

반도체 패키징 TSV 측정 기술

TSV measurement on semi-conductor packaging process

*#진종한¹, 김재완¹, 김종안¹, 강주식¹, 이성현¹

*#J. Jin¹ (jonghan@kriss.re.kr), J. W. Kim¹, J. -A. Kim¹, C. -S. Kang¹, S. H. Lee¹

¹한국표준과학연구원 기반표준본부 길이센터

Key words : TSV, interferometry, depth measurement

1. 서론

최근 높은 집적도의 반도체를 구현하기 위해 새로운 개념의 공정인 3D 반도체 패키징(3D semi-conductor packaging)이 제안되고 있다. 현재까지는 광학 노광을 통해 미세 선폭을 구현함으로써 고집적도의 회로를 구현할 수 있었지만, 회절한계로 인해 구현할 수 있는 선폭에 제한을 받게 되었다. 이를 극복하기 위해 가시광보다 더 짧은 파장을 사용하여 회절한계를 줄여가는 방법이 고려됨과 동시에 공정이 완료된 여러 개의 웨이퍼를 수직으로 적층하여 집적도를 높이는 3D 반도체 패키징 기법이 제안되었다.

TSV(Through Silicon Via)는 기존의 평면 웨이퍼 공정에서는 필요치 않은 개념으로, 여러 개의 웨이퍼들을 수직으로 적층하는 3D 반도체 패키징 공정에서 다수의 웨이퍼들 사이의 전기신호를 주고 받기 위한 수직 도선으로 필수적인 요소이다. TSV는 수직으로 형성된 원형 구멍 형상이며 지름에 비해 깊이가 매우 깊어 높은 종횡비를 갖는다. 이런 깊은 원형 구멍에 전기가 통할 수 있는 전도체를 채워 넣음으로써 웨이퍼들 사이의 전기신호를 수직으로 주고 받을 수 있다.

현재 TSV 공정은 딥 에칭(deep etching) 등을 통해 구현할 수 있지만, 이를 검사하기 위해서는 일반적으로 SEM(Scanning Electron Microscope)을 널리 사용한다. 하지만 SEM은 시편의 단면을 잘라 측정하기 때문에 웨이퍼에 손상을 주며, 특히 공정상에서 측정하는 것은 불가능하다. 기존의 대표적인 광학식 방법인 공초점 현미경, 백색광 간섭계 등은 측정 시편의 높은 종횡비로 인해 빛이 구멍의

끝까지 도달하지 못하거나 구멍 입구에서 생기는 회절 현상으로 인해 왜곡된 형상을 얻어낸다.

본 논문에서는 차세대 반도체 공정으로 제안되고 있는 3D 반도체 패키징에서 가장 기본적인 요소 중의 하나인 TSV의 깊이 측정을 위한 고속 간섭계를 제안하고자 한다. 공정에서의 활용도, 수율 향상 및 기계 진동에 의한 영향을 최소화하기 위해 근적외선 영역의 광 빛을 이용한 고속 간섭계를 구현하였다.

2. 기본이론

간섭계로부터 얻어진 간섭신호, $I(L)$ 는 식(1)과 같이 표현되며, 이는 광경로차(optical path difference, L)에 따라 주기적으로 밝고 어두움을 반복하게 된다. 여기서, 배경광의 세기는 I_0 , 가시도는 γ , 빛의 속도는 c , 광원의 주파수는 f 이다.

$$I(L) = I_0(1 + \gamma \cos(2\pi/c \cdot L \cdot f)) \quad (1)$$

일반적으로 단색광을 사용하는 단일 파장 간섭계의 경우에는 정확한 위상을 구하기 위해 기준 거울을 일정량만큼 움직이면서 간섭 무늬를 획득하고 이를 분석해야 거리 정보를 얻을 수 있다. 하지만 대역폭이 넓은 광원을 사용하게 되면 앞서 언급한 위상 천이 없이도 한번에 거리를 측정할 수 있다. 식(1)에서 보면 간섭신호는 일정한 광경로차에 대해서 광주파수의 변화에 따라 주기적으로 변화하기 때문에, 간섭 신호의 스펙트럼의 주기 성분을 분석하면 광경로차를 한번에 얻을 수 있다. 이런 주기를 얻는 방법으로 가장 간단하게는

푸리에 변환(Fourier Transform)을 통해서 가능하며, 푸리에 영역에서 좀 더 정확한 침투 위치를 찾기 위해서 원하는 침투만을 필터링하여 역푸리에 변환을 하여 분석하는 방법도 널리 사용되고 있다.

3. 실험 방법 및 결과

실리콘 웨이퍼에 주기적으로 지름이 20 μm , 깊이가 약 130 μm 인 깊은 구멍 배열을 딥 에칭(deep etching) 공정을 통해 제작하였다. Figure 1 은 SEM 으로 측정된 TSV 시편의 단면을 보여준다.

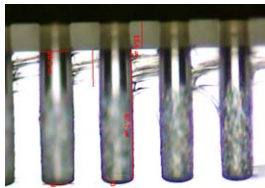
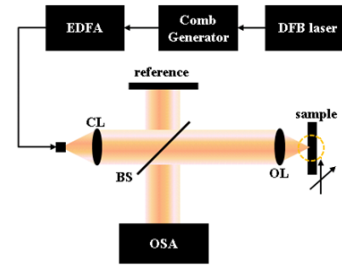


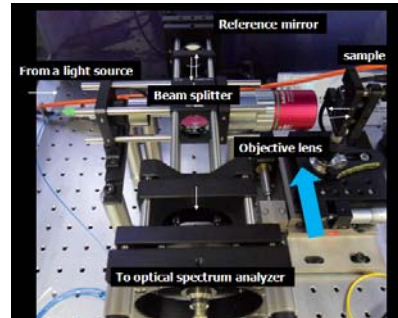
Fig. 1 SEM image of TSVs

본 측정을 위해 Fig. 2(a)와 같이 마이켈슨(Michelson) 형태의 간섭계를 구성하였고, 광원은 반복률이 25 GHz 를 갖는 위상 변조 광 빔 발생기(comb generator)를 사용하였다. 측정에 사용된 중심파장은 1541 nm 이며, 대역폭은 약 20 nm 이다. 광원에서 나온 빛은 두 부분으로 나뉘어 한쪽 빛은 기준 거울로 다른 한쪽 빛은 TSV 시편으로 입사된다. 웨이퍼의 앞면, 뒷면, 그리고 깊은 구멍의 바닥면에서 되맞고 나온 빛을 분석하여 TSV 의 깊이를 결정할 수 있다. 여기서, 이런 내부 구조 측정이 가능한 것은 적외선 대역의 광원이 실리콘 웨이퍼를 일부 투과하는 특성이 있기 때문이다. 기본 성능을 평가해 보기 위해 TSV 시편의 약 100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 영역을 스캐닝 하였다. 깊은 구멍이 있는 부분과 없는 부분에서의 스펙트럼을 측정하면, Fig. 3 과 같이 구멍이 있는 부분과 없는 부분에서의 스펙트럼은 확연히 구분할 수 있다. 깊은 구멍이 있는 위치에서 스펙트럼의 주기에 해당하는 부분을 분석하여 깊이를 계산해보면 평균 깊이는 133.1 μm 이다.



where, EDFA: Er doped fiber amplifier, BS: beam splitter, OL: objective lens, CL: collimation lens, OSA: optical spectrum analyzer, DFB laser: distributed feedback laser

(a) Optical layout



(b) Experimental setup

Fig. 2 TSV measurement system

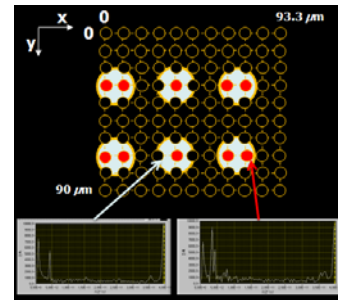


Fig. 3 Interference spectrums on the TSV sample

4. 결론

반도체 패키징에서 가장 기본적인 요소 중의 하나인 TSV 를 적외선 대역의 광 빔을 사용하여 시편에 손상 없이 측정할 수 있는 고속 간섭계를 제안하였다. 기초 성능 평가를 위해 측정된 시편의 깊은 구멍의 평균 깊이는 133.1 μm 로 측정되었다.