

Ag 나노 금속 입자를 이용한 TSV Filling

Filling Method of TSV Using Nano Ag Particle

*김동표, 박건식, 백규하, 함용현, 신홍식, 윤호진, 강진영, 박지만, #도이미

*D. P. Kim¹, K. S. Park, K. H. Baek, Y. H. Ham, H. S. Shin, H. J. Yun, J. Y. Gang, #L. M. Do(domi@etri.re.kr)²

한국전자통신연구원 융합기술연구부

Key words : Through Silicon Via, Nano Particle, Optical Microscope, FE-SEM

1. 서론

최근 소자의 집적화와 동작 속도를 빠르게 하기 위하여 TSV (Through silicon via)에 관한 연구가 이미지 센서와 메모리 소자 등의 다양한 분야에 적용하기 위하여 활발하게 진행되어 오고 있다. 지금까지 전해도금, 무전해 도금, Electro grafting, Laser assisted filling, Dipping법과 전도성 페이스트 프린팅 방법이 효과적인 TSV의 금속 채움을 위하여 연구되어 왔었다 [1-5]. 전해도금과 무전해 도금은 금속 채움을 위하여 Seed layer가 필요하고, 공정 시간이 길다는 단점이 있다[1]. Laser assisted filling과 Dipping 법은 5 Mpa 이상의 고압 공정이 요구되는 단점을 가지고 있다. Electro grafting은 순수 용액공정이 가능하나, 절연층 형성과 Cu seed layer 형성에 효과적인 것으로 보고되고 있다[2]. 그리고 전도성 페이스트 프린팅 기법은 Seed layer가 필요 없고, 경제적이고 효과적으로 TSV 내부를 채울 수 있으므로 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. Sanyorec사는 VPES (Vacuum printing encapsulation system)을 이용하여, 1차 Print 공정에서는 낮은 압력에서 도전성 페이스트를 도포하고, 다음 압력을 높여줌으로써 압력 차에 의하여 도전성 페이스트가 빨리 들어가는 메커니즘으로 TSV를 1차 채우고, 이 압력에서 2차 전도성 페이스트를 도포하여 남은 빈 공간을 도전성 페이스트로 채우고, Curing할 때에도 압력 Oven과 200~300 °C 온도에서 실시함으로써 빈 공간 없이 채웠다[5]. Zycube사에서도 건식 전도성 프린트 공정을 이용하여 TSV를 채울 수 있다고 보고 하였다 [6].

본 실험에서는 상압에서 TSV 비아를 은(Ag) 나노 입자로 채우기 위한 연구를 수행하였다. 먼저 Blind 비아를 Photoresist와 건식 식각을 통하여 형성하였고, O₃-TEOS로 TSV 비아 내부에 증착하여 절연층을 형성하였다. 그리고 식각 프로파일, 상압에서 나노 금속 입자를 용매에 용해하여서 TSV 비아가 채워지는 단면과 입자의 크기를 광학현미경과 FE-SEM (field emission scanning electron microscope)을 이용하여 관찰하였다.

2. 실험방법

본 실험을 위한 Blind TSV는 Si 기판위에 LTO 마스크를 형성하고, 이 마스크를 이용하여 DRIE (Deep Reactive Ion Etching) 식각 장치로 Si 기판을 식각 하였다. Si의 식각은 Bosh 공정을 이용하였으며, SF₆/O₂ 가스를 사용하여 Si를 식각 하고 난 후 C₄F₈ 가스를 이용하여 식각 방지층을 형성하였다. 식각과 식각 방지층 공정을 반복하여 수행함으로써 TSV를 형성 할 수 있었다. 그리고 주 식각 공정과 식각 방지층 공정 시간을 조절함으로써 scallop이 적은 수직인 TSV를 형성하였다. TSV의 직경은 10 μm이고, 깊이는 75 μm이었다. 소자의 절연을 위하여 300 nm 두께의 O₃-TEOS를 CVD를 이용하여 증착하였다. O₃-TEOS를 이용하여 Step coverage가 우수한 절연층을 형성 할 수 있었다. DRIE 식각 후 평면을 광학현미경을 이용하여 측정하였고, 식각 프로파일의 단면은 FE-SEM을 이용하여 관찰하였다.

TSV Filling을 위하여 350 °C 이하에서 우수한 전도특성을 가지는 조건을 충족하기 위하여서 160 °C 이하 에서 Curing을 하는 은(Ag) Ink와 Ag Paste를 선택하였고, Ag 금속 입자를 에탄올 용매에 용해 시켰다. 먼저 TSV를 가지는 Si 기판을 Pre-wetting 공정을 통하여 TSV 내부의 기포를 제거 하였다. 이 기판위에 Ag 나노입자를 용해한 용액을 Drop하였고, 금속 입자들이 침강하기 위하여 시간인 20분 후, 용매를 건조시키기 위하여 80 °C에서

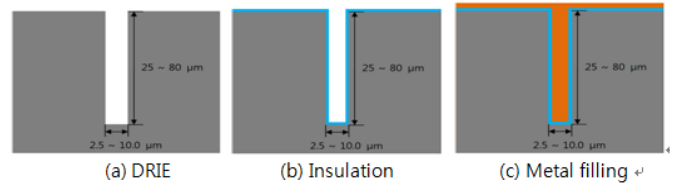


Fig. 1 Flow chat of via filling process; (a) DRIE Si with SF₆/O₂ Bosh process, (b) Insulating layer using O₃ TEOS, and (c) via filling with nano metal particle.

20분간 Pre-curing 하였고, 전기적 전도성을 향상시키기 위하여서 160 °C에서 20분 Post curing을 실시하였다. TSV의 금속 채움 정도를 광학현미경과 SEM을 이용하여 관찰 하였다.

3. 결과 및 토론

본 연구에서는 나노금속 입자를 이용하여 TSV 비아를 채우는 방법에 관하여 관찰하였다.

그림 2는 Si 기판위의 10 μm LTO 마스크를 식각하고, 이 LTO 마스크를 이용하여 다시 Si를 식각 한 광학현미경 사진이다. 그림2에 나타난바와 같이 마스크의 패턴이 Si 기판위에 잘 전사되어 나타나고 있다.

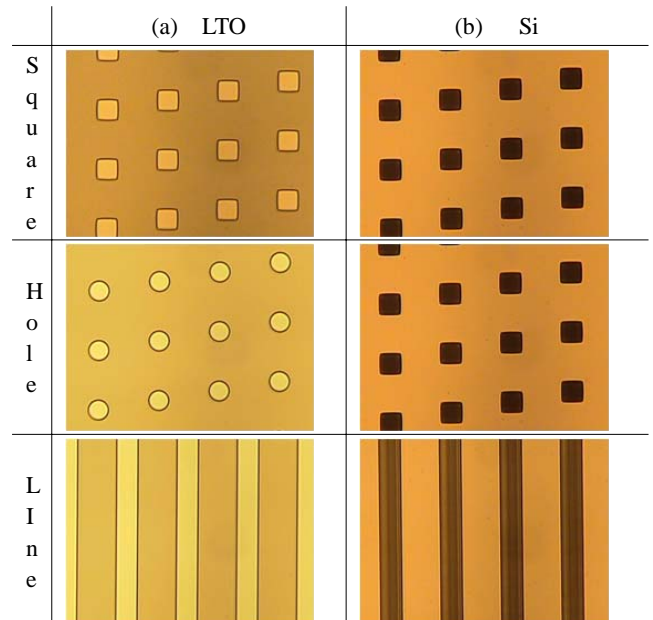


Fig. 2 Optical microscope images of (a) LTO etch and (b) Si etch.

그림 3은 LTO 마스크와 Bosh 공정을 이용하여 식각한 Si 기판의 10 μm Hole과 Line의 SEM 단면 사진을 나타내고 있다. 그림 3에서 수직의 TSV가 형성된 것을 알 수 있다. 그런데 그림 3에서 Hole과 Line의 깊이의 차이가 나타나고 있다. 이는 Hole 패턴의 식각 속도가 Line 패턴의 식각 속도보다 늦기 때문에 발생한 것으로 사료된다. 그 이유는 Hole 패턴의 경우 체적이 작기 때문에 식각가스가 홀의 하단부에서의 밀도가 낮기 때문이고, Line 패턴의 경우 비록 폭은 같으나 길이가 길기 때문에 충분히 Line 패턴의

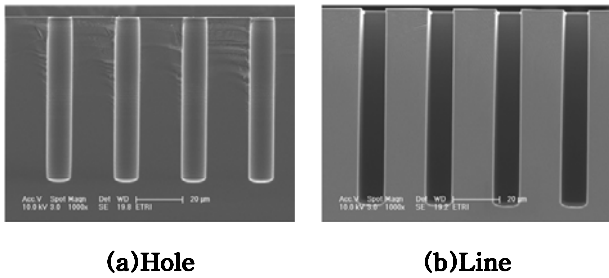


Fig. 3 Cross sectional FE-SEM Images of Hole and Line patterns (10 μm).

하단부까지 식각가스가 공급되어 식각반응이 충분히 일어나 식각 속도가 증가 되었다고 판단된다. 전기적 절연을 위하여 TSV는 SACVD를 이용하여 O3-TEOS 박막을 300 nm 증착하였다.

TSV 내부를 금속으로 채우기 위하여 다양한 Ag 입자와 유기바인더를 가지는 Ag ink와 Ag Paste를 이용하여 실험을 수행하였으며, 그림 4는 A사의 Ag paste를 5 cc의 에탄올에 용해한 후 유리기관 위에 도포하고, 용매만 제거하여 Ag 입자의 크기를 측정한 FE-SEM 사진과 TSV를 1회 채운 후 FE-SEM 단면 사진을 나타내고 있다. 그림 4(a)의 PA-01 시료에서의 Ag 나노입자의 크기는 약 50~115 nm로 가장 작았다. 단면 사진에서는 측벽과 바닥에 Void없이 증착된 것을 관찰하였다. TSV의 입구와 바닥에서의 증착된 두께가 TSV 측벽의 중앙부분에서보다 두꺼웠다. 이는 1회 공정을 수행하였기 때문으로 사료된다. 그림 4(b)는 PA-02 시료에서의 Ag 입자의 크기는 작은 입자가 약 40 nm이었고, 큰 입자가 약 240 nm이었다. 다양한 크기의 입자들이 서로 혼재되어 있었다. 단면의 사진에서는 측벽과 바닥에 모두 증착이 되었으나, Void가 많이 형성되어 있었다. 이는 Ag Paste 내분해 존재하는 유기바인더의 성질과 연관이 있을 것으로 사료되며, 작은 입자가 균일하게 있는 Ag Ink 또는 Paste를 이용하면 Void 없이 TSV 내부를 채울 수 있을 것으로 사료된다.

그림 5는 B사의 코팅용 Ink와 일반 Paste를 이용하여 TSV를 채운 FE-SEM 단면 사진을 나타내고 있다. 그림 5(a)의 PB-01 시료의 단면에서는 Ag 금속이 측벽과 바닥에 코팅되었다. FE-SEM에서 빈 것은 SEM 시료를 제작하는 과정에서 빠진 것으로 사료된다. 그림 5(b)의 PB-02 시료에서는 Ag 금속 입자가 측벽에 증착되지 않고 TSV의 하부 바닥에만 채워진 것이 관찰되었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 입자의 크기와 유기바인더에 의한 것으로 판단된다.

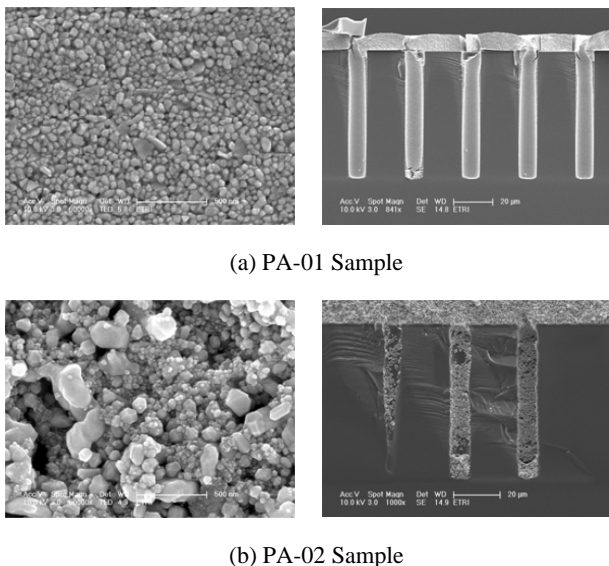


Fig. 4 SEM images of metal filling for TSV (10μm Hole) using nano paste of A company.

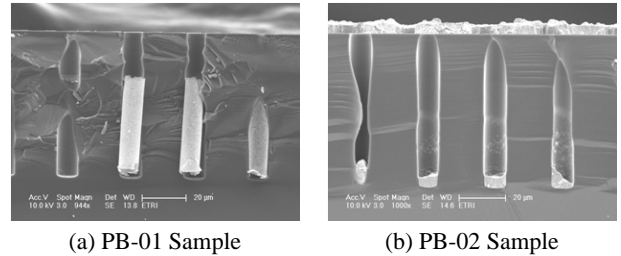


Fig. 5 SEM images of metal filling for TSV (10 μm Hole) using nano paste of B company.

4. 결론

본 실험에서는 LTO 마스크와 Deep RIE를 이용하여 수직의 TSV를 형성 할 수 있었고, 10 μm의 Hole과 Line의 식각 깊이를 비교하여 보면, Line의 식각 깊이가 Hole의 식각 깊이보다 깊은 것을 관찰하였다. 이는 Line의 식각 속도가 Hole의 식각 속도보다 빠르기 때문이다. TSV의 금속 채움 실험은 다양한 크기를 가지는 Ag ink와 Ag paste를 에탄올에 용해시켜 자유 침강법에 의하여 수행하였다. A사의 경우 TSV 내부의 측벽에 균일하게 증착되었다. 입자의 크기가 작은 경우 Void가 없이 증착되었다. B사의 경우 코팅용 Ink는 측벽에 얇은 박막형태로 증착되었고, Paste용 Ink는 측벽에 증착 없이 바닥에만 증착되는 것을 관찰 할 수 있었다. 입자의 크기가 증가함에 따라서 TSV 하단부에 증착되었다. 이는 Ag Ink와 Paste 내부에 존재하는 입자의 크기와 유기바인더의 차이에 의한 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 지식경제부, 산업기술연구회의 협동연구사업 일환인 "차세대 반도체 MCP 핵심기술 개발 사업"과 지식경제부 "인쇄소자의 TFT 특성 연구(과제번호: 10031791)"의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Beica R., Sharbono C. and Ritzdorf T., 577-583, 2008.
2. S. W. R. Lee, and R. Hon, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 970, 179-191, 2007
3. JEE Y.K. , Yu J. , Park K.W., and OH T.S., J. ELECTRONIC MATERIALS, 38, 685-690, 2009.
4. G. Druaisa, G. Dilliwayb, P. Fischerb, E. Guidottic, O. Lühnd, A. Radisicd and S. Zahraouic, Microelectronic Engineering, 85, 1957-1961, 2008.
5. Okuno A., and Fujita N., Proceedings of IEEE Electronic Component and Technology Conference, 1444-1448, 2002.
6. Bonkoha M., Motoyoshi M., Kamibayashi K. , and Koyanogi M., Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 970, 35-48, 2007