

# 집속 아르곤 이온 레이저 빔을 이용한 미세 구리 패턴의 형성

## Patterning of micro copper lines using focused Ar<sup>+</sup> laser

인하대학교 전기공학과 이홍균, 이 천

### I. 서론

레이저는 재료의 가공 및 repairing 프로세스에서의 부분적인 광원 및 열원으로써 마이크로 일렉트로닉스(microelectronics) 기술에 적합한 도구로서 점점 중요성이 부각되어지고 있다. [1] 특히, 레이저의 광화학적(photochemical) 또는 열화학적(photothermal) 반응을 이용한 선택적인 금속화 공정에 대한 연구가 수년 전부터 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 금속 유기 전구체(organometallic precursor)를 사용한 금속(Cu, Al)의 증착에 대한 연구가 크게 각광 받고 있다.[2]

구리 증착의 경우 최근에 많이 사용되고 있는 알루미늄(Al) 재료에 비해 낮은 비저항값(resistivity)과 우수한 electromigration 내성 특성을 가지고 있기 때문에 반도체 집적회로의 공정에서 배선용으로 많은 관심을 모으고 있다. 특히 기존의 공정에 비해 레이저를 이용한 구리의 증착은 수 마이크로미터의 선폭을 갖는 선택적 미세 증착이 가능하고, 국소 부분에 대한 온도상승이 빠르다는 레이저의 장점으로 인해 공정이 간단하고 증착속도가 빠르기 때문에 시간과 비용의 절감이 기대된다. [3, 4]

본 연구에서는 집속된 아르곤 이온 레이저(514 nm)를 사용하여 구리전구체로서 취급이 용이하고 화학적으로 안정한 분말형태의  $\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하고, 기판(substrate)으로 폴리이미드(polyimide)가 주재료인 PCB 기판과 glass를 사용하여 레이저 빔에 의해 copper(II) formate 막을 열분해하는 방법을 이용하여 패터닝된 구리박막을 제조하였다. 또한, 본 실험에서 사용한 실험방법은 기타의 진공장치가 필요 없는 대기 중에서 수행되었으며, 레이저 조건(출력 및 주사속도)에 따른 선폭의 변화 및 증착율(deposition rate)을 관측하기 위하여 SEM(Scanning Electron Microscopy), AFM(Atomic Force Microscope)과 Surface Profiler( $\alpha$ -step)를 사용하여 집적 회로 배선(interconnect)등의 응용 가능성을 확인하였다.

### II. 실험방법

본 실험에서 사용한 구리 전구체로서 분말상태의 copper(II) formate(Nacalai Tesque, Inc.,  $\text{Cu}(\text{HCOO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )를 증류수에 녹여서 포화용액으로 만들었다. 사용된 기판으로는 76 mm×26 mm 크기의 슬라이드 글라스와 주로 폴리이미드로 되어있는 PCB 기판을 사용하였다. 증착전 기판의 유기물을 제거하기 위하여 isopropyl alcohol 용액에서 5분간 초음파 세척 후, 증류수로 세척한 후  $\text{N}_2$  가스로 건조 시켰다. 위의 과정을 거친 기판 위에 copper(II) formate용액을 떨어뜨려 히터를 사용하여 수분을 증발시켜 기판 위에 균일하게 입혔다.

레이저는 514.5 nm의 파장으로 발진하는 아르곤 이온 레이저(Spectra-Physics 사, stabilite® 2017)를 사용하여 copper(II) formate의 열 분해원으로 이용하였다. 기판 위에 레이저빔을 주사하기 위해 3축 이동이 가능한 X-Y-Z 스테이지와 controller를 이용하여 PC로 제어하여 주사

속도를 120  $\mu\text{m/s}$ 에서 200  $\mu\text{m/s}$ 까지 변화시켰으며 이때의 레이저 출력은 70 mW에서 150 mW 까지 가변하며 실험하였다. 실험의 구리 패턴의 표면 변화를 SEM, AFM 과  $\alpha$ -step을 사용하여 관측하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용된 실험 장치의 개략도이다.

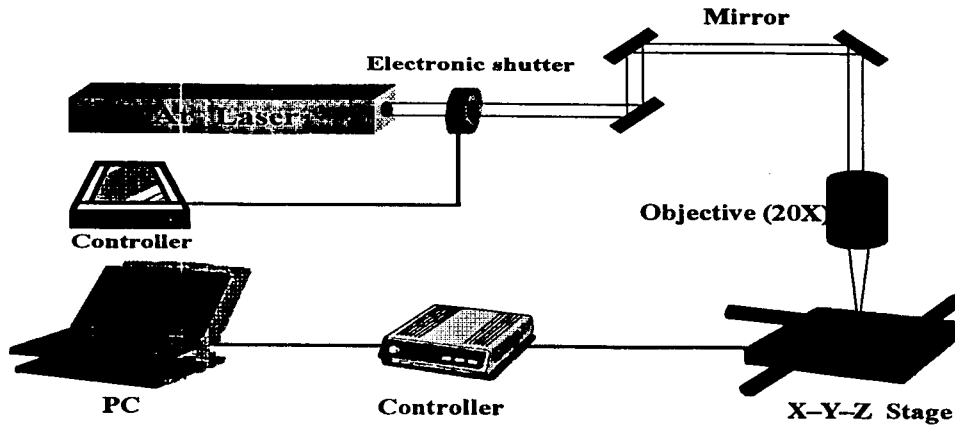
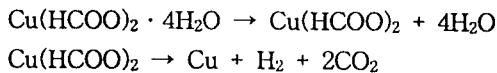


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig.1. A schematic diagram of experimental system

### III. 결과 및 고찰

레이저 빔에 의한 구리패턴 증착의 메커니즘은 레이저 빔에 의한 기판의 국부적인 온도 상승(1000  $^{\circ}\text{C}$ )에 인한 온도상승에 의한 copper(II) formate 막의 열분해로 설명할 수 있다. 발생한 열에 의한 분해과정은 다음과 같이 진행된다. [5]



레이저에 의한 copper(II) formate 막의 열분해는 레이저 조사에 의한 막의 온도 상승과 조사시간의 이력에 의해 가장 크게 좌우되는데 이것은 레이저의 출력과 주사속도를 가변 함으로서 조절하였다. 그림 2은 레이저의 주사속도(80  $\mu\text{m/s}$  - 200  $\mu\text{m/s}$ )를 변화시켜서 기판 위에 증착된 구리패턴의 표면을 surface profiler로 관측한 결과다. 그림 2의 (a)와 (b)는 주사속도의 변화에 따라 증착된 구리패턴의 두께를 나타낸 것이다. PCB 기판의 경우 주사속도가 증가할수록 증착된 구리 패턴의 두께가 증가하지만, glass기판은 150 mW 이상의 레이저 출력에서 주사속도가 증가할수록 패턴의 두께가 증가하는 경향을 보였다. 이와같이 주사속도의 변화에 따라서 두께가 변화하는 이유는 주사속도가 작을수록 빔 머무름 시간(dwel time)이 커져 가열된 온도가 너무 커져 오히려 증착된 부분이 재용융이나 증발됐기 때문이다. (c)와 (d)는 주사속도에 대한 증착된 구리 패턴의 선폭을 나타내었다. glass 기판 위에 증착된 구리 패턴의 경우 선폭이 60  $\mu\text{m}$ , PCB 기판 위에 증착된 구리 패턴은 200  $\mu\text{m}$  이상의 선폭을 얻을 수 있었다. 기판의 종류에 따라 증착된 선폭의 차이는 기판의 열전도도 차이에 있다. 즉, Glass 기판은 열 절

연체이므로 레이저 빔에 따른 국소부분의 온도상승이 큰 반면 폴리이미드로 되어있는 PCB 기판은 400 ℃이상의 고온에서 열분해가 발생되기 때문에 glass에 비해 선포이 크다.

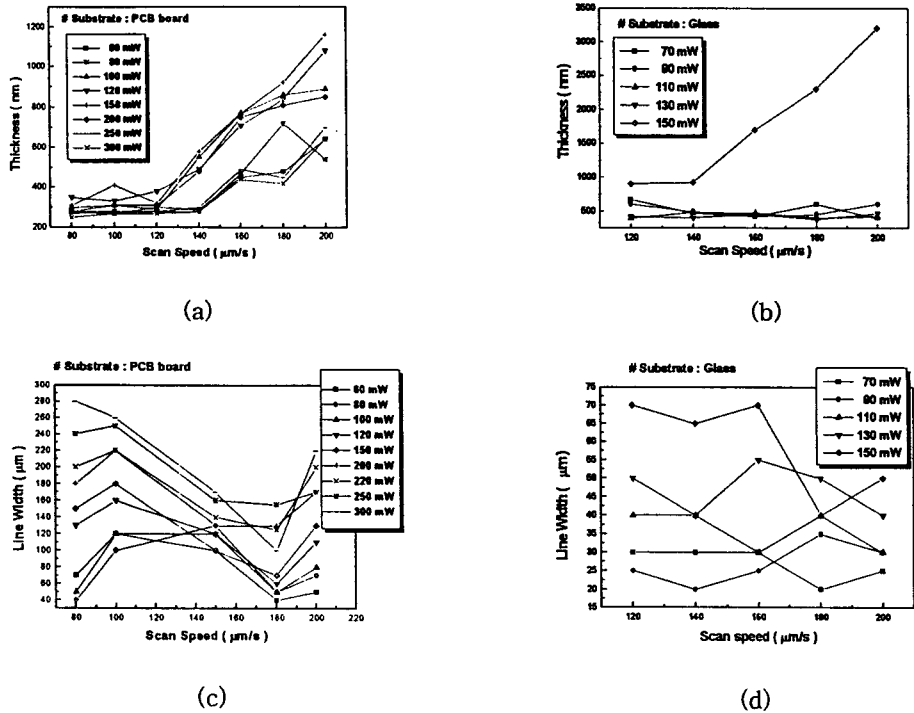
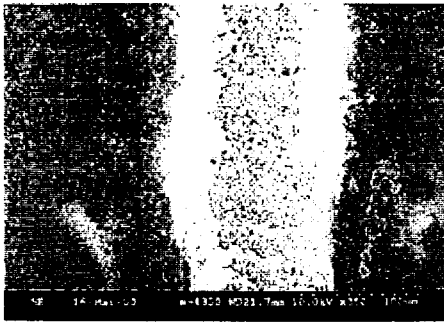


그림 2. 레이저 주사속도의 변화에 따른 구리 패턴의 선포 및 두께  
Fig. 2. Thickness and linewidth of Cu patterns as a function of scan speed

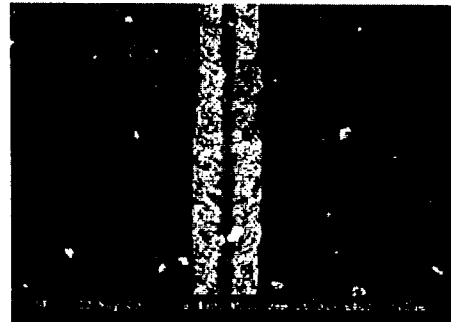
PCB기판의 경우 120 mW 이상의 레이저 출력에서는 빔의 중심부 부분이 식각되어 기판에 손상이 생겨 가장자리 부분에만 증착된 것을 관측할 수 있었다. 또한 주사속도가 증가할수록 두 종류의 기판 모두 증착된 구리의 선포는 감소하는 경향을 보였다. 주사속도가 증가할수록 레이저 빔의 머무름 시간이 작기 때문에 copper(II) formate 막을 분해할 수 있는 온도 영역이 작아지기 때문이다.

그림 3은 레이저출력 150 mW, 주사속도 200 μm/s 일때의 glass와 레이저 출력 80 mW, 주사속도 200 μm/s 에서의 PCB 기판 위에 증착된 구리패턴 각각의 SEM 사진이다. (b)에서 glass 기판 위에 증착된 구리 패턴의 경우 레이저 빔의 중심부분에 해당하는 부분이 증발된 것을 볼 수 있다. 또한 glass 기판에서 증착된 구리패턴의 선포는 약 50 μm인 반면 PCB 기판 위에 증착된 구리 패턴의 선포는 약 120 μm로 2배 이상 차이가 있었다.

본 실험에서는 PCB기판의 경우 200 μm/s 주사속도에서 레이저 출력 80 mW에서 두께 약 550 nm, glass기판에서 200 μm/s 주사속도 레이저 출력 150 mW에서 약 3200 nm의 두께를 갖는 균일한 구리패턴을 형성하였다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 레이저 출력 80 mW, 주사속도 200  $\mu\text{m/s}$  에서의 PCB기판의 Cu 패턴의 SEM 사진

(b) 레이저 출력 150 mW, 주사속도 200  $\mu\text{m/s}$  에서의 glass기판의 Cu 패턴의 SEM 사진

Fig. 3. (a) A SEM image of Cu line pattern on PCB board

(80 mW laser power, 200  $\mu\text{m/s}$  scan speed)

(b) A SEM image Cu line pattern on glass

(150 mW laser power, 200  $\mu\text{m/s}$  scan speed)

#### IV. 결론

본 연구에서는 아르곤 이온 레이저(514 nm)에 의한 copper(II) formate 막의 열분해로 인한 구리의 미세 패턴 증착의 가능성을 확인하였다. 레이저 조건에 따른 증착된 구리 패턴의 선 폭 및 두께의 관측을 통하여 PCB 기판의 경우 레이저 출력 80 mW 주사속도 200  $\mu\text{m/s}$ , glass 기판의 경우 레이저 출력 150 mW, 주사속도 200  $\mu\text{m/s}$ 에서 균일한 구리패턴을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이상의 결과로 비교적 큰 폭의 라인의 형성, 회로 수정 및 재배선 분야로의 응용 하기 위해서는 증착된 Cu 배선의 도전율에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### V. 참고문헌

[1] K. Kordás, K. Bali, S. Leppävuori, A. Uusimäki, L. Nánai : Laser direct writing of palladium on polyimide from solution, Applied Surface Science 152, pp.152-155, 1999

[2] K. Kolev, A. Jadin, S. Benbackoura, L.D. Laude : Excimer lasere-induced modification in PMMA/Ni-acetylacetonate films for selective metallization, Applied Surface Science 138-139, pp.434-438, 1999

[3] G. Braeckelmann, et al. : chemical vapor deposition of copper form Cu hexafluoroacetylacetonate trimethylvinylsilane for ultralarge scale integration applications, J. Vac. Sci. Technol., B 14(3), pp.1139, 1996

[4] Y. D. Chen, A.Reisman : Cu CVD from Copper(II) Hexafluoroacetylacetonate, J. Electrochem. Soc., 142(11), pp.3911-3918, 1995

[5] A. G. Galeway, D. M. Jamieson, M. E. Brown, J. Phys. Chem., 78, pp.2664, 1974