 호성\*, 김 용권  
 서울대학교 전기공학과, \*중앙대학교 전기공학과

## A Fundamental Study of Selective Metal Electroplating Without Seed Layers Using a Photosensitive Polyimide as Molds

Dongsup Ahn\*, Sangwook Lee, Hosung Kim\*, Yongkweon Kim  
 Dept. of Electrical Eng., Seoul Nat'l Univ., \*Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.

### Abstract

In this paper we represented electroplating process without seed layers for making metal micro structures needed for applying terminal voltage for one-to-one cell fusion system. In this system, we need thick insulator and metal structures because the diameter of a cell is approximately 40 $\mu$ m. So, we adopted the photo-sensitive polyimide as electroplating molds and structural material. Generally, the processes utilizing the photo-sensitive polyimide as molds have metal seed layers on the substrate as electroplating electrodes and requires wiring tasks to these seed layers. We proposed electroplating process without any seed layer on the Si-substrate and simulated P-N-P ( electrode - Si substrate - electrode ) junction on N-type silicon substrate. Leakage current from one metal structure to another which arise when terminal voltage is applied can be remarkably decreased by doping Boron in the region to be electroplated.

### 1. 서론

연구 배경

일대일 세포 융합기(One-to-one cell fusion device)는 세포를 하나씩 융합시키는 장치로서 이를 위해 세포가 하나만 지나갈 수 있는 경로와 융합기가 필요하다[1]. 그림1에 일대일 세포 융합기가 나타나 있다.

합성될 세포가 각각의 경로를 거쳐 세포 융합부에 들어오면 약 10<sup>3</sup> V/cm의 전계를 가하여 두 세포를 융합시키게 된다. 이러한 장치에 필요한 것은 세포 하나의 직경인 40  $\mu$ m 두께의 두꺼운 절연 구조물과 전극인 금속 구조물이다. 두꺼운 금속 구조물 형성에 가장 적합한 방법은 LIGA(Lithographic Galvanofarming Abforming) 공정이다. LIGA 공정은 싱크로트론 소스(Synchrotron source)가 필요한 데, 이 장치는 매우 비싸며, 현재 국내에는 설치된 곳이 아직 없다.

최근에는 LIGA 공정을 모방할 수 있는 방법으로서 감광성 폴리이미드(Photo-sensitive polyimide)를 모울드(Molds)로 이용한 선택적 금속 도금법이 제안되었다[2][3]. 일반적인 감광성 폴리이미드를 모울드로 이용한 선택적 금속 도금법은 기반층(Seed layer)을 가지므로 금속 증착과 결선 공정이 필요하다. 이 금속 증착과 결선 공정은 전체 공정을 복잡하게 하며 한 기판 위에 다수의 패턴을 만들려 할 때 생산성을 떨어뜨리는 원인이 된다.

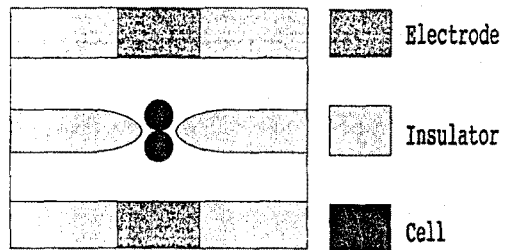


그림1 일대일 세포 융합기의 세포 융합부

본 논문의 목적은 다음과 같다. (1) 감광성 폴리이미드를 선택적 도금을 위한 모울드로 사용할 뿐만 아니라 그 자체를 마이크로 구조물의 일부로 사용하려고 한다. (2) 황산 구리 도금으로 융합기의 전극을 제작하는 공정을 확립한다. (3) 기반 금속층을 제작하지 않고, 따라서 결선 공정도 필요없는 선택적 금속 도금 공정을 제안하려고 한다.

### 2. 제작 공정

세포 융합 시스템 제작의 전체 공정은 그림2에 나타나 있다.

#### 절연 구조물 제작 공정

N-형 실리콘 기판에 우선 5000 Å의 산화막(SiO<sub>2</sub>)을 입힌 다음 구리 전극이 도금될 부분만 에칭(Etching)해서 실리콘 표면을 노출시킨다. 여기에 붕소를 도핑한다. 그다음 전체적으로 절연 구조물로서 감광성 폴리이미드를 회전 코팅한다. 이때, 40  $\mu$ m 두께를 가지게 하려면 일반

적인 회전수의 1/10 정도로 회전시켜야 한다. 어느 정도 용제물 증발시킨 후 일반적인 자외선 광원을 사용한 사진식각 공정을 이용하여 도금면 위에 코팅된 감광성 폴리이미드를 제거하여 도금 공정에서 필요한 모듈드를 형성한다[4]. 절연물 형성 패턴(Pattern)은 일대일 세포 융합기의 세포 이동 경로 형성을 위한 것을 사용한다. 전극부가 아닌 곳은 산화막을 제거하지 않아서 감광성 폴리이미드가 제거된 후에도 절연체인 산화막이 남아 있으므로 도금 공정중에 여기에는 도금이 되지 않는다. 폴리이미드는 세포 융합기의 구조물의 일부로 사용될 것이므로 도금 공정이 끝난 후에도 제거하지 않는다. 폴리이미드 제거시 중요한 점은 도금면에 폴리이미드 찌꺼기가 남지 않도록 해야 한다는 것이다. 이는 실리콘 기판 자체가 도금을 위한 전극으로 사용되기 때문이다.

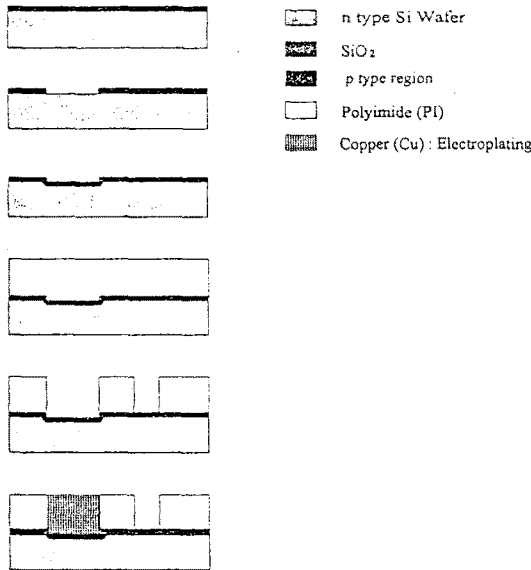


그림2 세포 융합 시스템 제작 공정

전극 도금 공정

도금은 크게 전해 도금(Electroplating)과 무전해 도금(Electroless plating)으로 나누어 진다. 무전해 도금은 화학적 환원 반응(Chemical reduction reaction)을 이용해서 외부 전원 없이 도금이 실시된다. 그러나, 화학적 환원 반응을 이용하므로 도금 속도 조절이 용이하지 않고 매우 얇은 전도성 박막을 도금면에 입혀야 하므로 전처리 과정이 복잡하다[5]. 전해 도금은 외부 전원을 사용하여 도금이 진행되므로 도금 속도 조절이 용이하다. 본 연구에서는 감광성 폴리이미드를 모듈드로 이용한 선택적 구리 전해 도금으로써 실리콘 기판위에 전극을 형성하려 한다. 전해액은 황산구리-황산 용액을 사용하고 양극 전극으로는 압연 구리판(Rolled copper plate), 음극으로는 실리콘 기판을 사용한다. 실리콘 기판 위에서의 일반적인 도금 공정은 도금면 위에 스퍼터(Sputter)나 증착기(Evaporator)로 수백-수천 Å 정도의 금속 기반층을 만든 후 여기에 음극 단자를 결선해서 도금 공정을 진행한다. 이러한 금속 증착 공정과 결선 공정은 도금전 공정을 복잡하고 거주장스럽게 한다.

도금 공정중의 전해액 온도는 25-35 ℃ 가 적당하다. 온도가 낮으면 도금된 금속이 단단하게 된다. 온도가 높으면 도금된 구리가 연하거나 거칠어지고 피복력이 저하된다. 따라서 30 ℃ 이하가 적당하다. 전류 밀도를 증가시키면 도금된 금속의 입자 크기(Grain size)가 커지고 주기적으로 전류의 방향을 바꾸어 주면 도금된 금속 표면이 편평해지는 효과가 있다[6][7].

기반층과 결선이 필요없는 도금 공정

기반층이 있는 일반적인 선택적 도금 공정에서의 위와 같은 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 기반층과 결선 공정이 필요없는 선택적 구리 도금 공정을 제안하려 한다. 본 연구에서는 도금면만 전해액에 노출시키는 도금조를 제작하고 N-형 실리콘 기판 뒷면에 도전성 고분자(Conducting polymers)를 도포한 후 여기에 음극 단자를 연결하여 기반층을 없앨 수 있었다. 이것은 기판 자체를 음극으로 이용한 것이며 기판은 도전성을 가져야 한다[8]. 본 연구에서는 아크릴로 도금조를 설계, 제작하였다. 제작된 도금조가 그림3에 나타나 있다.

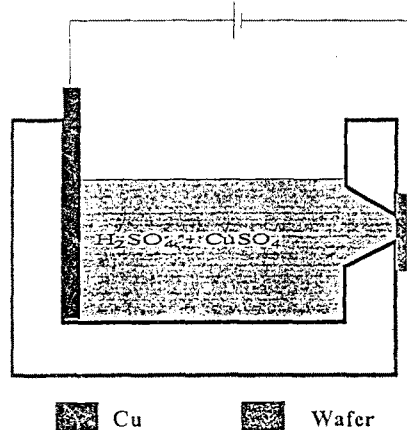


그림3 본 연구에서 사용된 도금조

기반층이 없는 선택적 도금 공정은 감광성 폴리이미드로 도금 모듈드를 형성한 다음부터 시작 된다. 우선, 도금면 위에 남아 있는 유기물 찌꺼기를 제거하기 위해 아세톤으로 기판을 세척한다. 그리고, 중류수나 탈이온수(DI water)로 세척하고 초기 산화막(Initial oxide)을 제거하기 위해서 불산(HF : DI water = 1 : 10 vol %)에 10 초 정도 담근다. 이것을 다시 중류수나 탈이온수에 세척한 후 뒷면에 도전성 고분자를 도포하고 건조시킨 후 제작된 도금조에 음극 기판을 전해액이 세지 않도록 고정시킨다. 다음은 양극으로 사용되는 구리판의 유기물 찌꺼기를 아세톤으로 제거한 후 중류수나 탈이온수에 헹군 다음 도금조에 기판과 마주 보게 고정한다. 이어서 도금조에 전해액을 붓고 도금 공정을 시작한다.

위의 방법은 기판이 도전성을 가져야 하는데 세포 융합기의 경우, 기판을 통한 누설 전류를 고려해야 하므로 본 논문에서는 구리가 도금된 면에 붕소(Boron)를 도핑한다. 이 공정은 전극부의 산화막을 제거한 다음 이온 주입(Ion implantation)이나 확산 공정으로 실시한다. 일대일 세포 융합기는 세포를 이동시킬 때와 융합시킬 때 전체 재료의 공간적 변화에 의한 Dielectrophoresis 힘을 이용

하므로 약  $10^3$  V/cm의 교류 전계가 전극 양단에 걸리게 된다[9]. 그런데, 일대일 세포 용합기의 크기는 수십  $\mu\text{m}$  이므로 실제 전극간의 전위차는 수십 V이다. 이때, 실리콘 기판을 통한 누설 전류가 있게 되면 여러가지 문제가 발생할 수 있다. 전극부가 P-형으로 도핑된 N-형 실리콘 기판은 P-N 접합이 N-형 실리콘 기판을 통해 거꾸로 연결된 구조가 된다. 이 구조가 그림4에 나타나 있다. 이러한 구조를 가진 용합기는 전체 공정이 끝난 후 전극에 전압을 가하더라도 누설 전류는 거의 무시할 수 있을 만큼 작아진다. 이를 모든 실험을 통해서 확인했다.

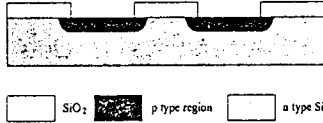


그림4 P-N-P 접합 구조

### 3. 실험 및 수치해석

#### 절연 구조물

감광성 폴리이미드로 절연 구조물을 형성하는 실험 결과 두번 회전 코우팅했을 때  $40\mu\text{m}$  두께의 절연 구조물을 얻을 수 있었다. 그러나, 표면이 깨끗하지 않았으며 패턴 형성이 실험 조건에 매우 민감하여 안정적인 결과를 얻을 수 없었고 보완 실험이 필요하다.

#### 전극부

감광성 폴리이미드로 절연 구조물과 도금 모듈을 형성한 후 선택적 구리 도금 공정에서 사용한 전해액의 농도는 표1에 나타나 있다.

| 성분  | 농도     |
|---|--------|
| 황산구리( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) | 0.75M  |
| 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )                     | 74 g/l |

표1 전해액의 성분과 농도

약  $10 \text{ mA/cm}^2$ 의 전류 밀도로 20 분간 도금한 결과 약  $4\mu\text{m}$  두께의 구리를 얻을 수 있었다. 이때, 증착 속도는 약  $0.2 \mu\text{m}/\text{min}$ 이다. 도금된 구리의 두께를 측정식 두께 측정 장비인 알파스텝 ( $\alpha$ -step)으로 측정한 결과가 그림5에 나타나 있다. 그림4에서 보면, 도금된 구리의 두께는  $500 \mu\text{m}$  길이에 대해서 높이차가  $2 \mu\text{m}$  이내로 비교적 양호함을 알 수 있다.

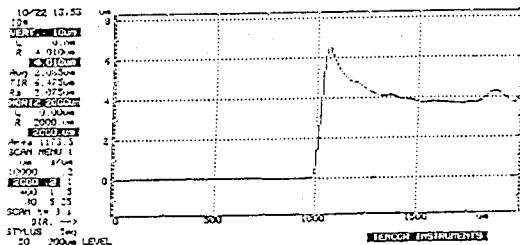


그림5 도금된 구리의 두께 측정 결과

도금된 구리의 표면은  $0.5 \mu\text{m}$  이내의 거칠기를 가지지만 만족할 만한 수준은 아니며 접착도도 더 많은 개선이 필요하다.

#### 누설 전류 수치해석

반도체 소자 수치해석 프로그램인 MEDICI를 사용해

서 P-N-P 접합의 누설 전류를 확인한 결과가 그림6에 있다. 이때, 기판은  $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$  농도의 N-형 실리콘이고 봉소는  $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$  을 이온 주입했다고 가정했다. 이때, 누설 전류는 수  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  정도이므로 무시할 수 있을 만큼 작았다.

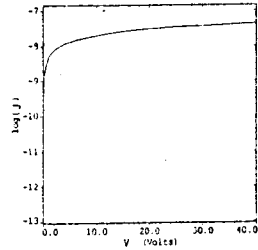


그림6 P-N-P 접합 구조의 누설 전류

### 4. 결론

감광성 폴리이미드를 사용하여  $40 \mu\text{m}$  두께의 절연 구조물을 얻었고 이를 도금의 모듈드로 사용했다. 또, 기판 층과 절연 공정이 필요 없는 선택적 금속 도금법을 제안했다. 이 경우, 도전성 기판에 의한 누설 전류를 줄이기 위하여 P-N-P 구조를 제안했고 이를 수치해석으로 계산하여 누설 전류가 무시할 수 있을 만큼 줄어들었음을 확인했다. 도금 공정중, 도금면과 기판과의 접착력과 도금면의 편평도를 개선하여야 한다.

### 참고문헌

- [1] Senichi Masuda, Masao Washizu, Toshiyuki Nanba, "Novel Method of Cell Fusion in Field Constriction Area in Fluid Integrated Circuit", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 25, No. 4, July/August 1989, pp.732-737.
- [2] A. Bruno Frazier and Mark G. Allen, "Metallic Microstructures Fabricated Using Photosensitive Polyimide Electroplating Molds" in *Journal of Microelectromechanical Systems*. Vol.2.No.2, JUNE 1993.
- [3] A. Bruno Frazier and Mark G. Allen, "High Aspect Ratio Microstructures Using A Photosensitive Polyimide Process" in *Micro Electro Mechanical Systems '92 Travemünde(Germany)*, February 4-7, pp.87-92, 1992.
- [4] Paul G. Rickerl, John G. Stephanie, and Peter Slota, Jr., "Processing of Photosensitive Polyimides for Packaging Applications", *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, Vol. CHMT-12, No.4, December 1987, pp.690-694.
- [5] Yosi Shacham-Diamand, "100 nm wide copper lines made by selective electroless deposition" in *J. Micromech. Microeng.*1, pp.66-72, 1991.
- [6] 공업진흥청, [구리, 니켈, 크롬 도금 작업 표준]
- [7] Frederick A. Lowenheim, *Modern Electroplating*, 3rd Ed., pp.183-203, John Wiley & Sons, 1974.
- [8] 황 규호, 초 고집적 회로의 금속선 형성을 위한 선택적 구리 전착에 관한 연구, 서울대학교 대학원 금속공학과 공학석사학위 논문, 1992.
- [9] Pohl, Herbert Ackland., *Dielectrophoresis.*, Cambridge University Press, 1978.