

금속 배선 제작을 위한 메탈 나노 파우더 임프린팅 공정기술 개발

김진수¹, 김호관¹, 임지석¹, 배형대¹, 최민석¹, 강신일[#]

Development of Metal nano Powder Imprinting Process for Fabrication of Conductive Tracks

J. Kim, H. Kim, J. Lim, H. Bae, M. Choi and S. Kang

Abstract

A method for metal nano powder imprinting is proposed as a patterning process for conductive tracks that is inexpensive and scalable down to the nanoscale. Conductive tracks with line widths of 0.5 ~ 20 μm were fabricated using this method. The processing conditions were optimized to avoid various types of defects, and to increase the degree of sintering and electric conductivity of the imprinted conductive tracks. The mean electric resistivity of the conductive tracks imprinted under optimum conditions was 8.95 $\mu\Omega\text{-cm}$, which is in the range required for practical applications.

Key Words : Metal nano powder, Nano imprinting, Metal nano powder imprinting, Conductive tracks, Sintering, Electric resistivity,

1. 서 론

최근 고집적 중앙처리 장치(CPU)와 고체 메모리(Solid-state memory) 분야 수요가 증대됨에 따라, 나노스케일의 금속 배선 패터닝의 저가 생산기술이 요구되고 있다. 또한 액정박막 표시장치(TFT-LCD), PCB 등의 대면적 기판에서의 비용절감을 위해서는 금속 배선 공정의 단계와 비용 절감이 가능한 공정에 대한 요구가 증대되고 있다.

일반적인 금속 배선 제작은 포토리소그래피 공정을 이용하여 제작된 PR(Photo resist) 막을 이용한 리프트 오프(Lift-off) 공정 혹은 식각(etching) 공정으로 이루어진다.[1~2] 이와 같은 배선 형성 공정은 공정 단계가 매우 복잡하며 대면적 전기 회로 제작에 있어 공정 비용이 많이 소요되며 나노 수준의 금속 배선 구현이 어렵다는 단점을 가진다. 폴리머 나노 임프린팅은 포토리소그래피의 공정 복잡성과 선폭 한계를 극복하고자 제안 되

었다.[3] 그러나 금속 배선을 형성함에 있어 추가적인 리프트 오프 공정이나 식각 공정이 요구됨에 따라 여전히 복잡한 공정과 비교적 높은 공정 비용이 요구 된다. 금속 배선 형성 공정의 비용과 공정 단계의 감소를 위하여 메탈 나노 파우더 슬러리를 이용한 잉크젯과 소결 공정으로 직접적으로 금속 배선을 형성하는 공정이 제안 되었다.[4] 그러나 잉크젯 공정은 point by point 공정으로 배선형성 시간이 오래 걸리고 금속 배선의 비저항 값이 높으며 나노 수준의 선폭을 가지는 배선 구현이 어렵다는 단점을 가진다. 본 연구에서는 기존의 금속 배선 형성 공정의 단점을 해결하고자 메탈 나노 파우더 임프린팅을 제안 하였다.

2. 금속 나노 파우더 임프린팅 공정

금속 나노 파우더 임프린팅 공정은 Fig.1 과 같은 순서로 진행된다. 먼저 솔벤트와 금속 파우더

¹ 연세대학교 대학원 기계공학과

[#] 교신저자: 연세대학교 기계공학부,

E-mail:snlkang@yonsei.ac.kr

가 혼합되어 있는 파우더 슬러리를 유리 기판 상에 도포한다. 이후 배선형상이 음각으로 가공되어 있는 몰드를 재료 상부에 덮은 후, 적절한 압력과 온도를 가하여 솔벤트를 증발시킴과 동시에 메탈 나노 파우더를 소결시켜 금속 배선층을 형성한다. 이후 실리콘 몰드를 이형하고 imprinting 공정에서 필연적으로 발생하는 잔류층(residual layer)을 식각 등의 후 가공을 통해 제거함으로써 최종 금속 배선 패턴을 제작하였다.

본 연구에서는 형성된 금속 배선의 소결단계를 증가 시키고, 비저항 값을 낮추는 방향으로 공정을 제어 하였다. 금속 배선 제작을 위한 실리콘 몰드는 5~20um 의 선폭을 가지며 포토리소그래피와 RIE(reactive ion etching) 공정을 통하여 제작 하였으며 500nm 선폭을 가지는 몰드는 레이저 간섭 리소그래피(laser interference lithography)와 RIE 공정을 통하여 제작 하였다.[5] Fig.2(a) 실리콘 몰드 캐비티(cavity)의 SEM 이미지이다. 패턴의 선폭은 10, 15, 20um 이며 길이는 200, 300, 400um 으로 제작 하였다. 30X30um 의 정사각형 캐비티는 각 배선의 양 끝 단에 위치하며 비저항 측정시의 접촉부로 사용 되었다. 몰드 캐비티의 깊이는 400nm 로 제작되었다. Fig.2(b)는 선폭 500nm 주기 1um 인 배선 패턴 몰드 캐비티 SEM 이미지이다. 실리콘 몰드의 이형특성을 향상을 위하여 trichlorosilane (tridecafluoro-1,1,2,2-tetrahydro-octyl) 계열의 SAM (self-assembled monolayer)을 몰드 표면에 접착 방지막으로 코팅하였다.[6]

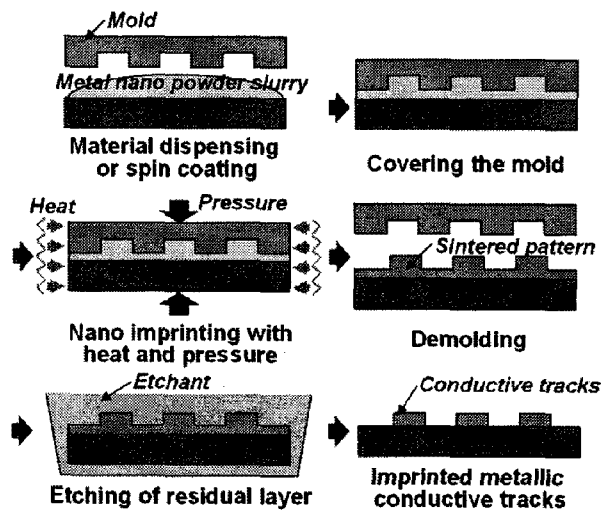


Fig. 1 Schematic diagram of the metal nano powder imprinting

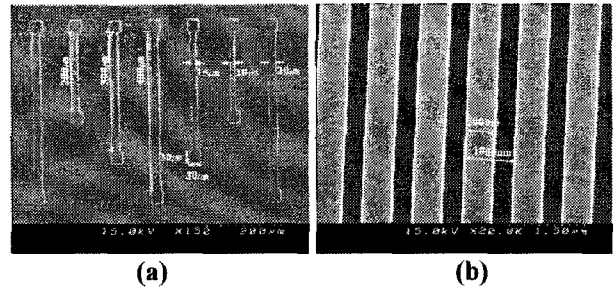


Fig. 2 SEM images of silicon mold cavities fabricated with lithography and RIE

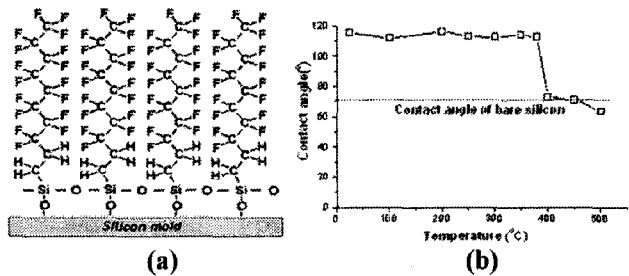


Fig. 3 (a) Schematic structure of SAM on a silicon mold. (b) Contact angle of deionized water on a thermally treated SAM-coated silicon mold as a function of the temperature used for thermal treatment.

Fig. 3(a) 에서 보는 바와 같이 본 연구의 SAM 재료는 10 개의 탄소 사슬 구조를 갖고 있고, 실리콘 원자와 결합되어 있는 '-Si-Cl3-' 구조의 작용기를 지니고 있다. 또한, 다른 Si-O-Si 결합들과 강하게 연결 되어있다. 이 결합들에 의하여 외부에서의 자극으로부터 접착방지막의 안정성을 유지 할 수 있게 도와 준다. SAM 이 코팅된 시편의 이형 특성을 평가하기 위해, 접촉각 측정을 수행하였다. SAM 증착한 후, 실리콘 몰드 대한 접촉각이 70.37° 에서 115.86° 로 크게 향상되었다. 본 실험 결과를 통해, SAM 증착을 통해 실리콘 몰드의 이형 특성이 향상되었음을 확인 할 수 있었다. 그러나 금속 나노 파우더 임프린팅 공정은 다른 폴리머 임프린팅보다 높은 공정온도가 요구되고 고온 공정에 의한 SAM 처리 막의 특성의 저하가 유발 될 수 있다. SAM 처리된 층의 고온 내구성 실험을 위하여 실리콘 몰드를 20~500 °C 온도에서 20 분간 가열한 후 접촉각을 측정 하였다. Fig.3(b)과 같이, 380 °C 까지 온도 변화에 따라 접촉각의 변화가 거의 없음을 볼 수 있다. 그러나, 400 °C 이상의 고온 조건에서 접촉각이 급격히 감소하여 이형 특성이 저하되는 것을 확인하였다.

3. 금속 배선 제작

메탈 나노 파우더 임프린팅 공정에서 제작된 패턴에서 공정 조건에 따라 다양한 결함들이 발생 될 수 있다. Fig.4(a)는 잔여층의 두꺼운 두께와 빠른 냉각속도로 인한 크랙을 보여주며 Fig.4(b) 솔벤트의 증발 경로 결함을 보여준다. 이러한 공정 결함은 승온속도, 냉각속도, 공정압력 히스토리 제어를 통해 해결되었다. 임프린팅에 사용된 실버 나노 파우더 슬러리의 평균 입자 크기는 5nm 이며 점도는 약 5000cp 이다.

일반적인 소결 공정에서의 소결 온도는 소결 물질 용해 온도의 약 70~90%이다. 그러나 일반적인 소결 온도는 전기 회로의 다른 구조물에 손상을 야기 할 수 있으므로 본 메탈 나노 파우더 임프린팅에 적합하지 않다. 이에 본 연구에서는 임프린팅 공정을 비교적 낮은 소결 온도에서 진행 하고 충분한 압력을 가하여 소결 진행도를 높이는 방향으로 공정을 진행하였다. 가압력 37Mpa 를 가하여 제작한 금속 배선 (Fig.5(a)) 그리고 150MPa 의 가압력을 가하여 임프린팅한 금속 배선 (Fig.5(b))의 SAM 이미지를 비교하여 가압력에 따른 소결 단계증가를 확인 하였다. [7]

Fig. 6 에서 임프린트된 금속배선의 내부 구조 관찰을 위하여 FIB(focused ion beam) 가공하여 150Ma 의 압력으로 임프린팅한 배선의 내부 구조를 측정하였다. 이를 통하여 높은 압력을 가하였을 때 우수한 내부 소결 특성을 가짐을 확인 하였다. 공정 온도 310℃, 압력 150Mpa 에서 1 시간 임프린팅 하여 제작된 금속 배선의 Fig. 7(a) 선폭이 10,15 와 20um Fig. 7(b) 나노 크기의 선폭이 500nm 주기가 1um 인 패턴 이다.

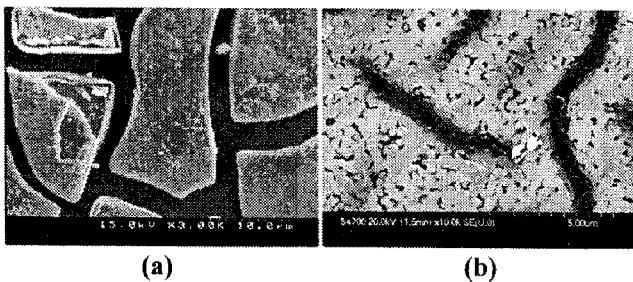


Fig. 4 Defects of imprinted tracks: (a) cracks due to rapid cooling, a thick residual layer, (b) solvent escape marks due to rapid heating and high pre-pressure

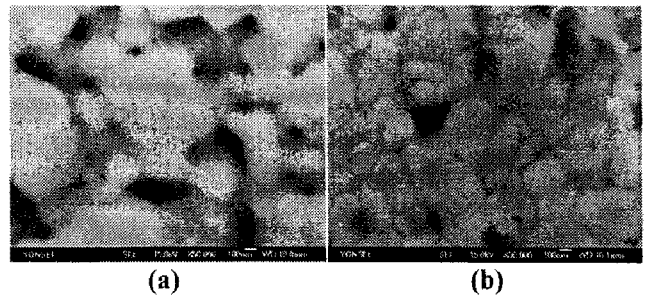


Fig. 5 Comparison of SEM images of micro structural features of the surface of conductive tracks imprinted with (b) applied pressure of 37Mpa and (c) 150Mpa.

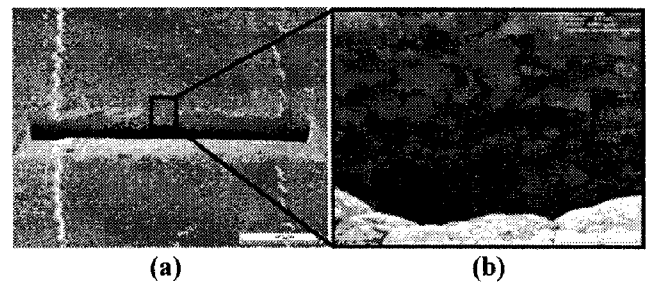


Fig. 6 SEM image of (a) FIB machined conductive track and (b) micro structural feature of cross section of track imprinted with applied pressure of 150Mpa.

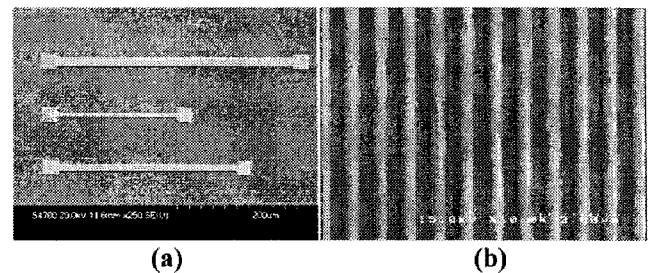


Fig. 7 SEM images of the metal nano powder imprinted conductive tracks

4. 제작된 금속 배선의 특성 평가

본 연구에서 제작된 금속 배선의 전기전도도는 공정 유용성 평가에 있어 매우 중요한 요소이다. 제작된 금속 배선에서 전기 전도도는 금속 입자의 물성치와 조성비 그리고 공정 조건에 의하여 결정된다. 전기전도도 계산의 equation (1)을 이용하여 계산 하였다. 여기서 L 은 배선의 길이 이며, A 는 배선의 절단면 면적이며, R 은 저항이다. 비저항은 프로브 스테이션(Probe station)에서 마이크로 팁을 컨택패드에 접촉하여 측정하였고 형상 데이터는 3 차원 간섭계를 이용하여 측정하였다.

후 기

“이 논문은 2006 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임” (No. M10400000368-06J0000-36810). 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. [1] Itoua S, Joachim C; Rousset B and Fabre N, 1992 Fabrication and AFM characterization of gold wires of less than 50nm width buried in a SiO₂, Nanotechnology, vol. 3, pp. 10 ~ 15.
- [2] HeeHwan Choe and Sang-Gab Kim, 2004, Effects of the n+ etching process in TFT-LCD fabrication for Mo/Al/Mo data lines, Semicond. Sci. Technol., vol. 19, pp. 839 ~845.
- [3] McAlpine, M. C., Friedman, R. S. and Lieber, C. M., 2003, Nanoimprint Lithography for Hybrid Plastic Electronics, Nano Lett. vol. 4, pp. 443~445.
- [4] Liu, Z., Su, Y., and Varshneyan, K., 2005, Inkjet-printed silver conductors using silver nitrate ink and their electrical contacts with conducting polymers, Thin. Solid. Film., vol. 478, pp. 275~279.
- [5] Wang J. J., Chen L., Liu X., Sciortino P., Liu F., Walters F. and Deng, X., 2006, 30-nm-wide aluminum nanowire grid for ultrahigh contrast and transmittance polarizers made by UV-nanoimprint lithography, Appl. Phys. Lett., vol. 89, pp.141105.
- [6] Lee N., Choi S. and Kang. S., 2006, Self-assembled monolayer as an antiadhesion layer on a nickel nanostamper in the nanoreplication process for optoelectronic applications, Appl. Phys. Lett., vol. 88, pp. 073101.
- [7] Takata M., Tsubone D. and Yanagida. H., 1975, Dependence of Electrical Conductivity of ZnO on Degree of Sintering, J. Am. Ceram. Soc., vol. 59, pp. 4~8.

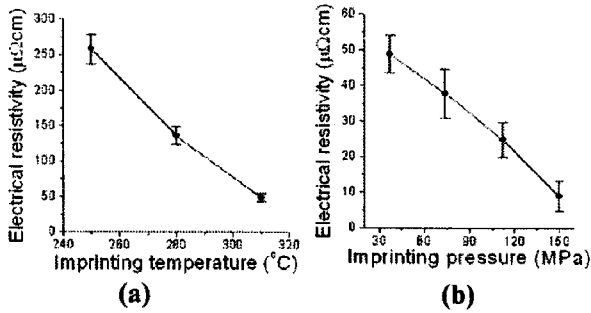


Fig. 8 Effects on the electric resistivity of varying (a) the imprinting temperature for a pressure of 37 MPa and an imprinting time of 1 h, and (b) the applied pressure for a temperature of 310°C and an imprinting time of 1 h.

Fig. 8(a)에서 비저항은 공정 압력과 시간이 37Mpa, 1h 일때 공정 온도를 250°C 에서 310°C 까지 증가시키기에 따라 비저항이 258 μΩ·cm 에서 8.91 μΩ·cm 로 감소한다. Fig. 8(b)에서 공정 온도와 시간을 310°C와 1h 로 하고 공정압력을 37Mpa 에서 150Mpa 로 증가시켜 최종적으로 비저항 값이 8.91 μΩ·cm 까지 감소함을 확인 하였다.

$$\rho=RA/L, \quad (1)$$

5. 결 론

본 연구에서는 저렴한 공정비용과 나노 수준의 선폭을 가지는 금속 배선 제작을 위한 메탈 나노 파우더 임프린팅 공정을 제안 하였다. 금속 배선 제작을 위한 실리콘 몰드는 리소그래피와 RIE 를 이용하여 제작하였다. 몰드의 이형성 향상을 위한 SAM 처리 층의 고온 내구성을 검사하여 본 연구에 적용 가능성을 확인하였다. 메탈 파우더 임프린팅 공정의 문제점을 몰드 표면 처리와 공정 조건을 보정하여 개선하였다. 공정 조건 310°C, 150Mpa, 공정 시간 1 시간으로 하여 높은 형상 정밀도와 비저항 8.95 μΩ·cm 를 가지는 임프린팅 된 배선을 제작 하였다. 이 결과는 메탈 파우더 임프린팅이 전기 회로에서 금속 배선을 제작하는데 있어 유용한 대안임을 입증한 것이다.