

KRISS/TR-2019-018

**TEM과 MEIS 기법을 이용한 nm 산화막 두께 측정가이드**

2019. 12

**한국표준과학연구원**

이 측정가이드는 측정·시험 절차가 없는 신제품(기술)에 대한 신뢰성 제고를 위해 개발되었습니다. 현재까지의 축적된 경험과 과학적 사실에 근거해 해당분야 전문가에 의해 작성되었고 새로운 과학적 타당성이 확인될 경우 언제든지 개정될 수 있습니다.

또한, 이 측정가이드에 기술된 내용은 권고사항으로 법적인 구속력을 갖지 않습니다. 제시된 방법은 최신의 규정과 과학적 근거를 바탕으로 기술한 것으로 추후 관련 규정 개정 및 과학의 발전으로 수정 될 수 있습니다.

이 측정가이드에 대한 의견이나 문의사항이 있을 경우 한국표준과학연구원 중소기업협력센터로 연락주시기 바랍니다.

전화번호: (042) 868-5781

## 측정가이드 제·개정 이력

개정 번호	일 시	개정사유	작 성 자	
			소 속	성 명
0	2019.10.01.	최초 제정	한국표준과학연구원	김경중
최종 제·개정 심의위원			대구 경북 과학 기술 원 (주) 케 이 맥 나 노 종 합 기 술 원 한국기초과학지원연구원	문대원 민원자 양준모 홍태은

※ 심의위원 명단은 '가나다' 순서임.

# 목 차

서 문	1
개 요	1
1. 적용범위	1
2. 인용표준	1
3. 용어의 정의	2
3.1 투과전자현미경	2
3.2 중에너지이온산란분광법	2
3.3 길이-단위 소급성 두께측정법	2
3.4 오프셋 소급성 두께측정법	2
3.5 상호보정법	2
4. 상호보정법에 의한 초박막 두께측정	2
4.1 상호보정법에 의한 두께측정 원리	2
4.2 길이 단위 소급성 박막두께측정법	3
4.3 오프셋 소급성 박막두께측정법	4
5. 장 치	5
5.1 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM)	5
5.2 중에너지이온산란분광기(MEIS)	5
6. 초박막 두께측정절차	6
6.1 두께측정용 초박막 시편 준비	6
6.2 길이단위 소급성 두께측정법(TEM)에 의한 두께측정	6
6.3 오프셋 소급성 두께측정법(MEIS)에 의한 두께측정	9
6.4 상호보정법에 의한 박막 두께 결정	10
6.5 측정불확도 산출	11
7. 시험 보고서	12
7.1 시험결과의 기록방법	12
7.2 시험 보고서에 일반적으로 포함하여야할 사항	12
해설서	13

# TEM과 MEIS 기법을 이용한 nm 산화막 두께 측정가이드

## Thin film thickness measurement guide - Thickness measurement of the nm scale oxide film by Transmission Electron Microscopy (TEM) and Medium Energy Ion Scattering Spectroscopy (MEIS) Techniques

### 서 문

이 측정가이드는 nm 산화막의 두께에 대해 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM)과 중에너지이온산란 분광법(MEIS)을 이용한 측정 방법을 제공한다. HR-TEM의 경우 실리콘 기판의 격자상수를 기준으로 두께를 정하므로 두께측정 소급성을 제공한다. 중에너지이온산란분광법은 약 100 keV의 중에너지 영역의 헬륨이온을 시료에 조사할 때 시료표면에서 산란되어 나오는 헬륨이온의 에너지별 세기를 분석함으로써 구성 원소의 종류, 정량 및 깊이분포를 분석하는 방법인데 수 nm 두께의 산화막인 경우 박막 성분 원소의 양을 분석 결과로 얻을 수 있으며, 이것이 박막의 두께에 비례하므로 초박막 두께측정에 매우 적합하다.

### 개 요

게이트 산화막(gate oxide)은 절연성이 있는 산화물 박막으로 반도체 소자에서 전자의 이동을 제어하는 역할을 한다. 반도체 산업 초기에는 게이트 산화막으로서 실리콘산화막( $\text{SiO}_2$ )이 주로 이용되었지만 최근에는 절연성이 높은 실리콘산화질화막( $\text{SiON}$ )이나 하프늄산화막( $\text{HfO}_2$ ) 등 유전율이 매우 높은 고유전 물질이 사용되고 있다. 반도체 소자의 크기가 미세화됨에 따라 더욱 얇은 두께의 산화막이 요구되고 있다. 특히 최근의 시스템 반도체 산업의 발전과 더불어 nm 산화막의 두께측정은 반도체 산업에서 가장 중요한 공정 분석 이슈 중의 하나이다. 이런 이유로 본 가이드라인에서는 nm 산화막의 두께를 신뢰성 있게 측정하는 방법을 확립하고자 한다.

### 1. 적용범위

대상 기술은 상호보정법 (Mutual Calibration)으로 현재 단일 측정기술로는 정확한 두께측정이 불가능한 nm 두께 영역의 산화막 두께를 정확하게 측정하기 위해 제안된 방식이다. 이는 길이-단위 소급성(length-unit traceability)을 갖는 박막 두께측정 기술과 오프셋 소급성(offset traceability)을 갖는 박막 두께측정 기술의 장점을 이용하여 산화막의 두께를 측정하는 방법이다. 즉 동일한 증착법에 의해 성장되어 특성이 동일하고 단지 두께가 다른 일련의 산화막의 두께를 TEM 등 길이-단위 소급성을 갖는 박막 두께측정기술과 엑스선광전자분광법(XPS) 등 오프셋 소급성을 갖는 박막 두께측정 기술을 이용하여 nm 산화막의 두께를 측정하는 방법이다.

### 2. 인용표준

ISO-4701, Surface chemical analysis - X-ray photoelectron spectroscopy - Measurement of silicon oxide thickness

ISO-20263, Microbeam analysis - Analytical electron microscopy - Method for the determination of interface position in the cross-sectional image of the layered materials

### 3. 용어의 정의

- 3.1 투과전자현미경 (Transmission Electron Microscope: TEM) 전자총에서 방출된 전자를 매우 얇은 시료에 조사할 때, 시료를 투과한 투과전자를 전자렌즈에 의해 확대하여 상을 만들고, 이 상을 형광판에 맺게 하여 영상을 형성하는 현미경.
- 3.2 중에너지이온산란분광법 (Medium Energy Ion Scattering Spectrometry: MEIS) 주로 가벼운 이온( $H^+$ ,  $He^+$ )을 중에너지 영역(100 ~ 500 keV)의 동일 에너지로 가속시켜 시료에 입사시키면 입사이온이 시료 표면의 원자핵과 충돌하여 산란되며, 산란된 입자의 세기를 에너지별 및 산란 각도별로 측정하여 수 nm 영역에 해당하는 표면 원자층의 조성 및 두께, 구조 등을 분석하는 방법.
- 3.3 길이 단위 소급성 두께측정법 (length-unit traceable thickness measurement method) 물리적인 길이 기본단위 (m)에 근거하여 박막의 두께가 정해지는 방법으로 단결정 실리콘의 격자상수를 기준으로 두께를 결정하는 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM)이나 엑스선의 파장으로 부터 두께가 결정되는 엑스선반사율측정법(XRR)이 대표적인 길이 단위 소급성 박막두께측정법.
- 3.4 오프셋 소급성 두께측정법 (offset traceable thickness measurement method) 박막의 실제 두께가 0이 될 때 측정 두께가 0이 되는 두께측정법을 의미한다. XPS나 MEIS가 대표적인 오프셋 소급성 박막두께측정법인데 이들의 경우 박막성분의 화학적인 양을 두께로 변환하는 방법 이므로 박막이 없을 경우 그 두께는 0이 됨.
- 3.5 상호보정법 (mutual calibration method) 상호보정법에 의한 박막 두께측정은 두께가 다른 일련의 산화막에 대해 오프셋 소급성을 갖는 두께측정법 (XPS 및 MEIS)에 의한 두께측정 결과를 x축으로 하고 물리적인 길이 단위 소급성을 갖는 두께측정법 (TEM 및 XRR)에 의한 두께측정 결과를 y축으로 하여 도시한 후 선형피팅을 하여 보정함으로써 두께를 결정하는 방법.

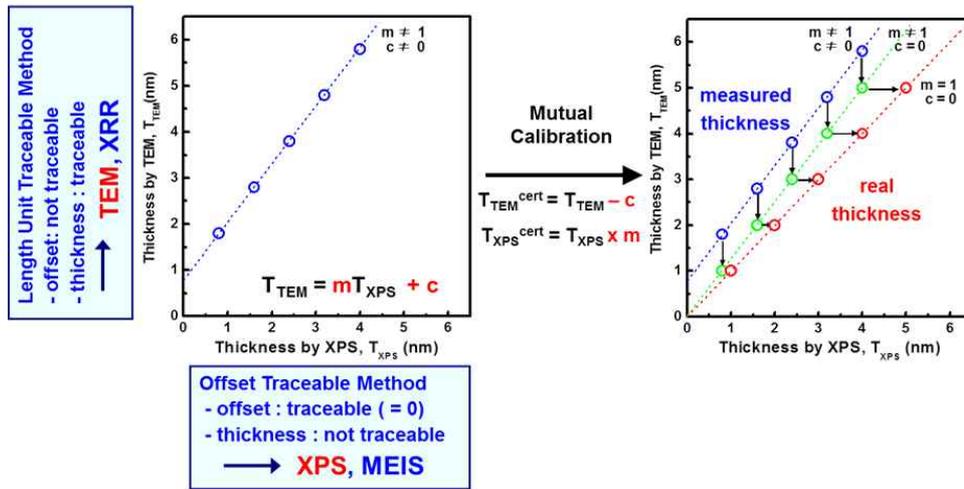
**비고** 이 측정가이드에서 사용한 용어들은 기본적으로 KS D ISO 18115:2001 표면화학분석-용어정의를 따름.

### 4. 상호보정법에 의한 초박막 두께측정

#### 4.1 상호보정법에 의한 두께측정 원리

상호보정법에 의한 산화물 박막 두께측정은 오프셋 소급성을 갖는 두께측정법(XPS 및 MEIS)에 의한 두께측정 결과를 x축으로 하고 물리적인 길이 단위 소급성을 갖는 두께측정법(TEM 및 XRR)에 의한 두께측정 결과를 y축으로 하여 도시한 후 선형피팅을 함으로써 두께가 다른 일련의 산화막으로부터 두께를 결정하는 방법이다.

<그림 1>과 같이 하나의 오프셋 소급성 두께측정법(예 XPS)과 또 하나의 길이단위 소급성 두께측정법(예: TEM)에 의해 측정된 두께(measured thickness)를 선형피팅하면 상호 보정계수인 기울기(m)와 오프셋(c)이 구해지는데 이로부터 (b)와 같이 길이단위 소급성 두께측정법(TEM)에 의한 두께에서 오프셋 값을 빼주어 TEM 두께를 보정하고, 오프셋 소급성 두께측정법(XPS)에 의한 두께에 기울기를 곱하여 XPS 두께를 보정한 후 두 값을 평균함으로써 실제두께(real thickness)를 구할 수 있다.



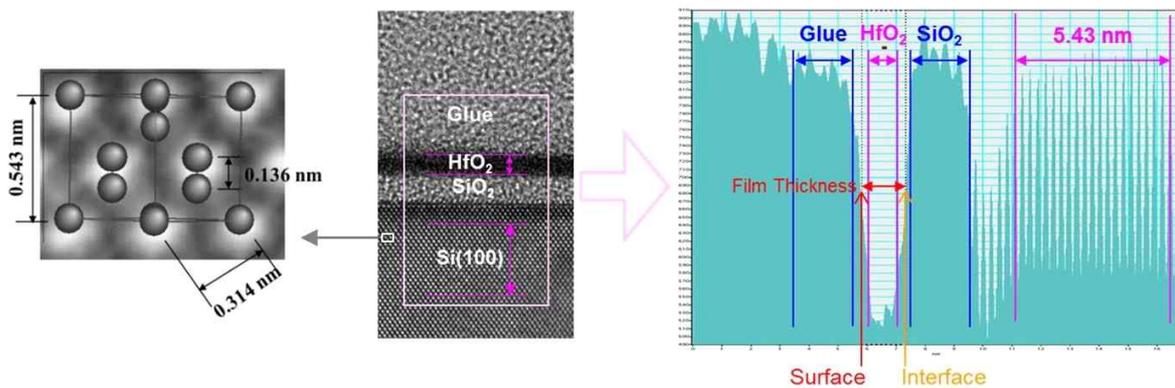
<그림 1> 상호보정법으로 산화막의 두께를 결정하는 원리

#### 4.2 길이-단위 소급성 박막두께측정법

길이-단위 소급성 박막 두께측정법이란 박막의 물리적인 두께가 SI 길이 단위(m)에 근거하여 정해지는 방법이다. 기판으로 사용된 단결정 실리콘의 격자상수를 기준으로 두께를 결정하는 HR-TEM이나 엑스선의 파장으로부터 두께가 결정되는 XRR이 대표적인 길이-단위 소급성 박막 두께측정법이다. XRR에 의한 두께측정은 표면산화막의 영향을 받기 때문에 본 측정 가이드에서는 표면산화막의 영향을 받지 않는 HR-TEM을 길이-단위 소급성 두께측정법으로 활용하고자 한다.

HR-TEM에 의한 초박막 두께측정의 경우 <그림 2>와 같이 Si(100) 기판의 수직 단면에서 <110> 방향으로 관찰되는 {100}면의 면간거리인 격자상수(=0.543 nm)를 기준으로 두께를 측정하므로 길이-단위 소급성을 가진다. 이 때 TEM 영상에서 일정 구간에 대해 결정격자면과 수평한 라인의 평균 명암 대비로 일정구간의 명암세기 분포도가 얻어지는데 접착제(glue), HfO<sub>2</sub> 박막 및 SiO<sub>2</sub> 박막의 평균 명암 세기의 중간이 되는 지점을 표면 및 계면으로 정의하여 그 간격으로부터 HfO<sub>2</sub> 박막의 두께를 정할 수 있다.

이렇게 정해진 표면과 계면이 실제 위치와 다를 수 있지만 모든 박막에 대해 동일한 기준으로 두께를 측정한다면 원래 위치에서 같은 방향으로 표면 및 계면의 위치가 정해져 동일한 방향 및 동일한 두께 차이 즉 두께 오프셋이 형성되는데 그 크기는 상호보정법으로 유추해 낼 수 있다.

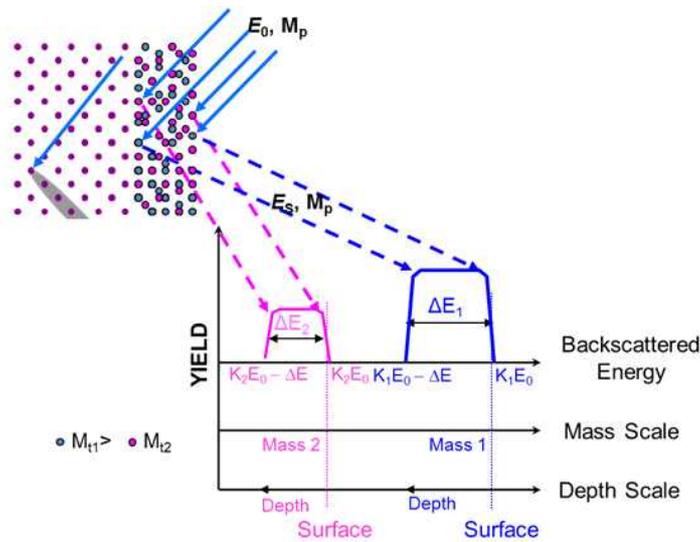


<그림 2> TEM을 이용하여 Si(100) 기판 위에 성장된 HfO<sub>2</sub> 박막의 두께를 측정하는 방법

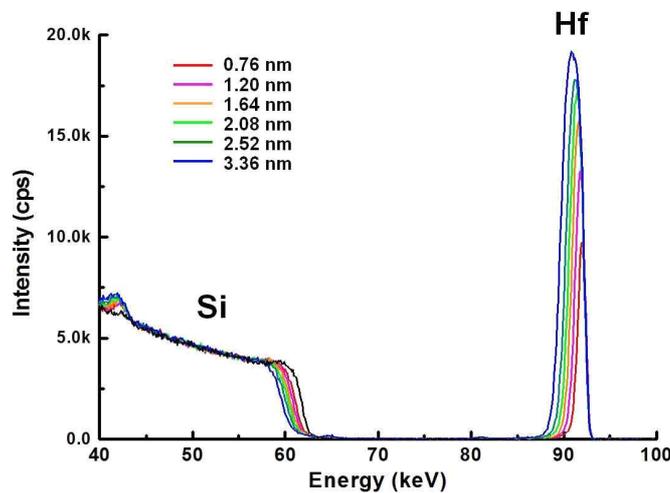
### 4.3 오프셋 소급성 박막 두께측정법

오프셋 소급성 박막두께측정법은 박막의 실제 두께가 0일 때 측정 두께가 0이 되는 두께측정법을 의미한다. XPS나 MEIS가 대표적인 오프셋 소급성 박막두께측정법인데 이들의 경우 박막성분의 화학적인 양을 두께로 변환하는 방법이므로 박막이 없을 경우 그 두께는 0이 된다. 그러나 XPS의 경우 표면 산화막의 영향 및 광전자 에너지 차이에 따른 비탄성자유행로 차이 등의 영향을 받으므로 본 가이드에서는 MEIS를 대표적인 오프셋 소급성 박막두께측정법으로 활용하고자 한다.

MEIS에 의한 초박막 두께측정의 경우 <그림 3>과 같이 박막성분의 피크너비 또는 면적에 의해 박막두께가 구해질 수 있다. 그러나 박막두께가 얇아지면 <그림 4>와 같이 피크면적이 감소하며 두께가 0에 다다르면 그 두께도 0에 수렴하므로 오프셋 소급성을 가진다. 즉 시료표면에 입사된 후 산란되어 나오는 이온의 숫자는 박막 내 성분 원소의 양에 비례하므로 박막성분 원소의 개수를 측정할 수 있고 박막성분의 원자밀도로부터 두께가 측정된다.



<그림 3> MEIS에 의한 박막물질의 조성 및 두께측정 방법



<그림 4>  $HfO_2$  박막의 MEIS 스펙트럼

## 5. 장 치

시험 장치는 길이-단위 소급성을 갖는 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM)과 오프셋 소급성을 갖는 중에너지이온산란분광기(MEIS)로 구성된다.

### 5.1 고분해능 투과전자현미경 (HR-TEM)

투과전자현미경은 고분해능 영상 관찰이 가능한 것으로 한국표준과학연구원이 보유하고 있는 Tecnai G2 F30 (FEI) 등이 활용될 수 있는데 이 경우 이온총은 전계방출형 전자총이며 전자빔의 가속전압은 300 kV이다.



<그림 5> 투과전자현미경 Tecnai G2 F30 (FEI)

### 5.2 중에너지이온산란분광기 (MEIS)

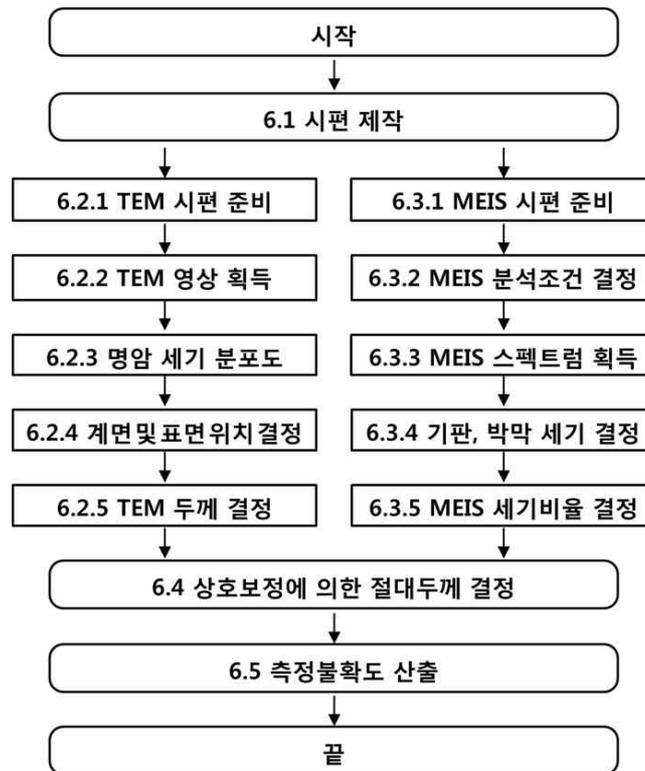
산화막 두께측정에 사용되는 중에너지이온산란분광기(MEIS)는 국내 장비업체인 케이맥(주)이 제작한 MEIS K-120으로 에너지는 100 keV이고 빔 크기는 30  $\mu\text{m}$  정도로 국소 영역의 분석이 가능하다. MEIS에 의한 박막의 두께측정은 표면 오염층의 영향이 적으므로 초고진공일 필요는 없지만 입사 이온빔의 제어 및 고정밀 분석을 위해서는 높은 진공도가 요구된다.



<그림 6> 중에너지이온산란분광기 MEIS K-120 (KMAC)

## 6. 초박막 두께측정 절차

산화막의 두께를 측정하기 위해서는 그 기준이 필요한데 이를 위해 박막의 두께를 인증하는 것이 필요하다. 이를 위해 합리적인 방법으로 박막의 특성은 동일하고 두께만 다른 일련의 초박막 시편을 제작하고 그림 7과 같은 절차에 따라 길이단위 소급성을 가진 박막 두께측정법(TEM)과 오프셋 소급성을 가진 박막 두께측정법(MEIS)을 융합하는 상호보정법을 이용하여 박막의 두께를 측정함으로써 두께를 인증하여야 한다.



<그림 7> 초박막 두께측정 순서도

### 6.1 두께측정용 초박막 시편 준비

#### 6.1.1 박막 두께측정을 위한 기판 선택

박막의 두께를 측정하기 위해서는 두께 인증의 기준이 되는 격자상수를 활용할 수 있도록 단결정 Si(100)기판 위에 증착되는 것이 바람직하다.

#### 6.1.2 박막 두께측정용 초박막 증착법 선택

두께측정을 위한 시편제작에는 열산화법, 화학기상증착법, 물리적기상증착법 및 원자층증착법이 활용될 수 있다. 6인치 이상의 웨이퍼 위에서의 증착이 바람직하고 다이싱 등에 의해 일정 크기로 절단이 용이해야 하며 웨이퍼 내 증착 위치에 따라 박막두께의 편차가 적어야 한다.

### 6.2 길이단위 소급성 두께측정법(TEM)에 의한 두께측정

#### 6.2.1 TEM 시편 준비

HR-TEM에 의해 박막두께를 측정하기 위해서는 시편의 단면(Cross-section)을 관찰할 수 있도록 분석시편을 제작하여야 한다. 결정성 실리콘 기판에 증착된 박막시편에 일반적으로 이용되는 시편

제작 방법은 아래와 같이 접착을 이용한 고전적인 시편제작법이나 집속이온빔에 의한 미세시편 제작법이 활용될 수 있다.

#### 6.2.1.1 이온밀링 TEM 시편제작법

이온밀링 시편제작법은 아래와 같이 접착제를 이용하여 박막시편을 마주보게 접합한 후 후속 절차에 따라 시편을 제작하는 방법이다.

- 시편절단(cutting)
- 절단된 시편의 접합(bonding)
- 접합된 시편의 단면절단(slicing)
- 단면절단된 시편의 디스크형 절단(ultrasonic disk cutting)
- 연마(thinning)
- 딩플링(dimpling)
- 이온밀링(ion milling)

#### 6.2.1.2 집속이온빔에 의한 TEM 시편 제작법

집속이온빔(Focused Ion Beam: FIB)에 의한 TEM 시편 제작은 미세하게 집속된 이온빔을 이용하여 분석하고자 하는 영역을 직접 가공하여 시편을 제작하는 방법이다.

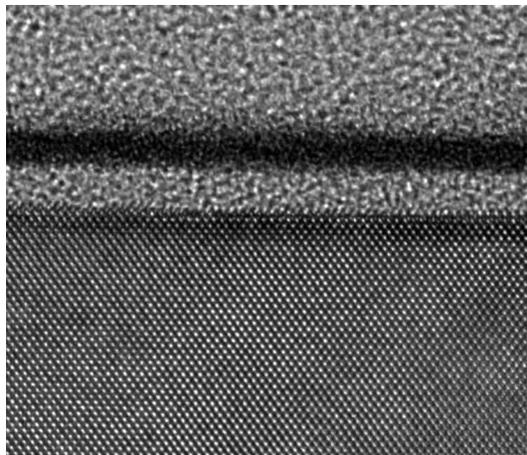
### 6.2.2 고분해능 TEM 이미지 관찰

#### 6.2.2.1 TEM 분석 조건 최적화

- 시편 장착 후 외부 및 내부 요인에 의한 이미지 드리프트(drift)가 최소화될 수 있도록 한다.
- 시편의 기판 영역에서 투과전자현미경을 정렬한다. 특히, 이미지 획득 시 명암대비가 관찰 전 영역에서 최적화 되도록 전자빔을 조절한다.
- 실험실 환경에 최적화된 가속전압 조건으로 한다 (안정적인 가속전압 선택).

#### 6.2.2.2 배율 결정

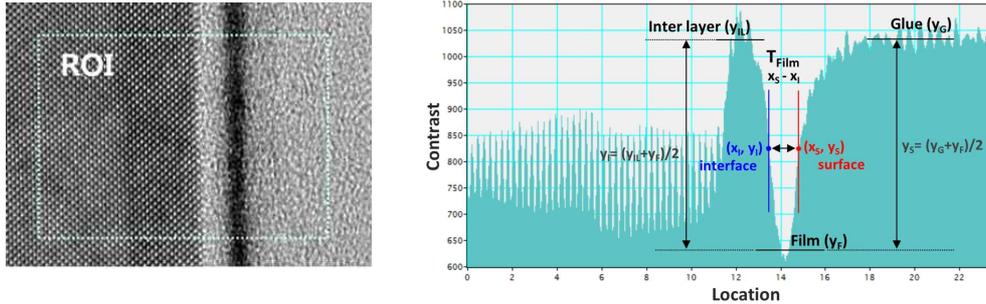
- 실리콘 기판의 격자 모양이 선명하게 관찰되도록 배율을 설정한다.(일반적으로 40만배 이상)
- 관찰하고자 하는 배율에서 빔을 펼쳐 박막 위치에 초점을 맞추고 실리콘 기판 격자와 박막 및 접착제 부분이 적절한 명암 대비를 갖도록 초점을 조정 후 이미지를 촬영한다.
- 통계 처리를 위해 5회 이상 다른 위치에서 TEM 영상을 촬영한다.



<그림 8> 고분해능 TEM 영상의 예

### 6.2.3 명암세기 분포도 (contrast intensity profile)

- Si 격자가 선명하게 잘 형성된 TEM 영상을 선정한다.
- 분석영역(ROI)의 적분구간(integration width)을 1000 이상으로 설정한다.
- 박막과 Si 기판격자 배향이 수평이 되도록 방향을 설정하여 명암세기분포도를 얻는다.



<그림 9> TEM을 이용하여 Si(100) 기판 위에 성장된 박막의 두께를 측정하는 방법

### 6.2.4 계면 및 표면 위치 결정

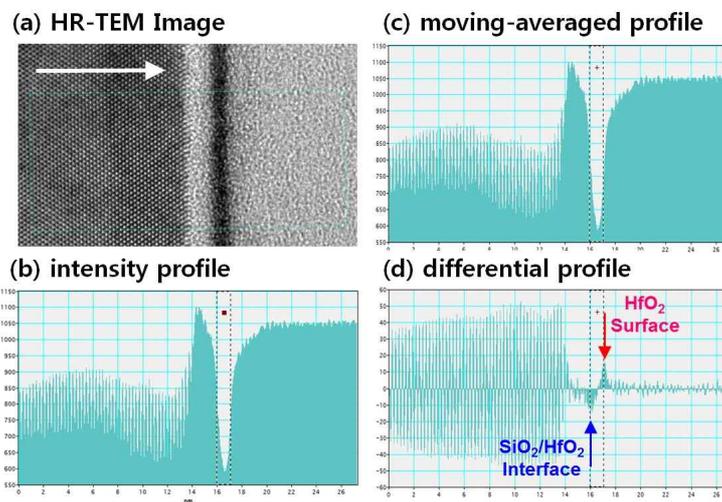
박막 계면 및 표면의 위치는 다음과 같이 평균명암세기법(6.2.4.1)이나 미분법(6.2.4.2) 중 하나를 택하여 결정하는데 수 nm 두께의 아주 얇은 박막의 경우 평균명암세기법 사용을 권한다.

#### 6.2.4.1 평균명암세기법에 의한 결정 (그림 10)

- Glue 부분 평균명암세기( $y_G$ ) 결정(평균할 데이터 수는 임의로 30 개 이상)
- 박막 ( $\text{HfO}_2$ ) 평균명암세기( $y_F$ ) 결정(평균할 데이터는 박막 중간 부분에서)
- 중간층 평균명암세기( $y_{IL}$ ) 결정(평균할 데이터는 중간층 중간 부분에서)
- 계면 위치( $x_I, y_I$ ) 결정,  $y_I = (y_{IL} + y_F) / 2$
- 표면 위치( $x_S, y_S$ ) 결정,  $y_S = (y_G + y_F) / 2$

#### 6.2.4.2 미분법에 의한 결정 (그림 10, ISO-20263)

- 명암세기 분포도(contrast intensity profile)를 5~11 point 평균화 과정(averaging)을 거쳐 평균 분포도(moving average profile)로 변환한다.
- 계면과 표면 영역의 변곡점으로부터 표면과 계면의 위치를 정한다.



<그림 10> TEM을 이용하여 Si(100) 기판 위에 성장된 박막의 두께를 측정하는 방법

### 6.2.5 박막 두께 결정

- 6.2.4에서 정해진 계면과 표면 간의 거리로부터 박막 두께를 결정한다.

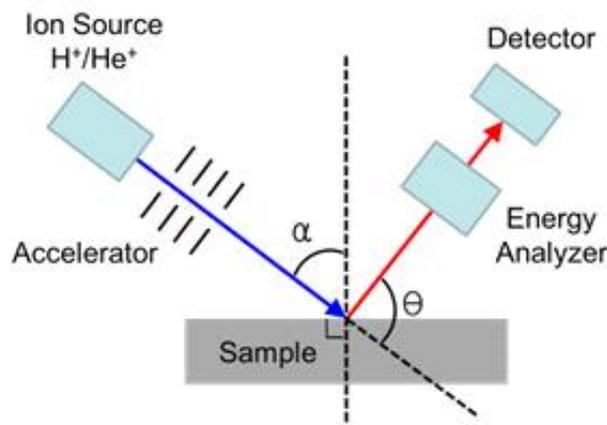
## 6.3 오프셋 소급성 두께측정법(MEIS)에 의한 두께측정

### 6.3.1 MEIS 시편 준비

중에너지이온산란분광기(MEIS)에 의한 박막 두께측정을 위한 시편의 경우 분석정밀도 및 정확도를 높이기 위해 표면 오염층을 제거한 후 시편 장착기에 장착한다.

### 6.3.2 분석 조건 결정

- 분석하고자 하는 박막의 구조 및 분석원소의 질량 등 조건에 따라 헬륨 이온빔 에너지, 입사각 (incident angle:  $\alpha$ ) 및 산란각 (scattering angle:  $\theta$ ) 등의 분석조건을 최적화한다.
- 정량 분석을 위해서는 시료의 결정성에 영향을 받지 않도록 비결정성 스펙트럼(random spectrum)을 얻어야 한다. 기판 또는 박막이 결정 시료인 경우에 비결정성 스펙트럼은 일반적으로 시료면의 수직방향을 축으로 시료를 회전시키면서 얻게 되는데, 회전만으로 모든 입사각과 산란각에서 결정효과를 없앨 수 없으므로, 동일 성분의 비정질 시료와 결정질 시료의 스펙트럼이 동일하게 측정되는 입사각 및 산란각을 주의하여 선택하여야 한다.



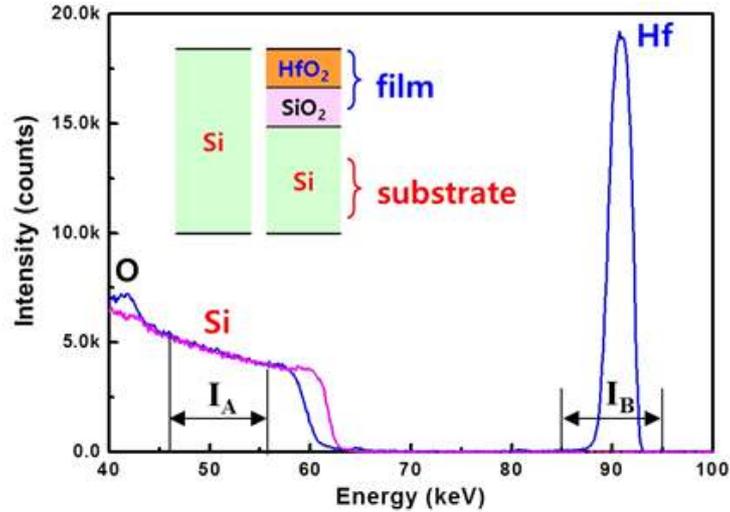
<그림 11> MEIS 분석 조건인 입사각 및 산란각 등의 개요

### 6.3.3 MEIS 스펙트럼 획득

- 산란입자의 에너지별 검출효율이 동일하도록 검출기의 전압을 적절하게 조절한다.
- 가속전압 및 이온빔 전류 변화가 최소화되도록 이온소스, 전원, 검출기 등을 충분히 예열한다.
- 최적화된 이온빔 에너지, 입사각 및 산란각에서 비결정성 MEIS 스펙트럼을 획득한다.
- 절연시료의 경우 전자조사총(e-flood gun)을 사용하여 시료표면의 전하축적을 방지하여야 한다.
- 충분한 신호를 얻도록 측정시간을 조절하고 통계처리를 위해 3회 이상 분석을 반복한다.

### 6.3.4 기판, 박막 세기 결정

- 일정 에너지 구간의 기판 신호세기를 적분하여 기판 신호세기( $I_A$ )를 구한다. 이 때 기판의 에너지 구간은 그림 13과 같이 박막영역이 배제되고 박막 성분원소가 포함되지 않으며 다중충돌의 영향이 적은 고에너지 영역으로 한다. 또한 모든 시편에 동일한 에너지 구간이 적용되어야 한다.
- 또한 박막 성분원소의 신호세기가 얻어지는 전 구간을 적분하여 박막 신호세기( $I_B$ )를 구한다.



<그림 12> MEIS 스펙트럼에서 기판 신호세기( $I_A$ ) 및 박막 신호세기( $I_B$ )를 구하는 방법

### 6.3.5 MEIS 세기비율 결정

- 얻어진 모든 박막의 스펙트럼으로부터 표 1과 같은 형식으로 기판 신호세기( $I_A$ )와 박막 신호세기( $I_B$ )로부터 MEIS 세기비율( $R_{MEIS}=I_B/I_A$ )을 구한다.

표 1 기판 신호세기( $I_A$ ), 박막 신호세기( $I_B$ ) 및 그 세기비율( $R_{MEIS}$ ) 측정의 예

Measurement	1	2	3	4	5	6	
1	$I_A$	456,211	456,813	457,875	458,174	459,707	462,033
	$I_B$	111,006	175,448	239,460	303,839	369,497	500,151
	$R=I_B/I_A$	0.2433	0.3841	0.5230	0.6632	0.8038	1.0825
2	$I_A$	456,968	455,821	457,874	458,486	458,420	461,614
	$I_B$	111,259	175,679	238,932	303,589	368,062	500,280
	$R=I_B/I_A$	0.2435	0.3854	0.5218	0.6622	0.8029	1.0838
3	$I_A$	457,262	456,454	458,058	457,814	459,414	461,386
	$I_B$	111,185	176,238	238,702	303,155	367,120	502,713
	$R=I_B/I_A$	0.2432	0.3861	0.5211	0.6622	0.7991	1.0896
Average of R	0.2433	0.3852	0.5220	0.6625	0.8019	1.0853	
Stdev of R	0.0002	0.0010	0.0009	0.0006	0.0025	0.0038	
RSD of R (%)	0.07	0.27	0.18	0.09	0.31	0.35	

## 6.4 상호보정법에 의한 박막 두께 결정

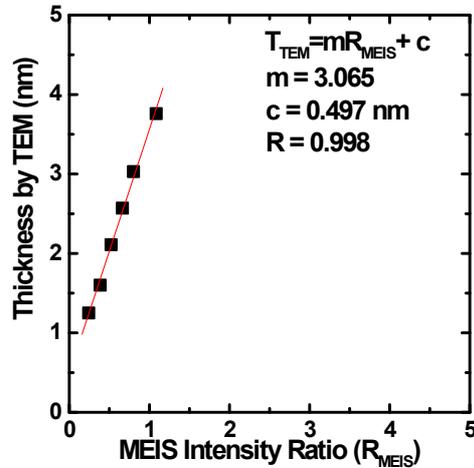
### 6.4.1 상호보정법 적용

그림1에 나타낸 바와 같은 방식으로 상호보정법을 이용하여 두께를 결정하기 위해 TEM에 의한 두께측정 결과를 y축으로 하고 MEIS 세기비율( $R_{MEIS}$ )을 x축으로 하여 선형피팅을 하여 그 기울기(m)와 오프셋(c)을 구한다.

### 6.4.2 TEM 두께 보정

6.2.5 (박막두께 결정)의 TEM 두께에서 6.4.1(상호보정법 적용)에서 구해진 오프셋 값 ( $c = 0.497$  nm)을 빼주어 보정된 TEM 두께( $T_{TEM}^c$ )를 구한다.

$$\text{측정 예: } T_{TEM}^c = T_{TEM} - 0.497 \text{ nm}$$



<그림 13> TEM에 의한 두께측정 결과와 MEIS 세기비율( $R_{MEIS}$ )의 선형피팅 예

#### 6.4.3 MEIS 두께 보정

6.3.5 (기판 및 박막의 MEIS 세기비율 결정)에서 결정된 MEIS 세기비율( $R_{MEIS}=I_B/I_A$ )에 6.4.1 (상호보정법 적용)에서 구해진 기울기 값( $m=3.065$ )을 곱하여 보정된 MEIS 두께( $T_{MEIS}^C$ )를 구한다.

$$\text{측정 예: } T_{MEIS}^C = R_{MEIS} \times 3.065 \text{ nm}$$

#### 6.4.4 상호보정법에 의한 박막 두께 결정

6.4.2 (TEM 두께 보정)에서 정해진 보정된 TEM 두께( $T_{TEM}^C$ )와 6.4.3 (MEIS 두께 보정)에서 결정된 보정된 MEIS 두께( $T_{MEIS}^C$ )의 평균값으로부터 인증두께( $T_{cer}$ )를 구한다.

$$\text{측정 예: } T_{cer} = (T_{TEM}^C + T_{MEIS}^C) / 2$$

### 6.5. 측정불확도 산출

#### 6.5.1 TEM 측정 표준불확도

- TEM 측정 표준불확도는  $u_{TEM}^2 = u_m^2 + u_L^2 + u_T^2$  으로 표현된다.
- $u_m$ : 유한한 측정 횟수에 의한 불확도로 측정 표준편차(standard deviation)을 측정 횟수의 제곱근으로 나눈 A형 불확도
- $u_L$ : Si(100) 면간 간격 측정 시 표준불확도
- $u_T$ : 계면 및 표면 위치 결정 시 표준불확도

#### 6.5.2 MEIS 측정 표준불확도

- 상호보정법에서 MEIS 측정 표준불확도( $u_{MEIS}$ )는 단순히  $u_{MEIS}^2 = u_R^2$  으로 표현된다.
- $u_R$ :  $R_{MEIS}$  측정 불확도로 측정 표준편차를 측정 횟수의 제곱근으로 나눈 A형 불확도

#### 6.5.3 박막 두께측정 확장불확도

- 박막 두께측정 표준불확도( $u$ )는  $u^2 = u_{TEM}^2 + u_{MEIS}^2$  으로 표현된다.
- 박막 두께측정 확장불확도( $U$ )는  $U^2 = k u^2$  (포함인자  $k = 2$ , 95 % 신뢰 수준)

#### 6.5.4 시험결과의 기록

시험데이터에는 시험 당시의 온도, 상대습도, 시험명, 시험번호, 의뢰기관 정보 등 보고서 작성에 필요한 모든 사항들을 기록한다.

### 7. 시험 보고서

측정결과에 대한 시험보고서에는 8.2에 명시된 항목을 포함한다.

#### 7.1 시험결과의 기록방법

- a) 의뢰기관, 시험번호, 샘플명 및 조성
- b) 시험자, 시험일자, 시험환경(온도 및 습도), 시험의뢰자의 성명, 전화번호
- c) 사용한 분석 장비

#### 7.2 시험 보고서에 일반적으로 포함하여야 할 사항

- a) 의뢰기관 이름
- b) 시험품명, 제작회사, 접수일자, 시험일자
- c) 시험환경 (온도 및 상대습도)
- d) 시험방법, 시험담당자 (이름 및 전화번호)
- e) 시험결과 및 사용 장치의 불확도
- f) 시험결과의 전체 페이지 및 식별 방법
- g) 시험 보고서는 본 시험대상에만 적용된다는 문구

## 해설서

이 해설은 본체 및 부속서에 규정·기재한 사항과 이에 관련한 사항을 설명한다.

- 1. 제정의 취지** 절연성 산화물 박막은 메모리 반도체 및 시스템 반도체 소자에서 전자의 이동을 차단하는 역할을 하므로 그 두께에 따라 반도체 소자의 특성이 좌우되기 때문에 산화막 두께 제어 및 측정은 반도체 공정에서 가장 중요한 측정 이슈 중 하나이다. 따라서 nm 두께의 아주 얇은 산화막의 두께측정법에 대한 측정가이드 개발은 대한민국이 메모리 반도체 분야 세계 1위 유지는 물론 시스템 반도체 산업 육성을 통해 진정한 종합 반도체 강국으로 도약하는데 큰 기여를 할 것으로 기대된다.
- 2. 제정의 경위** 본 규격은 한국표준과학연구원 “KRISS 측정가이드 개발” 사업으로 개발되었으며, 학계 및 산업체 전문가로 구성된 위원회의 기술검토를 거쳐 측정가이드로 제정하게 되었다.
- 3. 중요 측정기술** 본 가이드에서는 단일 방법으로는 측정이 불가능한 초박막의 두께에 대해 길이단위 소급성이 있는 두께측정법과 오프셋 소급성이 있는 두께측정법의 장점을 활용하는 상호보정법을 이용하여 측정이 가능하도록 하였다. 이러한 초박막 두께측정 기술은 갈수록 얇아지는 박막 공정을 필요로 하는 차세대 첨단 산업에 필수적인 핵심 기초기술로 다양한 시료에 적용 가능할 것으로 보이며, 경제적인 파급효과 또한 매우 클 것으로 기대된다.

1. 이 보고서는 한국표준과학연구원에서 시행한 주요사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국표준과학연구원에서 시행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.