

나노 금속 파우더 임프린팅 공정을 이용한 초미세 전도성 배선 제작 Fabrication of micro conductive tracks using nano metal powder imprinting process

*임지석, 최민석, 김호관, #강신일

*Jiseok Lim, Min seok choi, Hokwan Kim, #Shinill Kang (snlkang@yonsei.ac.kr)
연세대학교 기계공학과

Key words : metal imprinting, conductive tracks, sintering, micro fabrication

1. 서론

반도체를 비롯한 대부분의 전자 모듈 구현을 위해 전기 전도성 배선의 제작이 필수적이다. 일반적으로 미소 선폭의 전도성 배선 제작을 위해 포토리소그래피 공정을 이용한 금속 패터닝 공정이 주로 사용되는데, 이 공정은 배선 물질 증착, 세정, PR 도포, PR 노광, PR 현상, PR bake, 배선 etching, PR strip, 배선형성등의 복잡한 단위 공정으로 이루어져 있다^(1,2). 이는 제품 단가 상승의 요인으로 작용되며, 특히 디스플레이와 같은 대면적 응용에서 포토리소그래피 공정은 매우 높은 공정비용을 요구한다. 공정 단계를 절감하여 저비용 전도성 배선 형성 기술로써 제안된 방법 중 금속 나노 파우더 슬러리를 이용한 ink-jet 공정이 있다^(3,4). 이 공정은 powder ink 도포, 소결, 배선형성으로 이루어지는 매우 작은 공정단계를 가지나, 공정시간이 긴 단점과 초미세 선폭 구현이 어려운 문제점이 있다.

이와 같은 한계점을 극복하기 위하여 나노 금속 파우더 임프린팅 공정을 이용한 전도성 배선 제작 공정이 개발되었다⁽⁵⁾. 본 연구에서는 나노 금속 파우더 임프린팅 공정의 공정 조건에 따른 나노 금속 파우더의 소결 특성과 전기적 특성 변화에 대해 분석을 실시하였다.

2. 나노 금속 파우더 임프린팅 공정

나노 금속 파우더 임프린팅 공정은 금속 파우더 슬러리를 사용하여 이를 직접 임프린팅 하여 전도성 배선을 제작하는 공정이다. 본 공정은 다음과 같은 단위 공정으로 이루어져 있다. 먼저 금속 파우더와 솔벤트가 혼합되어있는 파우더 슬러리를 배합하고, 이를 유리 기판상에 도포한다. 이후 배선 형상이 음각으로 가공되어 있는 몰드를 재료 상부에 덮은 후, 소결을 위한 압력과 열을 가하여 나노 금속 파우더가 소결시킨다. 이후 몰드를 분리하고 공정 시 발생한 잔류층을 제거하여 최종적으로 설계된 전도성 배선을 제작한다. Fig 1 은 본 공정을 도식적으로 나타낸 공정도 이다⁽⁶⁾.

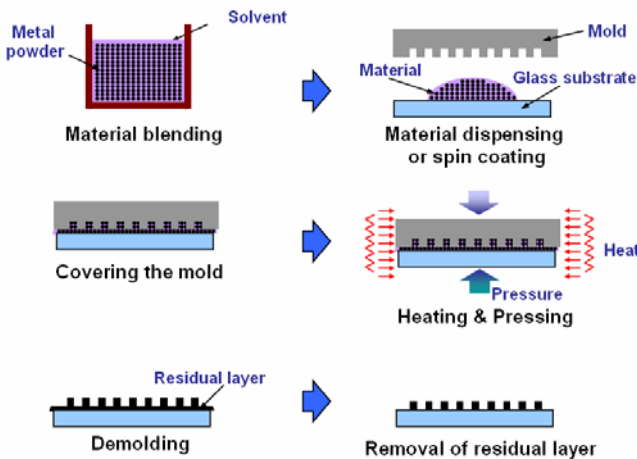


Fig. 1 전도성 배선 제작을 위한 나노 금속 파우더 임프린팅 공정도

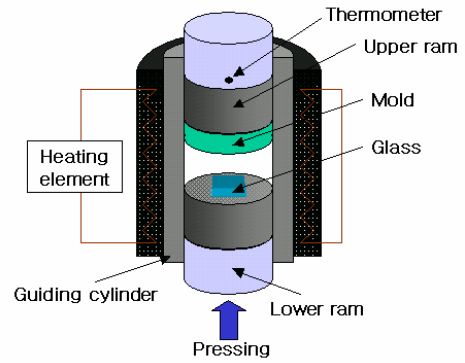


Fig. 2 나노 금속 파우더 임프린팅 공정을 위한 소결 시스템의 개략도

나노 금속 파우더 임프린팅 공정을 수행하기 위해 최종적으로 제작하고자 하는 패턴의 음각 형상을 갖는 몰드의 제작이 요구된다. 본 연구에서는 포토리소그래피 공정과 reactive ion etching (RIE)을 통해 실리콘 웨이퍼를 식각하여 제작된 실리콘 몰드가 사용되었다. 실리콘 몰드의 경우 나노 금속 파우더 임프린팅 공정에 적용함에 있어 다른 금속 몰드에 비해 소결후의 금속 재질과 비교적 우수한 이형 특성을 갖는다. 추가적으로 몰드에 보다 뛰어난 이형 특성을 부여하기 위해 실리콘 몰드 상에 내열성이 뛰어난 실란 계열의 점착 방지막(SAM)을 코팅하였고, 몰드 표면 접촉각은 115.9° 로 측정되었다⁽⁶⁾.

앞서 제작된 실리콘 몰드와 가압과 가열이 가능한 시스템을 이용해 임프린팅 공정을 실시하였다. Fig 2 는 본 연구를 위해 사용된 소결 시스템을 도식적으로 표현한 그림이다. 사용된 나노 금속 파우더의 소결 온도인 310℃에서 최적의 가압 조건을 산출하기 위해 37MPa, 74MPa, 112MPa, 150MPa 의 서로 다른 가압 조건에서 실험을 진행하였다.

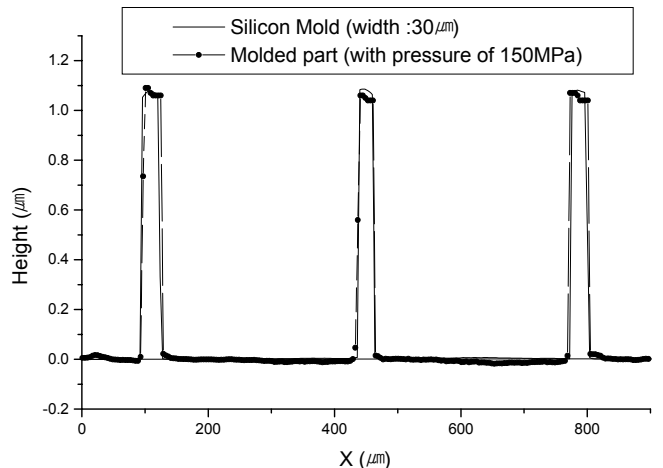


Fig. 3 몰드 캐비티 형상과 임프린팅 결과물의 프로파일 비교 그래프 (150Mpa 가압 조건)

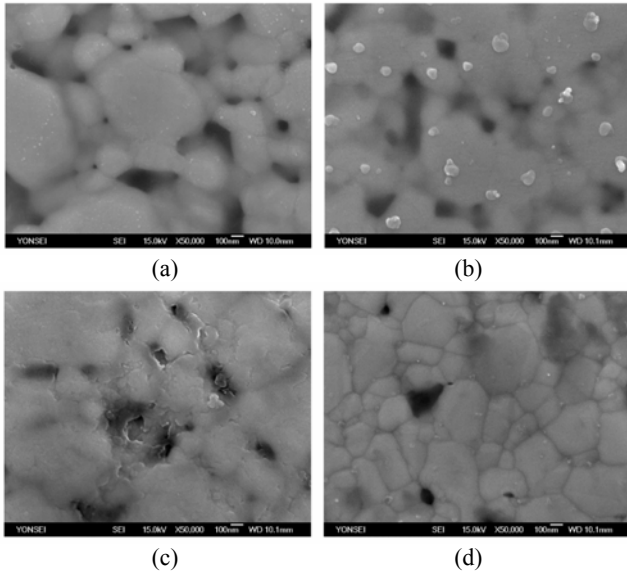


Fig 4. 압력에 따른 성형품의 line 패턴 상부의 SEM 측정 결과: (a)가압:37MPa, (b)가압:74MPa, (c)가압:112MPa, (d)가압: 150MPa

패턴 전사성을 판단하기 위하여 제작된 배선 패턴의 프로파일을 측정하여 몰드 캐비티 형상과 비교하였다. 그 결과 37MPa 의 가압조건 의 경우 패턴 높이가 10%가량 낮게 성형 되었으며, 74Mpa 의 경우 약 5% 그리고 112Mpa 과 150Mpa 의 경우 높이 차가 측정 오차 범위에서 차이를 나타내었다. Fig 3 은 150Mpa 가압 조건에서 제작된 패턴과 몰드간 형상 비교 그래프이다. 나노 금속 파우더 임프린팅 공정에서 가압 정도는 패턴 전사성뿐 아니라 소결 특성에도 영향을 미친다. 이의 분석을 위해 가압 조건 별 제작된 패턴의 상부 입자 조직을 SEM 을 통해 측정하였다. Fig 4 는 각 패턴의 SEM 측정 결과이다. 측정 결과 압력이 높아짐에 따라 표면에서의 소결 특성이 향상되어 150MPa 의 압력에서는 grain boundary 가 형성되었음을 확인할 수 있다. 각각의 압력에 따른 측정 결과를 일반적인 소결의 단계와 비교하여 평가하면 (a)의 경우 초기 단계인 necking 이 발생한 이후로 볼 수 있으며 (b)와 (c)는 결정립 성장이 이루어지는 중기 단계, (d)는 거의 소결이 완료된 말기 단계로 볼 수 있다.

또한 본 공정을 통해 제작된 패턴이 전도성 배선으로 사용 가능한 비저항을 갖기 위해 이와 밀접한 관련을 갖는 패턴 내부의 금속 소결 상태에 대한 분석이 요구된다. 이에 본 연구에서는 Focused Ion Beam(FIB) machining 을 이용하여 측정하고자 하는 부분의 단면을 자른 후 SEM 을 이용하여 소결 특성 분석을 수행하였다. Fig 5 는 제작된 패턴의 FIB 단면 측정 결과이다.

이후 제작된 시편의 잔류층을 제거하기 위해 상용 질산 base etchant 인 CR4 를 사용하여 식각 공정을 수행하고, 최종 적으로 실제 배선으로서의 유용성을 분석 하기 위하여 비저항 측정 실험을 수행하였다. 가압 정도에 따라 48.8~8.95 $\mu\Omega \cdot cm$ 의 각기 다른 비저항 값이 측정되었다. 특히 높은 가압 조건에서 제작된 패턴의 경우, 저압 조건에서 제작된 패턴과 비교할 때 매우 작은 비저항 값을 보이고 있다. 높은 압력하에서 제작된 패턴이 보다 우수한 소결 특성을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구를 통해서 제작된 패턴 중 가장 우수한 전기적 특성을 갖는 전도성 배선 패턴의 경우 비저항 값이 8.95 $\mu\Omega \cdot cm$ 으로 측정되었다. 이는 상용 배선 제작 공정을 통해 제작된 금속 전도성 배선에 비해 높은 값이다. 그러나 보다 작은 나노 입자 크기를 갖는 나노 금속 파우더의 선택, 공정 최적화 등을 통해 개선될 수 있을 것으로 기대된다.

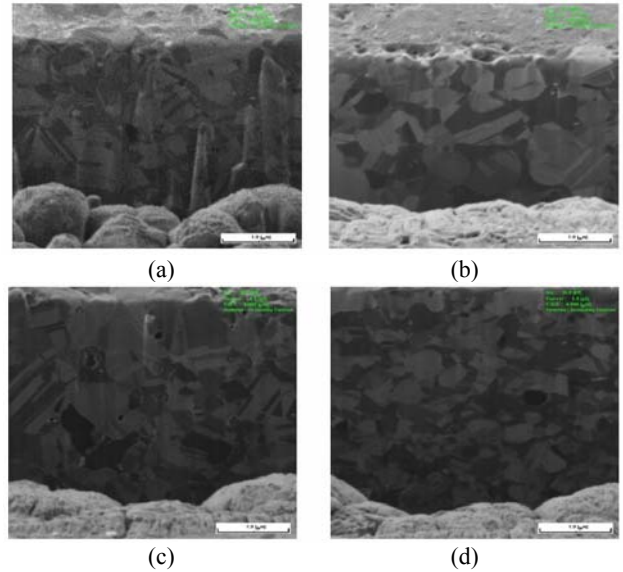


Fig 5. FIB 를 사용한 가압에 따른 단면 소결 상태 분석 결과: (a)가압:37MPa, (b)가압:74MPa, (c)가압:112MPa, (d)가압: 150MPa

Table 1 가압별 패턴 비저항 측정 결과

	37MPa	74MPa	112MPa	150Mpa
비저항	48.8 ($\mu\Omega \cdot cm$)	37.8 ($\mu\Omega \cdot cm$)	24.8 ($\mu\Omega \cdot cm$)	8.95 ($\mu\Omega \cdot cm$)

3. 결론

본 연구에서는 초미세 전도성 배선 제작을 위한 나노 금속 파우더 임프린팅 공정 개발을 수행하였다. 본 연구를 수행하기 위해 나노 금속 파우더 임프린팅용 몰드 제작 및 이형 기술 개발과 공정을 위한 소결 시스템 구축 및 기초 공정을 개발 하였다. 임프린팅 공정 시 가압에 따른 소결 특성 및 이에 따른 전기적 특성 변화에 대한 분석을 실시 하였다. 그 결과, 높은 가압 조건에서 소결 진행된 임프린팅 공정이 일반적으로 소결 특성이 우수한 것으로 확인되었다. 본 연구를 통해 얻어진 조건을 통해 제작된 전도성 배선 패턴은 비저항 값이 8.95 $\mu\Omega \cdot cm$ 로 나타났다. 또한 본 공정의 대면적 응용을 위한 공정 개발이 진행 중이다.

후기

본 연구는 과학기술부 기초 과학 연구사업의 일환인 국가 지정 연구실 사업의 연구비 지원 (R0A-2004-000-10368-0)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. R.A. Street, W.S. Wong, S.E. Ready, M.L. Chabynec, A.C. Arias, S. Limb, A. Salleo, R. Lujan, Mater. Today 9 (2006)
2. B.-J. de Gans, P.C. Duineveld, U.S. Schubert, Adv. Mater. 16 (2004)
3. B. Park, D. Kim, S. Jeong, J. Moon, J. Kim, Thin Solid Films, 515 (2007)
4. P. Calvert Chem. Master. 13 (2001)
5. S. Lee, J. Kim, J. Lim, M. Choi and S. Kang, Appl. Phys. Lett. 91, 143117 (2007)
6. N. Lee, S. Choi, and S. Kang, Appl. Phys. Lett. 88, 073101 (2006)