



## 반도체 (Positive)

### 웨이퍼 워피지로 인한 메모리 반도체 수율 저하와 BSD(Back Side Deposition) 장비의 중요성

▶ Analyst 박준영 jyp94@hanwha.com 3772-7481 / RA 김나우 now.kim@hanwha.com 3772-7710

최근 들어 메모리 반도체 산업 내에서 웨이퍼 워피지(Wafer Warp, 웨이퍼의 불규칙적 휨 현상) 현상과 이로 인한 수율 저하 문제가 지속적으로 대두되고 있다. 특히 해당 문제가 불거지고 있는 반도체는 HBM4(베이스 및 코어 다이)와 NAND이며 이러한 웨이퍼 워피지 현상의 해결을 위해 BSD(Back Side Deposition) 장비의 적극적인 도입이 진행될 것으로 보인다. 동 장비의 경우 현재로서는 NAND 기준 2.5~3K당 1대, DRAM/HBM 기준 5~7K당 1대 수준의 수요가 있는 것으로 보이며 메모리 메이커들의 증설 스케줄이 앞당겨지고 그 규모도 당초 예상 대비 커지고 있는 바 향후 증설과 반도체 고도화 과정에서 수혜를 볼 수 있을 것으로 예상된다. 현재 메모리 메이커들의 HBM4 수율은 전작인 HBM3E 대비해 상당히 낮은 것으로 파악되며 이는 특정 메모리 메이커의 문제가 아닌 DRAM 3강(SEC, SKH, Micron Technology) 모두에게서 발생하고 있는 현상으로 추측된다. NAND 또한 3D NAND의 형태로 반도체가 고단화되며 박막을 수백층까지 반복해서 쌓고 있는데 이 과정에서 웨이퍼 워피지 현상이 과거 대비 심각해지고 있다.

웨이퍼 워피지로 인한 수율 저하 문제는 메모리 메이커들의 수익성은 물론 고객사 입장에서의 비용과 납기에도 영향을 미칠 수 있기에 해당 문제를 해결하는 것이 메모리 메이커들의 입장에서 매우 중요한 현안이 되고 있다.

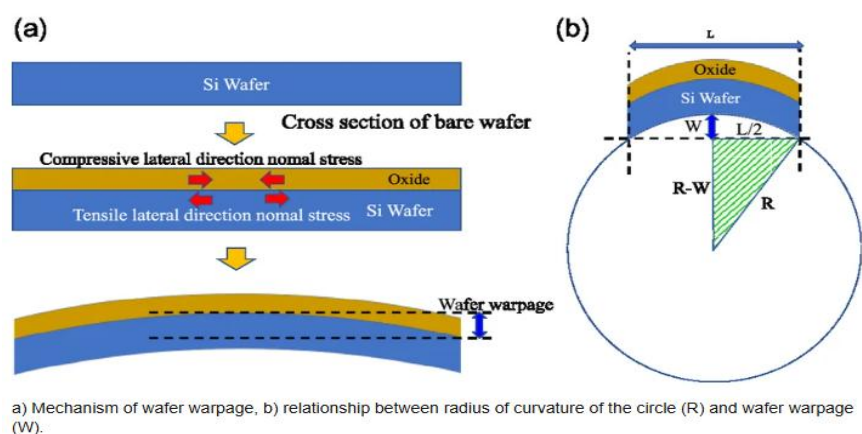
HBM4에서 워피지 현상이 HBM3E 대비 더 심해질 수밖에 없는 이유는 크게 두 가지다. 첫째는 다이 박형화(두께의 감소)이다. HBM4는 더 높은 대역폭과 용량을 구현하기 위해 전작 대비 적층수가 더 많아지는데, 전체 패키지 높이는 제한돼 있기 때문에 개별 DRAM 다이를 더 얇게 만들어야 한다. 문제는 다이가 얇아질수록 외부 힘이나 내부 변형을 버티는 힘이 약해진다. 두꺼운 플라스틱 판은 쉽게 휘지 않지만 얇은 필름은 손가락으로 살짝 눌러도 휘는 것과 같다. 둘째는 응력 요인의 밀집이다. 응력이란 박막이나 금속 배선이 수축하거나 팽창하려고 하면서 주변 구조를 당기거나 미는 힘을 의미한다. HBM4는 HBM3E보다 I/O 수가 늘어나고 연결 피치가 더 촘촘해지면서 TSV의 Cu, 절연막, 마이크로범프, 베이스 다이 배선층 같은 구조가 더 높은 밀도로 배치된다. 이 재료들은 실리콘과 열에 따라 팽창하고 수축하는 정도(열팽창계수)가 다르기 때문에 공정 중 열처리와 냉각을 반복하면 미세한 당김과 밀림이 곳곳에 쌓인다. 즉 HBM4는 더 얇아져서 잘 휘는 다이 위에, 힘을 유발하는 구조물이 더 촘촘하게 분포하는 구조가 된다. 이 때문에 HBM3E보다 워피지에 더 취약해지고, 이로 인해 수율 저하가 발생할 가능성이 높아진다.

최근 들어 NAND에서 고다층화가 진행될수록 워피지 현상이 심해지는 가장 큰 이유는 박막 적층 수가 늘어나면서 응력, 즉 박막이 수축하거나 팽창하려고 하면서 웨이퍼를 당기거나 미는 힘이 계속 누적되기 때문이다. 3D NAND는 셀을 위로 쌓아 올리는 구조이기 때문에 웨이퍼 위에 산화막(전기가 흐르지 않도록 막아주는 절연막), 질화막(공정 중 특정 층을 보호하거나 나중에 선택적으로 제거하기 위해 쓰는 막) 같은 박막을 수십 층에서 수백 층까지 반복해서 증착한다. 처음 몇 층만 쌓을 때는 각 박막에 남은 힘이 크지 않지만, 200단 이상으로 올라가면 작은 힘들이 같은 방향으로 계속 쌓이면서 웨이퍼 전체를 휘게 만든다. 종이 한쪽 면에 풀을 계속 덧바르는 것과 비슷하다. 처음 한두 번 바를 때는 종이가 조금만 울지만, 같은 방향으로 여러 번 덧바를수록 마른 풀이 종이를 계속 잡아당기면서 종이 전체가 점점 말리거나 휘게 된다. 3D NAND도 마찬가지로 박막이 수백 층 반복 증착되면서 각 층에 남은 미세한 응력이 누적되고 그 결과 워피지가 발생한다.

BSD는 웨이퍼 앞면에 쌓인 박막들이 만든 응력을 뒷면에서 반대 방향의 응력을 가진 보정막을 증착해 워피지를 해결하는 장비를 뜻한다. 예를 들어 3D NAND에서 앞면에 산화막, 질화막이 수백 층 쌓이면서 웨이퍼를 한쪽 방향으로 잡아당기면 BSD 장비는 웨이퍼 뒷면에 그 힘과 반대 방향으로 작용하는 보정막을 증착한다. 종이 한쪽 면에 풀이 계속 덧발라져 종이 가 말리기 시작했을 때, 반대쪽 면에도 적절한 힘을 주는 막을 발라 종이를 다시 펴는 것과 비슷하다. 중요한 점은 BSD가 단순히 뒷면에 막을 아무렇게나 입히는 장비가 아니라는 것이다. BSD는 웨이퍼가 어느 방향으로 얼마나 휘었는지에 맞춰 정밀하게 보정막의 두께와 응력을 조절해야 한다. 보정막을 적절하게 만들어 증착하는 것이 어려운 이유는 막의 종류, 두께, 응력을 동시에 맞춰야 하기 때문이다. BSD 장비는 산화막 계열 보정막을 만들 때는 실리콘 계열 가스와 산소 계열 가스를, 질화막 계열 보정막을 만들 때는 실리콘 계열 가스와 질소 계열 가스를 사용해 웨이퍼 뒷면에 막을 만든다. 그런데 같은 산화막이나 질화막이라도 가스 조성, 온도, 플라즈마 세기, 증착 시간에 따라 막이 웨이퍼를 당기는 힘이나 미는 힘이 달라진다. 즉 단순히 “막을 몇 nm 입히느냐”의 문제가 아니라, 어떤 성질의 막을 만들어야 웨이퍼가 원하는 만큼 반대 방향으로 퍼지는지를 정확히 맞춰야 한다. 막이 너무 약하면 힘이 충분히 보정되지 않고, 너무 강하면 오히려 반대 방향으로 다시 휘 수 있다. 그래서 BSD 장비는 보정막을 직접 만드는 증착 장비이면서 동시에, 웨이퍼의 휨 정도에 맞춰 막의 성질까지 정밀하게 설계해야 하는 장비인 것이다.

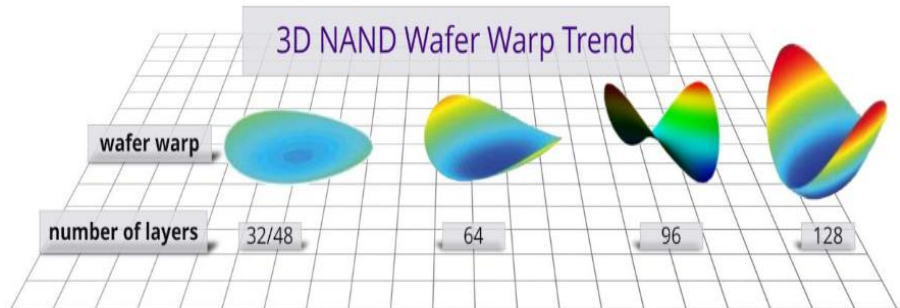
앞으로 BSD 장비는 HBM, NAND, 로직 웨이퍼 전반에서 중요성이 커질 수밖에 없다. 이유는 반도체의 기술 발전 방향이 모두 웨이퍼가 더 얇아지고, 구조가 더 복잡해지는 방향으로 진행되고 있기 때문이다. HBM은 16단, 20단 향후에는 수십단 적층을 위해 다이를 더 얇게 만들어야 하고, I/O와 본딩 피치가 촘촘해지면서 작은 휨도 수율의 큰 저하로 이어질 수 있다. NAND는 300단 이상으로 고단화 되면서 앞면에 쌓이는 박막 응력이 계속 누적돼 웨이퍼가 휘기 쉬워진다. 로직 웨이퍼도 여러 재료와 복잡한 구조가 웨이퍼 위에 더 촘촘하게 형성되기 때문에 응력 관리가 어려워진다. 결국 첨단 반도체는 성능을 높이기 위해 더 많이 쌓고, 더 얇게 만들고, 더 미세하게 연결하는 방향으로 발전하고 있는데 이 과정은 필연적으로 워피지 문제를 키운다. 이로 인해 BSD는 HBM의 본딩 수율, NAND의 고단화 수율, 로직의 미세공정 안정성을 뒷받침하는 핵심 웨이퍼 형상 제어 장비로 쓰일 것으로 판단된다.

[그림1] Wafer Warpage 현상의 원리



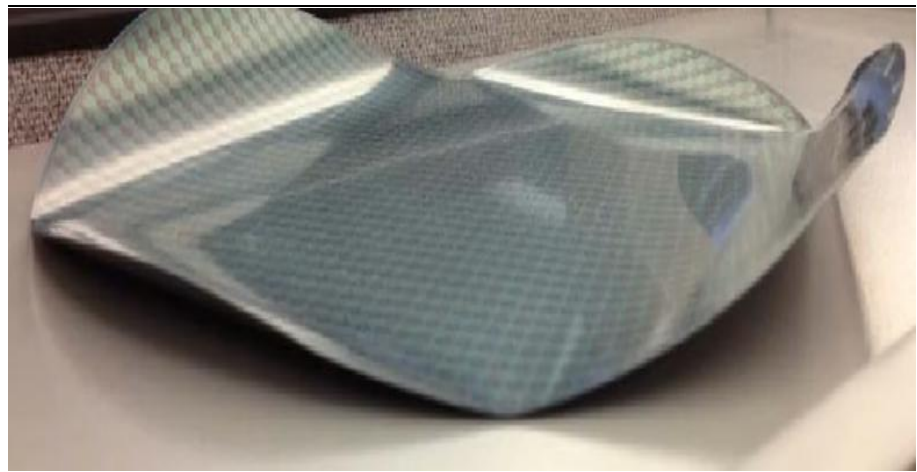
자료: Research Gate, 한화투자증권 리서치센터

[그림2] Layer 수에 따른 3D NAND의 Wafer Warpage 정도



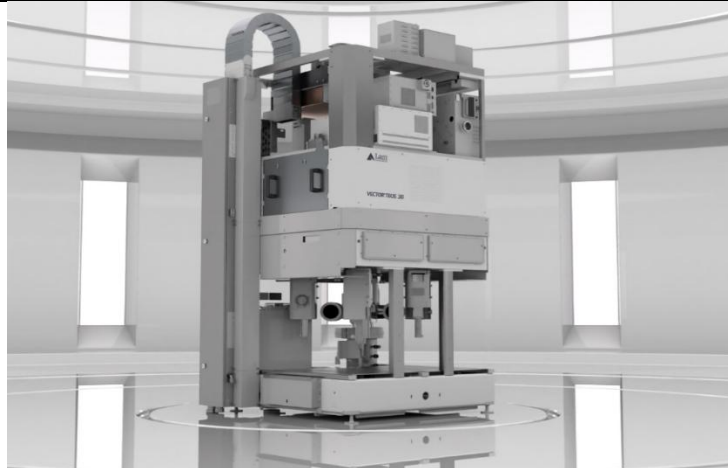
자료: KLA, 한화투자증권 리서치센터

[그림3] 실제 Wafer Warpage 현상



자료 Semantic Scholar, 한화투자증권 리서치센터

[그림4] Lam Research의 BSD 및 Deposition 장비군 Vector 시리즈



자료: Lam Research News Room, 한화투자증권 리서치센터

[ Compliance Notice ]

(공표일: 2026년 6월 2일)

이 자료는 조사분석 담당자 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성됐음을 확인합니다. 본인은 이 자료에서 다른 종목과 관련해 공표일 현재 관련 법규상 알려야 할 재산적 이해관계가 없습니다. 본인은 이 자료를 기관투자자 또는 제 3자에게 사전에 제공한 사실이 없습니다. (박준영, 김나우)  
저희 회사는 공표일 현재 이 자료에서 다른 종목의 발행주식을 1% 이상 보유하고 있지 않습니다.

이 자료는 투자자의 증권투자를 돕기 위해 당사 고객에 한하여 배포되는 자료로서 저작권이 당사에 있으며 불법 복제 및 배포를 금합니다. 이 자료에 수록된 내용은 당사 리서치센터가 신뢰할 만한 자료나 정보출처로부터 얻은 것이지만, 당사는 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없습니다. 따라서 이 자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과와 관련된 법적 책임소재에 대한 증빙으로 사용될 수 없습니다.

[ 종목 투자등급 ]

당사는 개별 종목에 대해 향후 1년간 +15% 이상의 절대수익률이 기대되는 종목에 대해 Buy(매수) 의견을 제시합니다. 또한 절대수익률 -15~+15%가 예상되는 종목에 대해 Hold(보유) 의견을, -15% 이하가 예상되는 종목에 대해 Sell(매도) 의견을 제시합니다. 밸류에이션 방법 등 절대수익률 산정은 개별 종목을 커버하는 애널리스트의 추정에 따르며, 목표주가 산정이나 투자의견 변경 주기는 종목별로 다릅니다.

[ 산업 투자의견 ]

당사는 산업에 대해 향후 1년간 해당 업종의 수익률이 과거 수익률에 비해 양호한 흐름을 보일 것으로 예상되는 경우에 Positive(긍정적) 의견을 제시하고 있습니다. 또한 향후 1년간 수익률이 과거 수익률과 유사한 흐름을 보일 것으로 예상되는 경우에 Neutral(중립적) 의견을, 과거 수익률보다 부진한 흐름을 보일 것으로 예상되는 경우에 Negative(부정적) 의견을 제시하고 있습니다. 산업별 수익률 전망은 해당 산업 내 분석대상 종목들에 대한 담당 애널리스트의 분석과 판단에 따릅니다.

[ 당사 조사분석자료의 투자등급 부여 비중 ]

(기준일: 2026년 3월 31일)

투자등급	매수	중립	매도	합계
금융투자상품의 비중	90.7%	9.3%	0.0%	100.0%