

전도성 시트 기반 차세대 5G 반도체 검사용 소켓의 고온 환경 및 내구 특성 평가

이예은*, 박선아*, 이희준*

*미르텍알앤디 주식회사

e-mail : yaeun97@naver.com, sunah123456@naver.com,
mirtech77@naver.com

Evaluation of High-Temperature and Durability Characteristics of a Next-Generation 5G Semiconductor Test Socket Based on a Conductive Sheet

Ye-Eun Lee*, Sun-Ah Park*, Hee-Joon Lee*

*Mirtech R&D Corporation

요 약

본 연구에서는 경제성과 성능을 동시에 개선할 수 있는 차세대 5G 반도체 검사용 소켓을 개발하기 위해, 새로운 전도성 시트를 활용한 탐침 패드를 설계 및 제작하였다. 구리(Cu) 기반 도금 공정을 통해 전도성이 우수한 시트를 제조한 뒤, 이를 기반으로 탐침 패드를 형성하고, 블록 구조물과 정밀하게 조립하여 5G 반도체용 검사용 소켓을 완성하였다. 이후, 소켓의 성능을 평가하기 위해 하중, 고온 환경(피치 정밀도 및 접촉 저항), 내구성 시험을 수행하였다.

하중 분석 결과, 전도성 라인에 0.2mm의 눌림 양을 가했을 때 평균 10.12g/line의 하중이 균일하게 전달되었으며, 파손 없이 안정적인 접촉 특성을 유지하였다. 고온(80℃) 환경 평가에서는 시험 전후 피치가 각각 805.48 μ m와 802.23 μ m로 측정되어 $\pm 40\mu$ m 이내의 허용 오차 범위를 만족하였으며, 접촉 저항은 25m Ω 에서 26m Ω 으로 경미한 변화만 나타나 고온 환경에서도 치수 및 전기적 특성이 안정적으로 유지됨을 확인하였다. 또한, 50,000회의 반복 하중 시험을 수행한 내구성 평가에서는 저항 값이 33.0m Ω 에서 32.2m Ω 으로 유지되어, 장기 사용 조건에서도 전기적 특성의 안정성이 확보되었다.

이러한 결과를 통해, 본 연구에서 개발된 전도성 시트 기반 5G 반도체 검사용 소켓은 고온 환경 및 반복 사용 조건에서도 우수한 신뢰성과 경제성을 갖춘 구조로, 차세대 반도체 검사 공정에서 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 스마트폰, 태블릿과 같은 모바일 기기의 보급이 빠르게 확대되고 있으며, 자동차, 인공지능(AI) 서비스 등 다양한 산업에서도 반도체의 활용이 증가하고 있다. 특히, 5G 네트워크, 자율주행차, AI 연산, 데이터 센터, 사물인터넷(IoT) 등의 기술 발전과 맞물려 반도체 산업은 지속적인 성장을 이어가고 있으며, 고성능, 소형화, 고집적화된 반도체 기술이 요구되고 있다. 이러한 변화에 대응하기 위해 HBM(High Bandwidth Memory), LPCAMM(Low Power Compression Attached Memory Module)과 같은 3차원 반도체 기술이 개발되고 있으며, 이에 따라 반도체의 성능을 검증하는 검사용 소켓 역시 높은 성능과 경제성을 동시에 갖춰야 하는 과제가 대두되고 있다[1,2].

반도체의 제조 공정은 일반적으로 웨이퍼 가공(Fab 공정), 프로브 테스트(Probe Test), 조립 공정(Assembly), 패키지 테스트(Package Test)로 구성된다. 이 중 프로브 테스트는

웨이퍼 상에서 개별 칩의 전기적 특성을 검사하는 과정이며, 패키지 테스트는 조립된 칩의 전기적 특성과 신뢰성을 평가하는 단계이다. 이러한 검사는 불량 제품의 출하를 방지하는 핵심 과정으로, 반도체가 고가의 부품이라는 점을 고려하면 반드시 요구되는 검사 단계이다. 만약 불량 제품이 출하될 경우, 고객 신뢰도 하락 및 손해배상 등의 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 이에 따라 반도체 출하 전 철저한 검사가 요구되며, 이를 위해 반도체 검사용 소켓이 사용된다. 반도체 검사용 소켓은 검사 장비와 반도체를 연결하는 역할을 수행하며, 다양한 반도체를 동일한 검사 장비에서 테스트할 수 있도록 하는 핵심 부품이다[3,4].

반도체의 고성능화가 가속됨에 따라 검사용 소켓 또한 낮은 접촉 저항, 내구성, 소형화, 고집적화 등의 요구 사항을 충족해야 하며, 사용 수명이 제한된 소모품이라는 점에서 경제성 또한 중요한 요소로 작용한다. 이에 따라 높은 신뢰성과 가격 경쟁력을 동시에 갖춘 새로운 타입의 검사용 소켓 개발이 필요하다.

현재 반도체 검사용 소켓은 전극 접촉 방식에 따라 포고 핀

(Pogo Pin) 타입, 러버(Rubber) 타입, 블레이드 핀(Blade Pin) 타입으로 분류된다. 포고 핀 타입은 스프링이 내장된 작은 프로브 핀을 이용하여 전극과 접촉하는 방식으로, 전기적 특성이 우수하고 내구성이 뛰어나지만 접촉 불량이 발생할 가능성이 있으며, 고주파 신호 손실이 단점으로 지적된다. 러버 타입은 실리콘 러버 내부에 전도성 마이크로 볼을 삽입하여 신호를 전달하는 방식으로, 전류 손실이 적다는 장점이 있지만 고주파 신호 구현이 어렵고 사용 중 마이크로 볼이 떨어져 신뢰성이 저하될 수 있다. 블레이드 핀 타입은 포고 핀의 단점을 보완하기 위해 개발된 방식으로, 접촉 성능이 뛰어나고 가격이 비교적 저렴하지만, 반도체 소형화에 따라 가공 비용이 증가하는 문제와 핀 고정 구조물이 추가로 필요하다는 단점이 존재한다. 또한, 부품 로딩 과정에서 핀 파손 위험이 높아질 가능성이 있다[5-8].

따라서 HBM 및 LPCAMM과 같은 3차원 반도체의 검사를 위해서는 높은 접촉 신뢰성과 우수한 전기적·기계적 특성을 유지하면서도 비용 효율성이 뛰어난 새로운 검사용 소켓이 필요하다. 본 연구에서는 경제적인 소재를 사용한 전도성 시트를 제작하고 이를 기반으로 새로운 타입의 검사용 소켓을 개발하였다. 개발된 소켓의 성능을 평가하기 위해 하중, 고온 환경 평가(피치정밀도 및 저항), 내구성 등의 특성을 종합적으로 분석하였다.

2. 본론

2.1 전도성 시트 및 탐침 패드 제작

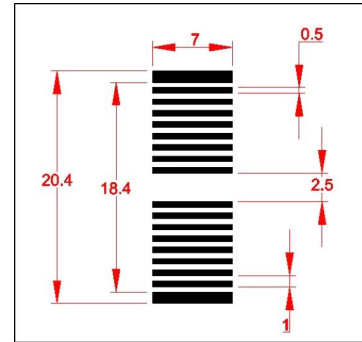
전도성 시트는 액정폴리머(Liquid Crystal Polymer, LCP) 표면에 구리(Cu)를 도금한 후, 추가로 금(Au) 도금을 진행하여 제작하였다. 이를 통해 우수한 전기적 특성을 갖춘 전도성 시트를 구현할 수 있었다.

도금된 전도성 시트는 반도체와의 정밀하게 접촉할 수 있도록 설계되었다. 그림 1과 같이 미세 패턴이 적용된 도면을 설계한 후, 에칭 공정을 수행하여 동일한 패턴을 형성하였다. 이를 통해 일관된 접촉 특성을 유지하면서도 고정밀 패턴을 구현할 수 있도록 하였다.

탐침 패드는 전도성 시트를 기반으로 제작되었다. 탐침 패드의 크기와 형상을 균일하게 유지하기 위해 스테인리스강(SUS) 재질로 지그(JIG)를 제작하였으며, 지그 하단에 전도성 시트를 부착한 후, 실리콘 러버의 주재와 경화제를 1:1 비율로 혼합하여 결합된 지그 내부에 주입하고 경화하는 방식으로 제작하였다. 지그를 스테인리스강으로 제작한 이유는 실리콘 러버와의 분리가 용이하여 제작 공정의 효율성을 향상시킬 수 있기 때문이다.

이와 같은 방법으로 전도성 시트와 실리콘 러버가 결합된 탐침 패드를 제작하였으며, 이를 활용하여 검사용 소켓을 제

작하였다. 이러한 공정을 통해 재료비 절감 효과를 달성할 수 있었으며, 최종적으로 검사용 소켓의 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있었다.



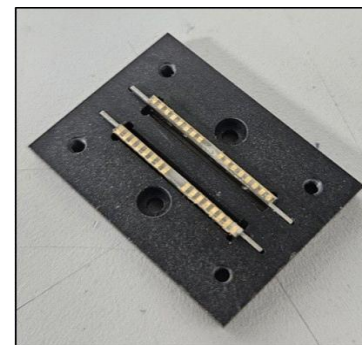
[그림 1] 미세 패턴이 적용된 전도성 시트 설계 도면

2.2 전도성 시트로 제작된 탐침 패드를 활용한 5G 반도체 검사용 소켓 제작

제작된 탐침 패드를 활용하여 5G 반도체 검사용 소켓을 제작하기 위해서는 탐침 패드를 고정할 수 있는 블록 구조물을 설계하고 조립하는 과정이 필요하다. 최종적으로, 그림 2에 제시된 바와 같이 5G 반도체 검사용 소켓을 완성하였다.

블록 구조물과 탐침 패드는 정밀 가공된 조립 방식으로 결합되어 탐침 패드가 정확한 위치에 안정적으로 유지되도록 하였다. 또한, 소켓의 일관된 전기적·기계적 성능을 확보하기 위해 구조적 강성과 내구성을 고려하여 설계하였다.

이러한 설계를 바탕으로 전도성 시트를 활용한 탐침 패드 기반의 5G 반도체 검사용 소켓을 완성하였으며, 기존 소켓 대비 성능과 경제성 측면에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 개발되었다.



[그림 2] 본 연구를 통해 개발된 5G 반도체 검사용 소켓

2.3 5G 반도체 검사용 소켓 특성 평가

5G 반도체 검사용 소켓의 물성을 확인하기 위해 하중, 고온 환경 평가(피치 정밀도 및 접촉 저항), 내구성 등의 특성을 분석하였다.

2.3.1 5G 반도체 검사용 소켓 하중 분석

5G 반도체 검사용 소켓은 실제 사용 시 전도성 라인에 약

0.2mm의 눌림 양이 가해지며, 이때 모든 전도성 라인에 균일한 하중이 전달되는지를 확인하기 위해 하중 분석을 수행하였다.

하중 분석을 위해 반복 시험기(LTT-20)를 사용하였으며, 검사용 소켓 5개를 선정하여 약 0.2mm의 눌림 양을 가한 후, 전도성 라인 1개에 가해지는 하중을 측정하였다. 전도성 라인 1개의 하중은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{전도성 라인 1개 하중}(g) = \frac{\text{전도성 라인 32개 전체 하중}(g)}{\text{전도성 라인 32개}}$$

분석 결과는 표 2에 나타내었으며, 전도성 라인 1개에 가해지는 하중은 평균 약 10.12g/line을 갖는 것으로 확인되었다. 또한, 소켓 5개 모두 유사한 값을 나타내어, 모든 전도성 라인에 균일하게 하중이 가해짐을 확인할 수 있었다.

[표 1] 5G 반도체 검사용 소켓의 하중 분석 결과

전도성 라인 번호	시험 결과 (g)	
	전도성 라인 32개 하중	전도성 라인 1개 하중
# 1	343	10.72
# 2	293	9.16
# 3	321	10.03
# 4	322	10.06
# 5	340	10.63

2.3.2 5G 반도체 검사용 소켓 고온 환경 분석

5G 반도체 검사용 소켓의 신뢰성을 확보하기 위해서는 고온과 같은 극한 환경에서도 소켓과 반도체 간의 정렬이 정확히 유지되고, 전기 신호가 손실 없이 전달되어야 한다. 특히 고주파 특성을 요구하는 반도체 검사 환경에서는 정밀한 피치 간격 유지와 낮은 접촉 저항이 필수적이다. 이에 따라 본 연구에서는 고온 환경 노출 전후의 피치 정밀도 및 접촉 저항 변화를 분석하여, 소켓의 열적 안정성과 전기적 신뢰성을 평가하였다.

피치(Pitch)란 소켓 내 전도성 라인과 인접한 라인 사이의 간격을 의미하며, 반도체 칩과의 정렬 정확도 및 신호 전달 신뢰성에 직접적인 영향을 미치므로 중요한 요소이다. 본 실험에서는 시편을 80℃의 고온 환경에서 40분간 유지한 후 상온으로 냉각하여 안정화시킨 뒤, Digital & Stereo microscope system 현미경(30배율)을 이용하여 피치를 측정하였다. 결과는 표 2에 나타났으며, 고온 시험 전 평균 피치는 805.48μm, 고온 시험 후 평균 피치는 802.23μm로 나타났고, 시편 전체의 평균값 기준으로는 ±5μm 내외의 미세한 변화만 관찰되었으며, 일부 측정 지점에서는 5μm 이상의 변화도 확인되었으나 전체적으로 ±40μm 허용 오차 범위 이내였다. 이는 고온 환경에서도 소켓의 치수 변화가 미미하여 전기

신호가 안정적으로 전달되며, 고주파 반도체 검사 환경에서 일관된 전기적 성능과 신호 품질을 유지할 수 있음을 보여준다.

접촉 저항 측정은 실제 검사 환경을 반영하여 0.2mm의 눌림 양을 가한 상태에서 수행되었으며, 고온 시험 전후 모두 상온에서 측정하였다. 5G 반도체의 고주파 특성상 접촉 저항은 40mΩ 이하로 유지되어야 한다. 결과는 표 3에 나타났으며, 고온 시험 전 평균 저항은 25mΩ, 고온 시험 후 평균 저항은 26mΩ으로 측정되었다. 모든 시편에서 저항 값은 40mΩ 이하의 안정적인 범위를 유지하여, 고온 환경에서도 소켓의 전기적 특성이 충분히 확보됨을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 본 연구에서 개발된 5G 반도체 검사용 소켓은 고온 환경에서도 피치 정밀도와 전기적 특성의 안정성을 모두 확보하고 있어, 고신뢰성 고주파 반도체 검사 환경에 적합한 성능을 갖춘 것으로 판단된다.

[표 2] 5G 반도체 검사용 소켓의 고온 시험 전후의 피치 정밀도 분석 결과

항목/시료	검사용 소켓 피치 정밀도 (μm)					
	A		B		C	
	시험 전	시험 후	시험 전	시험 후	시험 전	시험 후
# 1	809.271	802.972	817.612	809.243	816.565	801.761
# 2	809.047	799.508	800.076	796.601	801.719	810.613
# 3	805.502	805.379	804.991	801.864	793.154	802.905
# 4	803.246	803.776	801.719	801.868	811.821	803.042
# 5	806.132	801.866	800.072	795.567	801.262	796.421
표준편차	2.54	2.20	7.39	5.44	9.29	5.07
상대표준편차 RSD(%)	0.3	0.3	0.9	0.7	1.2	0.6
평균	806.64	802.70	804.89	801.03	804.90	802.95

[표 3] 5G 반도체 검사용 소켓의 고온 시험 전후의 저항 분석 결과

항목/시료	검사용 소켓 저항 (mΩ)					
	A		B		C	
	시험 전	시험 후	시험 전	시험 후	시험 전	시험 후
# 1	27	27	21	28	20	30
# 2	28	28	29	15	19	20
# 3	29	25	33	33	23	25
# 4	15	23	23	22	30	37
# 5	23	22	24	26	29	26
평균	24	25	26	25	24	28

2.3.3 5G 반도체 검사용 소켓 내구성 분석

5G 반도체 검사용 소켓의 내구성은 검사 신뢰성과 유지 비용 절감 측면에서 중요한 요소이다. 내구성이 뛰어난 소켓은 반복 사용 시에도 전기적·기계적 특성을 유지하며, 교체 주기를 줄여 유지보수 비용을 절감할 수 있다. 또한, 내구성이 낮은 소켓은 접촉 불량을 유발하여 검사 신뢰도를 저하시킬 수 있으므로, 내구성 확보는 필수적이다. 더불어, 내구성이 높은 소켓은 폐기물 발생을 줄이는 효과도 있어 환경 보호 측면에

서도 의미가 있다.

본 연구에서는 5G 반도체 검사용 소켓의 내구성을 평가하기 위해 2개의 소켓을 선정한 후 반복 시험기(LTT-20)를 사용하여 0.2mm 눌림 양을 가한 상태에서 50,000회 반복 시험을 수행하였다. 이후, 각 소켓에서 무작위로 3개의 전도성 라인을 선정하여 저항 변화를 측정하였다.

분석 결과는 표 5에 나타내었으며, 내구 시험 전 저항 평균 값은 33.0mΩ, 시험 후 저항 평균 값은 32.2mΩ으로 측정되었다. 이는 5G 반도체 검사용 소켓의 요구 조건인 40mΩ 이하를 만족하며, 50,000회의 반복 사용 후에도 소켓의 저항 변화가 매우 경미함을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서 개발된 5G 반도체 검사용 소켓은 높은 내구성을 유지하며, 장기적인 사용에도 신뢰성을 확보할 수 있음을 입증하는 결과이다.

[표 5] 5G 반도체 검사용 소켓의 내구성 분석 결과

전도성 라인 번호	시험 결과	
	내구 시험 전 저항 (mΩ)	내구 시험 후 저항 (mΩ)
# 1	36	35
# 2	35	34
# 3	33	32
# 4	32	31
# 5	29	29
평균	33.0	32.2

3. 결론

본 연구에서는 5G 반도체 검사용 소켓의 경제성과 성능을 동시에 개선하기 위해 전도성 시트를 활용한 새로운 소켓 구조를 설계하고 제작하였으며, 이를 평가하였다. 이를 위해 하중, 고온 환경 평가(피치 정밀도 및 접촉 저항), 내구성 분석을 수행하였다.

하중 분석 결과, 전도성 라인에 약 0.2mm의 눌림 양을 가했을 때 평균 10.12g/line의 하중이 전달되었으며, 이 과정에서 소켓의 파손이나 기계적 이상 없이 안정적인 접촉 성능이 유지됨을 확인하였다.

고온 환경에서의 전기적 및 물리적 특성 평가 결과, 피치 정밀도는 고온 시험 전 평균 805.48μm, 시험 후 평균 802.23μm로 측정되었고, 시편 전체의 평균값 기준으로는 ±5μm 내외의 미세한 변화만 관찰되었으며, 모든 측정값은 ±40μm 허용 오차 이내에 위치하였다. 또한, 고온 시험 전 평균 저항은 25mΩ, 고온 시험 후 평균 저항은 26mΩ으로 나타나, 40mΩ 이하의 범위를 안정적으로 유지함으로써 고온 환경에서도 치수 및 전기적 특성이 안정적으로 유지됨을 확인하였다.

50,000회의 반복 하중 시험을 수행한 내구성 평가 결과, 내구 시험 전 평균 저항은 33.0mΩ, 시험 후 평균 저항은

32.2mΩ으로 측정되었으며, 모든 측정값은 40mΩ 이하를 유지하여 장기 반복 사용 조건에서도 전기적 특성의 안정성이 충분히 확보됨을 확인할 수 있었다.

이를 통해, 본 연구에서 개발된 전도성 시트 기반 5G 반도체 검사용 소켓은 경제성과 성능을 동시에 개선한 구조로, 고온 환경 및 반복 사용 조건에서도 신뢰성 있는 접촉 특성과 전기적 안정성을 유지할 수 있음을 입증하였다.

감사의 글

본 연구는 2024년도 과학기술정보통신부 (2024-DD-RD-0105-01)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이종희. (2013). 한국 반도체산업 발전과정과 장비산업 경쟁력 분석 연구.
- [2] 정의영. (2015). 반도체 산업의 성과 분석을 통한 메모리 산업의 미래 전략 도출. 디지털산업정보학회, 디지털산업정보학회논문지, 11(4), 1-12.
- [3] 장수열, 조만식, 조슬기, & 문병무. (2018). 기계학습 알고리즘을 이용한 반도체 테스트공정의 불량 예측. 전기전자재료학회논문지 (J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.), 31(7), 450-454.
- [4] 광노열 외. (2024). 반도체 제조기술의 이해 (2판). 한울.
- [5] 김명식, & 배규식. (2008). BGA 검사 소켓 핀의 불량 분석 연구. 한국재료학회지, 18(9), 497-502.
- [6] Kim, S., & Kim, M. (2024). Enhancement of Signal Transmission Characteristics Using Structural Changes in Silicone Rubber Socket. Journal of the Semiconductor & Display Technology, 23(1), 104-109.
- [7] 이예은, 박선아, 이희준, 배민지, & 한상민. (2024). RF 검사용 소켓 개발. 대한전기학회 학술대회 논문집, 2043-2044.
- [8] 이예은, 박선아, 이희준. (2024). 차세대 디스플레이 부품 검사용 소켓 개발. 2024년 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 447-450.