

SPIE 2021: Intel과의 연구결과 발표

Not Rated

김영건 younggun.kim.a@miraeasset.com

보고서 작성 배경

*SPIE: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers

논문 내용 요약

SPIE 2021 Advanced Lithography 학회에 동사 IRIS 장비 활용 연구결과 게재

- SPIE는 광학 분야의 권위있는 학회로 반도체 노광, 계측 분야의 최신 기술 동향 주도
- SPIE 2021에 국립공주대, **넥스틴, Intel 공저자의 계측(Metrology) 분야 논문 게재**

논문의 주요 내용: IRIS 장비를 이용해 얻은 Image를 통해 표면 내외의 결함 측정

• Intel의 3D NAND 생산 공정 중 Control Gate Recess (CGR) 공정상 결함에 주목

- Throughput과 비용적인 면에서 Non-destructive 광학 현미경 필요 → TSOM
 - TSOM data cube pixel 각각의 Ratio를 배경과의 명암비로 정의 → Parameter
 - TSOM data parameter와 결함의 사이즈와 높이가 높은 선형 상관관계 보임
→ **결함의 사이즈와 높이가 TSOM data로부터 곧바로 예측될 수 있다는 것을 의미**
 - TSOM을 통해 표면 아래 결함의 사이즈를 추정하는 데에도 유효 가능성 제기
 - **Wafer는 Intel에서 reference. 장비는 넥스틴의 IRIS(B/F wafer inspection) 사용**
- [논문의 결론]**
- Hole etch process를 모니터링 하는데 처음으로 NIR TSOM application 적용
 - Model-less TSOM 제안. 하나의 ‘Differential TSOM data cube’ 만으로 물성 예측
 - 이러한 방법을 적용하여 Under-surface 결함으로 부터 몇몇 흥미로운 특성 도출

실적전망 및 밸류에이션

21년은 중국 향 장비 매출 호조로 실적 성장. 향후 Intel향 장비 납품 가능성 확대

- 21년 예상매출액은 979억원, 영업이익은 470억원(OPM 48%)으로 추정
- **상기 내용은 결함의 감지 뿐 아니라 공정 개발에서의 활용도가 매우 높을 것으로 판단**
- 동사의 장비 및 결함 검사 알고리즘의 우수성 입증은 높은 밸류에이션 부여의 근거

Key data



Share performance

주가상승률(%)	1개월	6개월	12개월
절대주가	30.0	0.0	0.0
상대주가	36.1	0.0	0.0

Earnings and valuation metrics

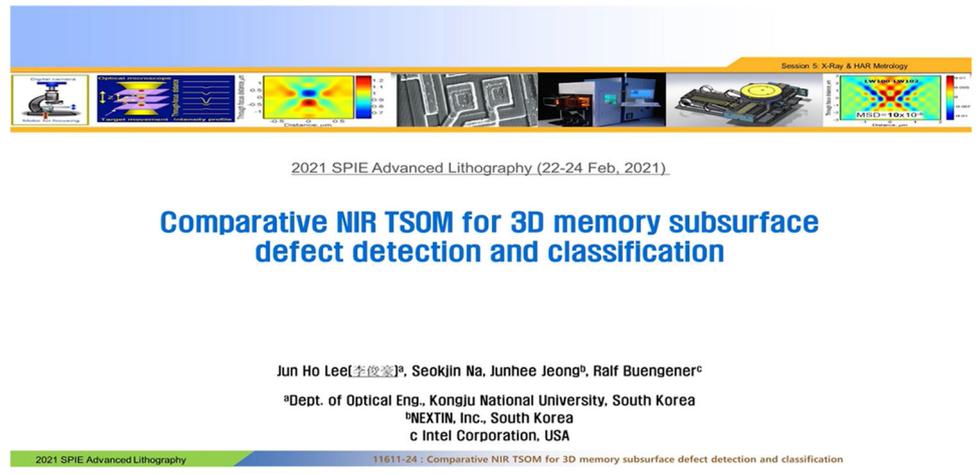
결산기 (19월)	2019
매출액 (십억원)	9
영업이익 (십억원)	-2
영업이익률 (%)	-22.2
순이익 (십억원)	-3
EPS (원)	-364
ROE (%)	-104.3
P/E (배)	0.0
P/B (배)	0.0
배당수익률 (%)	-

동사에 대한 투자 의사결정을 내림에 있어서 Cover page의 결론과 같이 동사의 기술력이 뛰어나다는 점을 인지하고, 높은 밸류에이션을 부여할 수 있다는 사실을 동의하면 충분하다. 이전 보고서에서 기술했듯이, 중국 반도체 업체의 투자 강세의 영향으로 21년 실적이 크게 개선될 것이기 때문이다. **다만, 기술적 측면에서 추가적인 이해를 원하는 투자자를 위해 해당 논문과 발표자료를 해설, 요약하여 포함하고자 한다.**

3D NAND 공급자들은 생산과 비용 측면에서 어려움을 겪고 있다. 특히, 고종횡비(High aspect ratio) Hole을 식각 하는 공정이 가장 까다롭고 핵심적인 공정이다. Intel의 3D NAND 구조는 Floating gate 구조를 기반으로 한다. [그림2]의 왼쪽은 **Intel의 공정 Flow를 보여주는 그림이다. 이 중 특히 Control Gate Recess (CGR) 공정에 주목했다.** 오른쪽 그림은 단면의 SEM 이미지다. 정상 두께의 Control gate와 얇고 짧아진 Control gate의 모습을 확인할 수 있고, 이 부분이 이번 논문에서 결함으로 감지하고자 하는 부분이다.

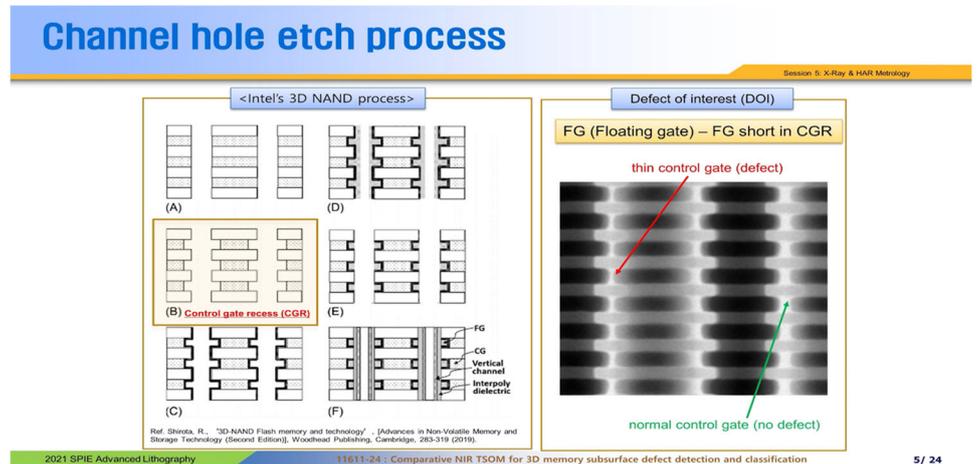
당 논문에서는 고종횡비 channel hole 식각 공정의 결과물을 검사(Inspection) 함에 있어서 새로운 한계점들에 대해 언급하고, **표면 하단부(Sub-surface)에 형성된 결함을 감지하고 분류하는데 비용 효율적이고 비파괴(Non-destructive) 검사가 가능하며 속도가 빠른 방식인 TSOM(Through-focus Scanning Optical Microscopy)를 소개하고 있다.**

그림 1. 논문 표제: NIR TSOM 활용한 3D memory 표면 이하 결함에 대한 감지와 분류



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

그림 2. Intel 3D NAND 공정. Channel Gate Recession 공정에서의 결함에 주목



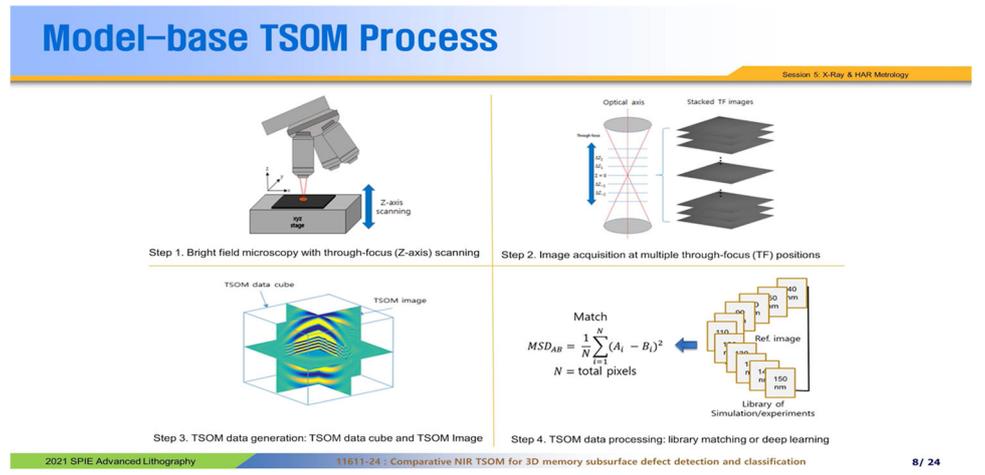
자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

3D NAND를 비롯한 3D Memory를 계측(Metrology) 및 검사(Inspection) 함에 있어 어려운 점은 결함이 소자의 내부에 위치하고 있다는 점이다. 기존에는 이러한 결함을 찾기 위해 소자를 한 Layer씩 깎아내며 불량 위치와 특성을 찾아내야만 했다. 그러나, **Throughput과 비용적인 면에서 소자를 변형하지 않고 불량 여부를 파악하는 Non-destructive 광학 현미경이 필요했다.**

기존의 Microscope는 In-focus image를 통해서만 정보를 수집한다. 반면, TSOM은 in-focus에서 정보를 모을 뿐만 아니라 의도적으로 Defocus한 image에서 정보를 수집한다. **TSOM 장비는 기본적으로 Bright field microscope이며, Multiple through-focus position에서 동시에 optical axis를 따라서 Wafer stage를 연속적으로 움직이며 다수의 이미지를 수집한다.** 누적 수집된 Data cube는 TSOM data cube로 불리우고, 이것의 optical axis를 따라서 자른 단면의 이미지를 TSOM image라 한다.

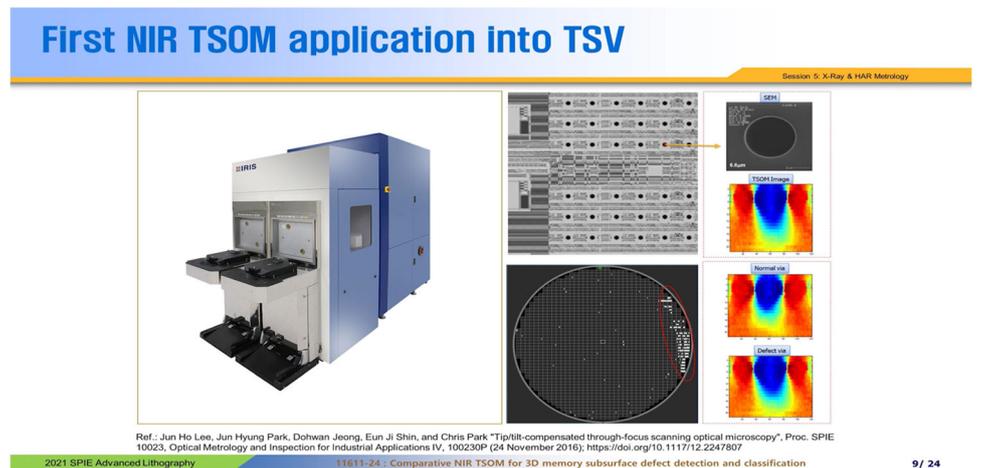
2016년에는 NIR 패턴 웨이퍼 Inspection tool (IRIS)이 micro scale TSV hole에 최초로 적용되었다. 비록 TSV를 조사한 TSOM study가 처음 보고되었을 때 우리는 주로 표면 근처 결함에 주목했고, 관심 스케일도 micron 수준이었으나, 지난해, Adaptive-optics supported TSOM 장비를 개발, 웨이퍼 표면을 Mechanical part의 이동 없이 Scan 할 수 있었다. **넥스틴과 삼성전자의 지원을 받았다.**

그림 3. Model 기반의 TSOM 공정 개요: 복잡한 계산 필요



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

그림 4. 2016년 최초로 TSV공정에 NIR TSOM을 적용한 사례: 넥스틴 IRIS 장비

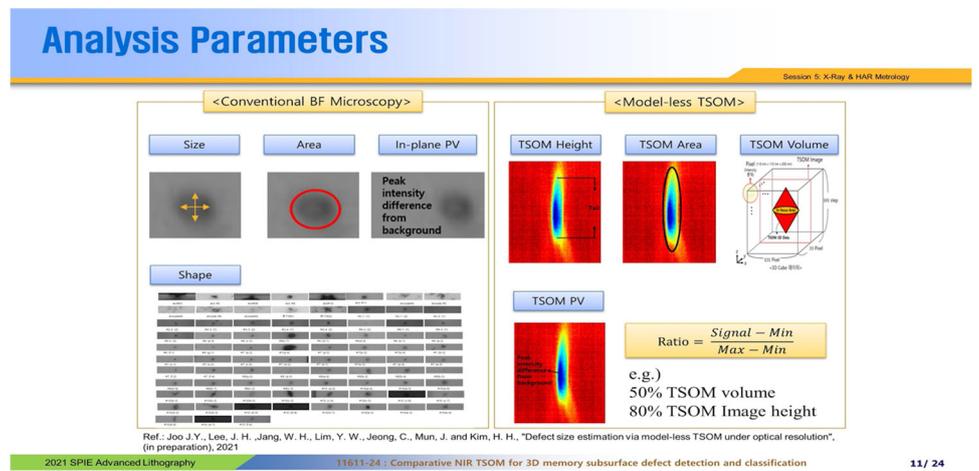


자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

당 연구에서는 또한 Model less TSOM method를 연구했다. 표면 결함의 사이즈와 높이를 예상하기 위해 TSOM data cube pixel 각각의 Ratio를 배경과의 명암비로 다음과 같이 $Ratio = (Signal - Min)/(Max - Min)$ 정의했다. 이와 같은 비율의 정의로 TSOM Height와 Volume을 정의했다. 특히, 50% TSOM volume은 가장 큰 폭의 차이의 절반보다 높은 값을 가지는 pixel들의 합을 의미한다.

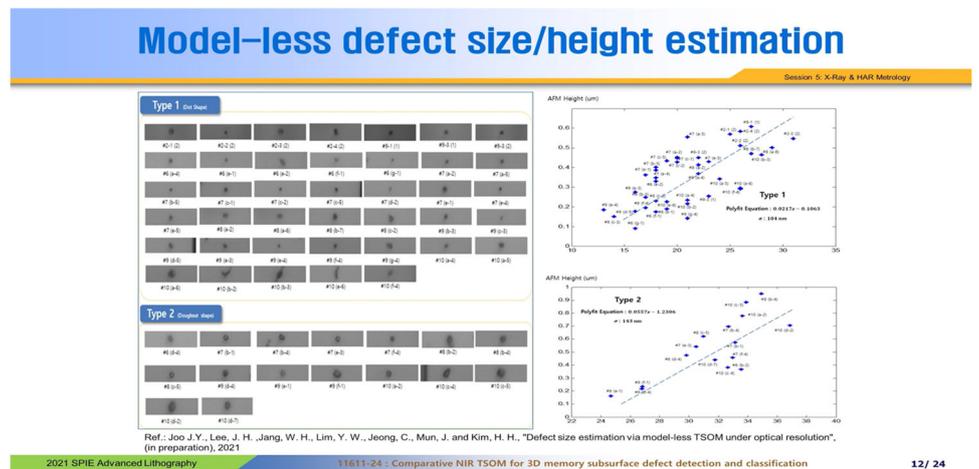
이 연구를 통해, 결함의 사이즈와 높이가 TSOM data parameter(50% TSOM volume, 70% TSOM height)와 높은 선형 상관관계를 갖는다는 사실을 발견했다. **이는 결함의 사이즈와 높이가 TSOM data로부터 곧바로 예측될 수 있다는 것을 의미한다.** 비록 이 연구가 표면상의 결함만을 대상으로 했음에도 불구하고, **표면 아래 결함의 사이즈를 추정하는 데에도 여전히 유효하다는 것을 추정할 수 있다.**

그림 5. TSOM data로 부터 특정 Ratio를 활용 Parameter 정의



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

그림 6. Parameter를 활용해 Model 없이 곧바로 결함의 크기와 높이 예측 가능



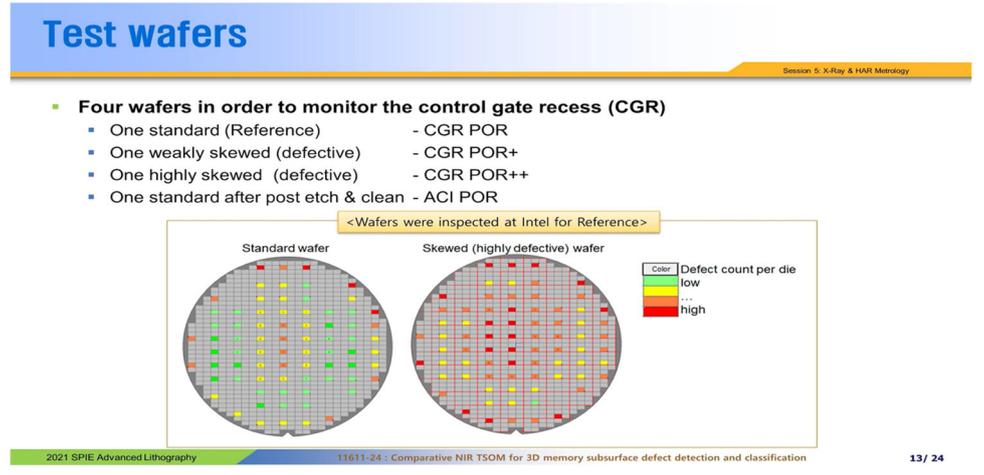
자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

The control gate recess process를 모니터하기 위해 4개의 Wafer 군을 테스트했다. Standard, Weakly skewed(defective), Highly skewed(defective), Standard wafer after post etch and clean (ACI) 이상 4가지다.

[그림7] Wafer는 Intel에서 inspect, reference 했다. 넥스틴의 IRIS라는 NIR bright field wafer inspection 장비를 사용했다. 초기 defect의 정의와 TSOM data acquisition 모두에 사용했다.

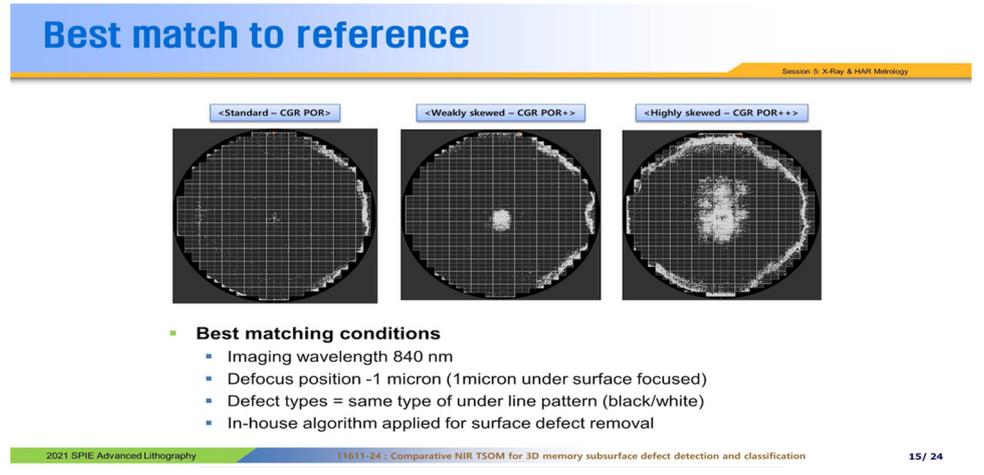
[그림8]은 세계의 웨이퍼에 defect map을 보이고 있는데, Intel에서 공급받은 reference와 매우 잘 일치한다. 주로 중심부와 가장자리에서 Skewed 될 수록 더욱 결함의 수가 증가하는 점을 명확히 확인했다. 그러나, 표면 아래(Under-surface)에 위치해 있는 결함 사이즈는 여전히 알지 못한다.

그림 7. Intel에서 reference한 Standard wafer와 결함 wafer



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

그림 8. TSOM data를 활용한 결과와 Intel reference data의 높은 일치율



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

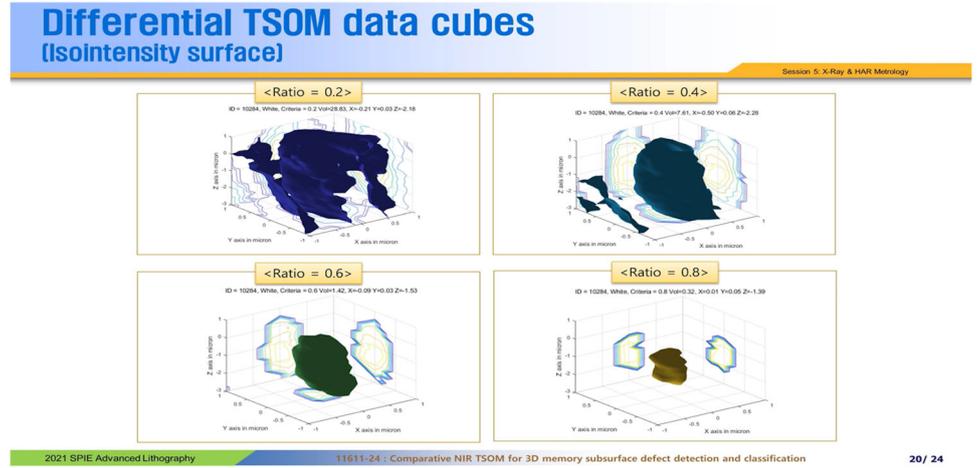
또한 결함의 중심위치를 정의하는데, 80% TSOM volume을 사용했다. [그림9] plot은 TSOM data cube의 동일 intensity surface를 나타낸다. Ratio value는 각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8의 결과다. 이 Plot은 Undersurface defect의 광학적 깊이를 보여준다.

[그림10]은 결함의 Data에 대해 x축은 normalized radial position이고, y축은 표면으로부터의 optical depth로 Plot한 것이다. 이 plot에서 발견한 흥미로운 점은 다음과 같다.

- 1) 일부 표면상의 결함은 여전히 Under surface defects로 분류된다.
- 2) 0 ~ -0.5 micron의 optical depth에서는 결함이 발견되지 않았는데, Hardmask 영역일 것이다.

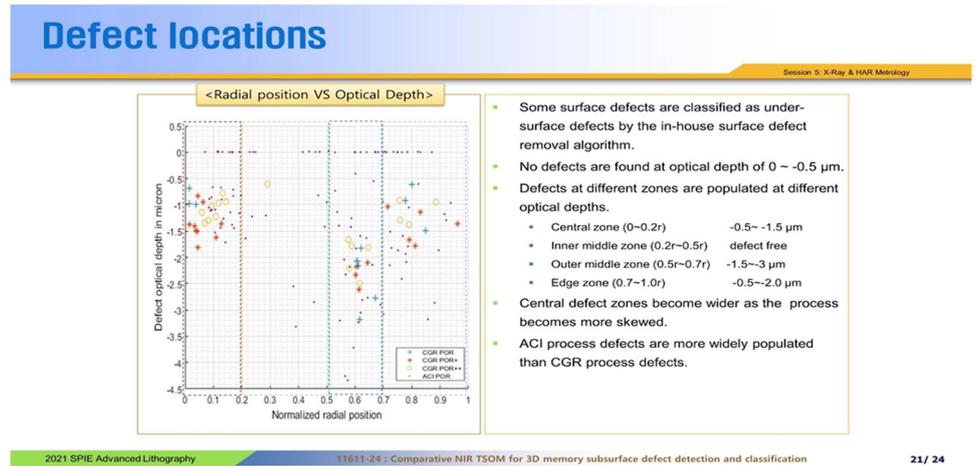
- 3) 다른 영역에서의 결함은 각기 다른 optical depth에서 집중 되어있다. 분류하기로는 Central zone, Inner middle zone, Outer middle zone Edge zone으로 분류했고, Central zone 에서는 depth $-0.5 \sim -1.5\mu\text{m}$ 에서, Inner middle zone에서는 depth $-1.5 \sim -3.0\mu\text{m}$ 에서, Edge zone에서는 depth $-0.5 \sim -2.0\mu\text{m}$ 에서 결함이 형성되었다.
- 4) Process가 보다 Skewed 될수록 Central zone이 점차 넓어졌다.
- 5) ACI process defects가 CGR process defects 보다 광범위하게 형성되었다.

그림 9. Differential TSOM data를 활용한 결함의 외형 측정



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

그림 10. TSOM data를 통한 결함의 특성 도출



자료: SPIE 2021, 미래에셋대우 리서치센터

[결론] 당 연구에서 처음으로 NIR TSOM application을 hole etch process를 모니터링 하는데 적용한 것을 공표했다(특히, Control gate recess process). 또한, Comparative model-less TSOM method를 제안했다. 이로부터 단지 하나의 Differential TSOM data cube로부터 몇몇 물리적 성질을 예측할 수 있었다. 이러한 방법을 적용하면 Undersurface defects의 몇몇 흥미로운 성질을 발견할 수 있었다.

Compliance Notice

- 당사는 자료 작성일 현재 조사분석 대상법인과 관련하여 특별한 이해관계가 없음을 확인합니다.
- 당사는 본 자료를 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- 본 자료를 작성한 애널리스트는 자료작성일 현재 조사분석 대상법인의 금융투자상품 및 권리를 보유하고 있지 않습니다.
- 본 자료는 외부의 부당한 압력이나 간섭없이 애널리스트의 의견이 정확하게 반영되었음을 확인합니다.

본 조사분석자료는 당사의 리서치센터가 신뢰할 수 있는 자료 및 정보로부터 얻은 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목 선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 조사분석자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다. 본 조사분석자료의 지적재산권은 당사에 있으므로 당사의 허락 없이 무단 복제 및 배포할 수 없습니다.