

# VLSI/ULSI 半導體 素材에 대한 表面分析 技術의 動向과 展望



李 炳 憲

韓國電子通信研究所 半導體技術支援센터長

신속·정확한 분석이 이루어지기 위해서 이미 분석기술은 Microprocessor에 의해 자동화 되어 있는데 이들 기기의 자동화와 함께 분석 데이터를 자동적으로 해석하고 처리하여 요구하는 결과를 신속하게 제시해 줄 수 있는 Software의 개발이 뒤따라야 한다.

## 1. 序 言

半導體 素子の 製造工程에 있어서 素材에 대한 測定 및 分析技術의 개념은 불량제품에 대한 전기적인 특성의 分析和 研究를 통하여 그 원인을 찾아내고 제어함으로써, 製造 收率과 素子の 信賴度를 개선시키며 여기에서 얻은 지식과 分析 데이터를 바탕으로 이와 같은 불량제품이 반복 製造되지 않도록 하는 것이었다.

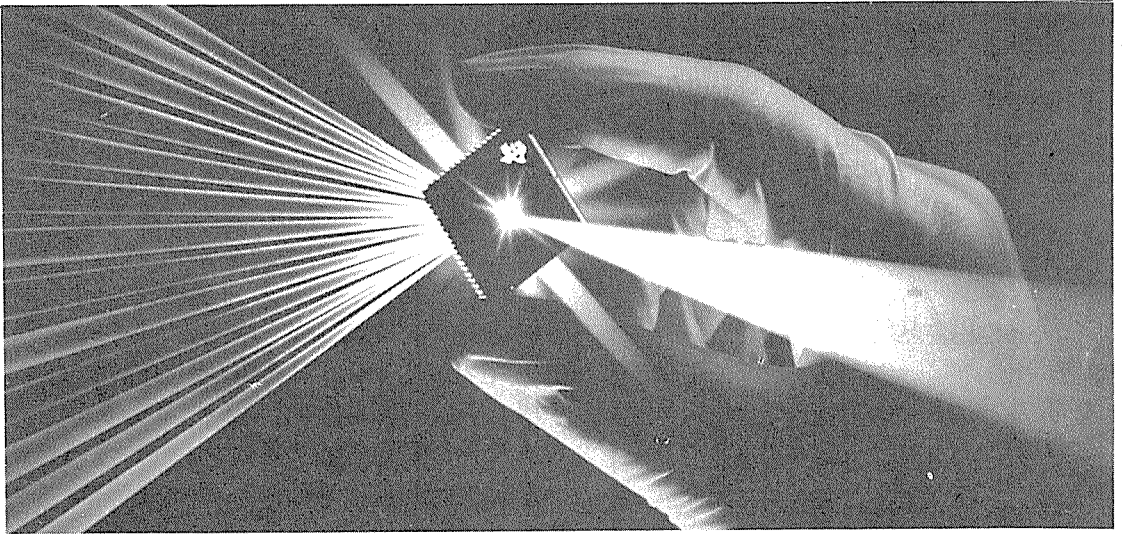
그러나 이와 같은 종래의 개념은 오늘날 VLSI/ULSI 시대에 있어서는 그 의미가 점차 바뀌어가고 있다. 즉, 단순한 불량요인의 검출 및 해결의 영역에서 벗어나 技術과 製品의 開發에 직접 참여하여 불량요인을 사전에 예측, 제거하고 工程을 제어함으로써 開發 기간의 단축과 開發 비용의 절감 등의 효과를 얻는 것이다.

半導體 製造工程이 복잡해지고 정밀해질수록 이와 같은 필요성이 증대하며, 특히 尖端技術의 수명이 갈수록 짧아지고 자체적인 研究開發이 절실히 요구되는 현 시점에 이르러서는 技術開發의 근간이 되는 基礎技術 분야의 확립이라는 차원에서도 크게 요구되고 있다.

이와 같은 추세에 배경에는 素材의 表面을 精密分析할 수 있는 分析裝備의 혁신적인 開發과 分析技術 및 데이터 處理技術의 놀라운 발전이 있음을 들 수 있다.

이미 美國이나 日本 등의 선진국에서는 半導體 産業의 初期 단계에서 부터 이러한 分析技術의 研究開發에 착수하여 자체적인 技術開發의 능력 및 新技術의 創造能力을 확보하고 있다.

실제로 해외에 있는 表面分析 전문기관의 경우, 각 기관마다 처리하는 물량의 80% 이상이 半導體 素材이며 대부분의 큰 半導體 會社에서는 자체적으로 素材分析센터(Materials Research Laboratory)를 설립하여 운영하고 있는 실정이다.



장차 X-선 레이저 기술이 실용화되면 소재 분석기술에 일대 전환이 야기될 것으로 전망된다.

國內의 경우 最近까지도 半導體 技術이 模倣의 단계에 있었으므로 이와 같은 投資가 미흡했고, 단 시일에 投資效果가 나타나지 않는 분야이기 때문에 더욱 외면당해온 것이 사실이다. 그러나 4M 및 16/64M DRAM 급의 VLSI/ULSI 시대를 맞아서는 이러한 技術의 확보가 없이 半導體 技術開發은 불가능하다는 사실을 인식하고 현 시점에서는 점차 投資規模가 확대되고 있다.

여기에서는 이와 같은 추세에 맞추어 半導體 素材의 表面分析에 대한 개념의 정립과 간단한 원리 등을 언급하고, 이와 같은 分析技術을 VLSI/ULSI급의 半導體 素材에 적용하기 위하여 開發되고 있는 動向과 추후의 展望 등에 대해서 살펴보고자 한다.

## 2 半導體 製造技術의 추세

半導體 素子の 製造技術은 보다 많은 情報를 보다 빠르고 정확하게 처리하기 위하여 단위면적당 集積되는 個別素子の 갯수를 증가시키는 추세에 있다. 이에 따라 최소 선폭의 크기가 수  $\mu\text{m}$  단위에서 sub- $\mu\text{m}$  단위로 축소하고, 수직방향에 대한 不純物 濃度の 제어범위도 수  $\mu\text{m}$ 에서 수백  $\text{\AA}$ 에 이르고 있다.

(圖 1)은 이와 같은 素子の 微細化 추세를 쉽게 인식할 수 있는 현상물질의 크기와 비교한 것으로, 매우 작은 박테리아나 바이러스까지도 VLSI 회로에 오염될 경우 치명적인 영향을 미치리라는 것을 짐작할 수 있다.

素子の 이러한 微細化 추세에 따라 轉位(Dislocation)나 積層缺陷(Stacking Fault)과 같은 結晶缺陷과, 작은 크기의 不純 粒子 등이 收率의 저하, 素子기능의 불량 및 信賴度의 저하에 큰 영향을 미치게 된다. 실제 50~100  $\text{\AA}$  직경의 매우 작은 不純物 凝集體가 結晶缺陷에 포획되면서 전기적 특성 및 收率 저하에 많은 영향을 미치는 것이 보고된 바 있다.

이러한 현상은 2~3 $\mu\text{m}$ 의 최소 선폭을 가지는 LSI 급 素子에서도 발견되고 있는 바, sub- $\mu\text{m}$  크기의 VLSI/ULSI 素子에 있어서는 이보다 훨씬 작은 크기의 缺陷에도 문제가 될 것은 자명한 사실이다.

그러므로 이와 같은 超微細素子에 대한精密 分析技術의 역할은 분명해진다. 화학적 입장에서 不純物(의도적으로 注入시킨 경우나 비의도적으로 오염이 된 경우를 모두 포함)과 물리적 입장에서 結晶缺陷, 그리고 그들이 전기적 특성에 미치는 영향 등을 충분히 이해하고 研究해야할 필요가 있는 것이다.

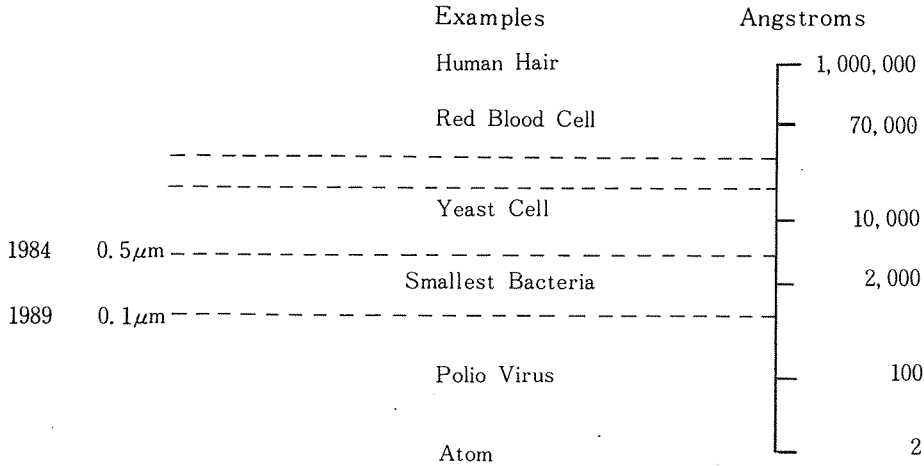


圖 1 素子の微細化와 현상물질과의 비교

### 3. 表面分析의 原理

고체 및 액체의 表面은 다른 相(phase) 과의 境界를 이루는 界面(interface)으로서 에너지 상태가 재료의 내부와 크게 다르며 吸着(adsorption), 脱着(desorption)을 비롯한 모든 화학 반응이 가장 먼저 일어나는 부위이다.

半導體의 경우 실제로 전기적인 素子構造가 형성되는 곳은 表面으로부터 數 μm에 이르는 부분이지만, 表面部分(깊이 20Å 이내)은 웨이퍼 가공 도중에 항상 외부에 노출되어 있으며 그 상태는 특히 蒸着工程에 의한 多層構造의 형성시에 더욱 중대한 영향을 미친다. 따라서 이와 같은 表面의 精密한 분석 능력을 보유함으로써 각 薄膜(thin film)간의 界面 및 表面에 대한 구조와 오염물질의 존재 등에 관한 情報를 얻어낼 수 있는 것이다.

表面이란 경우에 따라 그 定義를 달리하지만 半導體 素子의 분석에 있어서는 보통 외부와의 경계로부터 깊이 20~50Å에 이르는 부분을 말한다.

그러나 때로는 분석방법에 따라서 깊이 1~3 μm에 대한 情報를 얻는 경우(X-선 微視分析)와 수천 Å의 薄片(thin section)으로 만들어 電子線을 투과하는 경우(TEM)도 있으며 일반적으로 모두 表面分析의 범주에 넣어서 취급한

다.

表面分析의 原理는 각 技術別로 기본적으로는 동일한 방법에 의한다. <圖 2>와 같이 분석하고자 하는 素子의 表面에 대하여 적당한 입사 빔(incident beam; probe라 함)을 선택하여 투사한 후 입사 빔이 素子의 構成原子 및 電子들과 상호 작용한 후 발생하는 신호 빔(signal beam)을 적정 檢出器(detector)로서 檢出하여 그 에너지나 파장의 스펙트럼을 해석하거나 Image를 만들어서 分析하는 것이다.

이 때의 주위 분위기는 高眞空으로 유지하여 신호빔이 기체 분자와 산란하는 것을 방지해야 한다. 입사되는 빔은 용도에 따라서 電子線(electron beam), 이온선(ion beam) 및 X-선 등이 있으며 赤外線이나 可視光線, 또는 특수한 목적에 따라 放射線이나 中性子線이 사용되기도 한다.

이러한 입사 빔은 적당한 에너지를 가지고 있으며 시편의 表面에서 여러가지 상호작용을 하면서 신호전자, 이온 및 X-선 등을 방출하는데, 방출된 신호는 試片 原子에 대한 情報를 가지고 있으므로 필요에 따라 質量, 에너지 및 파장 등을 分析하면 원하는 결과를 얻을 수 있는 것이다.

예를 들어 이온 빔을 높은 에너지로 투사하여 試片 構成原子를 2차 이온으로 방출시킨 후 방

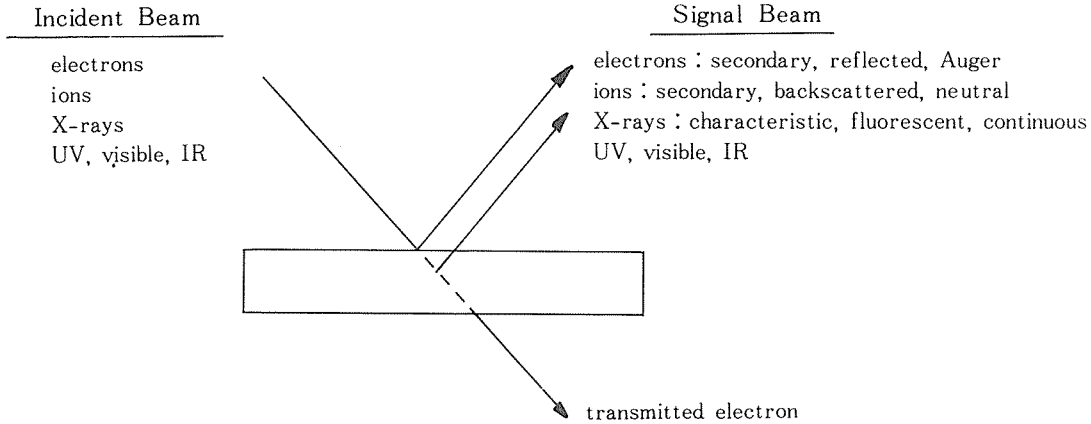


圖 2 高眞空 狀態에서 試片의 表面에 電子, 이온 및 X-선 등이 입사되면 試片 내에서 상호 반응에 의하여 信號電子, 이온 또는 X-선이 방출된다.

출된 이온의 質量을 스펙트럼으로 해석하면 해당하는 元素의 종류 및 함량을 판명할 수 있다. 이것이 SIMS (2차이온 질량분석기)의 기본원리로서 半導體 素材 내에 포함된 不純物의 濃度を ppb범위까지 측정할 수 있는 능력이 있다.

이때에 시편을 表面으로부터 연속적으로 etching하면서 이와 같은 분석을 행하면 不純物 濃度の 깊이 분포를 측정할 수 있는 것이다. <表 1>은 입사 빔과 檢出信號에 따른 分析技術을 한 눈에 비교하여 볼 수 있도록 작성한 것으로서 필요에 따라 적절한 技術을 채택하여 사용한다.

일반적으로 실험실에서 半導體 素材에 적용하기 위하여 가장 많이 사용되는 表面分析技術은 이른바 3대 表面分析技術인 SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry), AES (Auger Electron Spectroscopy) 및 ESCA (Electron Sp-

ectroscopy for Chemical Analysis)이다.

1981년 이후 RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy)가 그 측정방법의 특성상 크게 각광을 받기 시작했으며 그 응용범위도 확대일로에 있다.

그리고 엄밀히 구분하면 表面分析 범주에서 벗어나기는 하지만 TEM (Transmission Electron Microscopy)이나 SEM (Scanning Electron Microscopy) 등과 같은 전자현미경의 경우는 탁월한 分解能을 바탕으로 微細한 부위의 관찰을 용이하게 하는 높은 解像力을 가지고 있어서 半導體 技術開發에 널리 이용되고 있다.

그런데, 실제로 이와 같은 분석방법들은 같은 유형의 情報를 제공하는 경우가 많다. 이를 보면, 元素의 종류와 분포를 규명하는 능력은 SIMS, AES, ESCA 및 RBS 모두가 갖추고 있

表 1 일반적인 表面分析技術의 주요 特性

구 분	입사 빔	檢出信號	分析方法	주요 應用分野	기 타
SIMS	1 차이온	2 차이온	質量 스펙트럼	不純物 濃度の 분포 極微量 元素의 造成	ppb
AES	電 子	오제電子	에너지 스펙트럼	極表面의 化學造成	0.1w%
ESCA	X-선	光電子	"	極表面의 化學結合狀態	
RBS	He 이온	산란이온	"	絶對 定量分析 單結晶의 缺陷分析	
TEM	電 子	透過電子	電子波 intensity	擴大像의 形成 結晶缺陷의 分析	1.5Å
SEM	電 子	2 차電子	電子빔 intensity	擴大像의 形成	20Å

는 것이다.

그러나 각 분석技術은 근본적으로 다른 원리에 의하여 수행되므로 제공된 정보의 내용에서는 상당한 차이가 있게 마련이다.

즉, SIMS는 低濃度 極微量의 성분분석에 탁월한 능력을 발휘하며, AES는 電子線을 좁은 영역에 집중하여 극히 微細한 부위에 대한 造成分析을 할 수 있고, ESCA는 元素들의 화학적인 結合狀態를 밝히는데에 우수한 능력을 보이는 것 등이다.

따라서 하나의 분석 결과를 만족스럽게 얻어내기 위해서는 여러가지 表面分析 자료를 종합적으로 검토해야 하며, 각각의 表面分析 技術은 개별적인 의미와 함께 개별특성을 응용한 종합적인 의미로서 해석되어져야 한다.

#### 4. VLSI/ULSI 適用을 위한 表面分析技術의 開發 動向

VLSI/ULSI 素材의 超微細化 추세는 그에 따른 측정 분석기술의 추세를 변화시키고 있다.

즉, 측정 및 분석의 대상이 되는 半導體 내부(bulk)로부터 表面 또는 極表面으로 이동하며, 분석 취급단위가 덩어리(mass)에서 Slice 로, Slice에서 Chip으로 Chip에서 個別素子の 단위로 축소하고, 분석하는 성분의 濃度가 주소재의 濃度(>0.1%)에서 Dopant의 濃度(1~1000 ppm)로, 다시 極微量原素의 濃度(<1ppm)로 감소하고 있는 것이다.

관찰하고자 하는 대상도 종래의 光學顯微鏡이나 走射電子顯微鏡(SEM)으로 분간이 어려운 超微細 결함 등에 의해 명백한 확대상을 요구하므로 透過電子顯微鏡(TEM) 등이 사용되고 있다.

현재까지 개발된 表面分析技術은 이와 같은 요구사항을 모두 만족시키기에는 미흡한 부분도 있지만 여러가지의 분석 결과를 종합적으로 검토하고 비교하면 얻고자 하는 데이터를 도출할 수 있을 것이다. 그러나 보다 정확하고 신속하게 결과를 얻기 위해서 分析技術에 대해 현재에도 많은 研究가 이루어지고 있는데 그 開發 動向은 다음과 같다.

sub- $\mu\text{m}$  선폭에 대한 分析과 관찰을 수행하기 위해 보다 강하게 집중된 電子線이 요구되며, 이와 함께 효율적인 檢出器가 필요하다. 電界放射 電子銃(field emission electron gun)이 이 요구사항을 어느 정도 충족시켜주고 있으며, 檢出器 또한 고급화하여 開發중에 있다. 이온을 입사 빔으로 사용시 최대 단점인 수평방향 분해능 즉, 입사면적이 수백  $\mu\text{m}$  직경에 이르는 것을 보완하기 위해 많은 研究가 진행되고 있는데 현재 2 $\mu\text{m}$  직경 수준까지 축소되어 있으며 앞으로 최소한 수백 Å 수준까지 개선되어야 한다.

이 경우 보다 강한 이온원(ion source)과 고성능의 이온검출기가 필요하다. X-선은 電子나 이온과 같이 電荷(charge)를 띠고 있지 않으므로 렌즈에 의해 좁은 면적에 집중이 되지 않는다.

따라서 Sub- $\mu\text{m}$  시대에 맞추어 분해능을 개선하기 위해서는 대단히 강한 X-선원(X-ray source)를 사용해야 하는데, 장차 X-선 레이저 技術이 실용화되면 素材 分析技術에 일대 전환이 야기될 것으로 전망된다.

이와 같은 分析機器의 開發과 함께, 검출된 신호로부터 최종적인 分析 결과를 얻기까지의 과정에서 사용되는 Software의 개발이 절실히 요구된다.

도출된 결과의 再現性, 信賴度를 향상시키고 신속·정확한 분석이 이루어지기 위해서 이미 대부분의 分析技術은 Microprocessor에 의해 自動化되어 있는데, 이들 機器의 自動化와 함께 분석 데이터를 자동적으로 해석하고 처리하여 요구하는 결과를 신속하게 제시해 줄 수 있는 Software의 開發이 있어야 한다.

#### 5. 맺 음

VLSI/ULSI 시대의 도래와 함께, 이에 따른 表面分析技術의 현황과 開發動向을 조사하였다. 半導體 技術은 극히 순수한 재료와 淸淨한 분위기에서 이루어지는 작업인 만큼 매우 微細한 부위까지도 철저한 검사와 분석이 요구된다. 그러므로 이들 素材를 측정하고 분석하는 일은 대단

한 精密性을 요한다.

점차 微細화, 복잡화하는 工程技術의 추세에 따라 이와 같은 요구사항은 점차 엄격해질 것이며 이를 위한 分析技術의 開發이 뒤따라야 한다. 현 半導體 工程技術의 개선이나 새로운 技術의 開發을 위한 基礎技術로서의 表面分析技術의 역할을 다음과 같이 언급하면서 본문을 매듭짓고자 한다.

- i) 工程에 대한 물리화학적 데이터의 提供
- ii) 工程 前, 中 및 後의 材料에 대한 精密分析
- iii) 表面 및 薄膜研究를 위한 기초자료 도출

### 〈參考 文獻〉

1) P. S. Burggraaf, "The Role and Use of

Failure Analysis Serice", Semiconductor International, Sep., p.44, 1984

2) R.Linder, et. al., "Surface Analysis in Semiconductor Fabrication", Microelec. Manuf. Testing., Feb., 1985

3) P.H. Singer, "Surace Analysis Technology Part I," Semiconductor International, July. p.46, 1986

4) 한국전자통신연구소, Material Analysis Center 수립가능성 조사, p.24, 1986

5) C.A.Evans, Jr. et. al., "Overview of Ion and Electron Beam Techniques for the Analysis of Electronic Materials," Proc. of Microelec. Measurement Tech. Seminar., Mar., p.10, 1980

## 用語解説

### ■ 아몰퍼스(Amorphous) 변압기의 개발 상황

미국의 개발템포는 빨라, 소형권철심 변압기는 실용화된 것도 있다. 양적으로도 1987년까지 미국전체로 약 1만 2,000대가 설치되고, 그위에 1988년도 중에는 2만대로 예측된다. 추정 2,000만대가 가동하고 매년 100만대가 신설된다고 하는 미국전체의 수량에 대해서는 미미한 수이지만 GE사, WH사를 비롯, 그밖의 업체도 잇달아 양산체제를 갖추고 있어, 금후 점차로 보급할 것으로 생각된다. EPRI와 GE사 공동으로 개발한 25KVA, 1,000대의 Pilot 변압기는, 전미 90개의 전력회사의 군으로 평가되어, 약 2년 경과했는데 아몰퍼스 자성재료에 기인하는 고장은 전혀 없었다. 그 이후 GE사에서는 1986년경부터 25KVA 외에 50~100KVA의 변압기를 시판용으로서 개발, ANSI규격이 요구하는 모든 시험에 합격했다고 보고하고 있다. 한편, 일본의 경우에

의 개발상황은 미국만큼의 속도는 아니면서도 착실히 시행되고 있다. 주요 변압기 메이커는 1980년경부터 연구개발에 착수, 자사단독 혹은 전력회사와의 공동개발에 의해 아몰퍼스 변압기의 시작을 행하고 있다. 그 개발대상은 거의 50KVA이하의 권철심주상변압기이다. 그들의 시작변압기는 장기 신뢰성을 포함한 각종 시험에 대비하고 있고, 일부는 Field 시험을 시행하고 있다. 실용화에 한걸음 들여놓은 단계라고 할 수 있다. 적(積) 철심은 권철심에 비하면 아몰퍼스 자성재료의 적용 예가 극히 적다. 미국에서는 EPRI와 WH사를 중심으로 한 개발연구가 진행되고 있으며, 薄帶를 이용한 삼상 500KVA 변압기가 제작되어 Field Test를 위해 나이야가라 모호크 전력회사의 계통에서 시험적으로 쓰이고 있는 예가 있을 뿐이다.