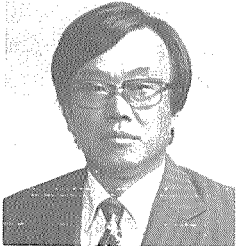


最近의 超LSI 測定, 評價技術



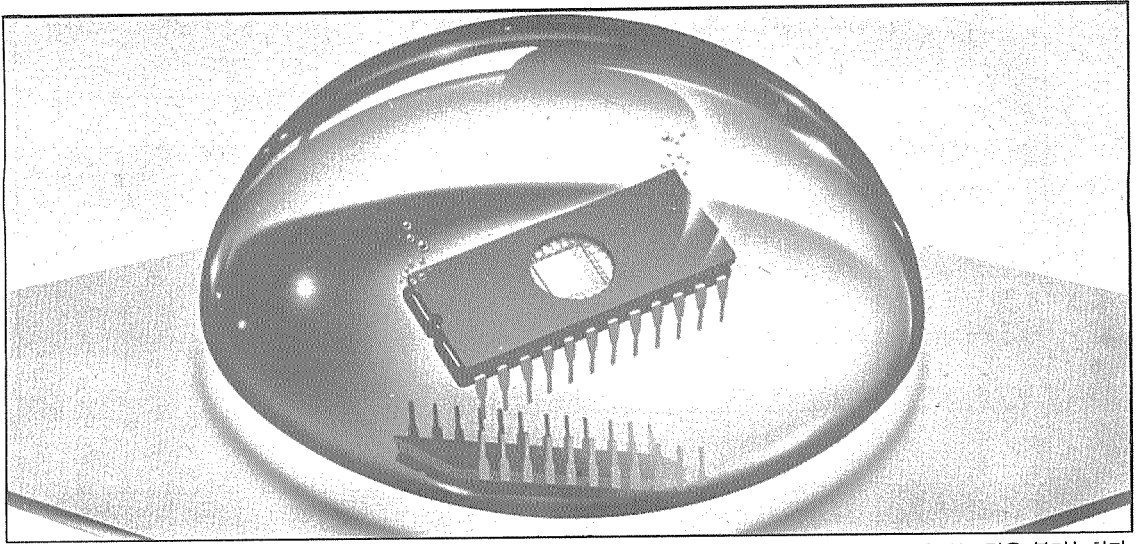
成 英 權
高麗大工科大學教授 / 工博

전자비임은 像의 관찰수단으로서는 高分解能인 동시에 임의의 측정점에의 位置設定이 고속으로 행해지기 때문에 이것을 探針으로 사용하므로써 다수의 측정점을 高精度 高速으로 측정할 수 있는 가능성이 있기 때문에 전자비임 마스크 검사기술의 研究에 박차를 가하고 있으나 安定性, 使用容易度 및 價格面에서 문제가 있어 앞으로 研究成果에 기대할 수 밖에 없으나 멀지 않아 電子비임 時代가 오리라고 믿는다.

1. 序 論

超LSI의 基本思想은 LSI의 基本思想과는 大 差가 없어 製造技術에 있어서도 電子비임露光이 나 드라이 프로세스와 같은 새로운 技術이 부분 적으로 도입되나 製造方式 그 자체는 LSI와는 기본적으로 아무런 차이는 없다. LSI 또는 超 LSI의 S素子 製造過程에서 거치는 여러工程에 서는 다같이 반드시 웨이퍼 表面에 대해 化學的 物理的 反應이 작용하여 素材웨이퍼에서 시작하 여 최종적으로 素子が 팩킹되어 出荷될 때까지 에 목표로 삼는 電氣的 特性을 阻害하는 요소가 들어가는 機會도 많이 존재한다. 따라서 最終 製品이 결함이 없는 所期의 性能을 지니는가는 하나하나의 工程마무리가 目標值를 이루고 있 는가를 체크하여야 한다. 가령 膜을 形成하면 그 膜두께나 엠틱速度를 測定한다든지 擴散시키 면 그 不純物濃도와 깊이 및 比抵抗測定 또는 加 工하면 그 치수 정도의 測定 등과 같은 평가를 하여야 하며 나아가서는 이들 素子の 特性을 유 지하고 信賴性을 향상시키기 위해서는 그 阻害 要素의 分析 原因追求와 이에 의거하는 改善對 策을 강구하여야 함은 半導體 素子製造에 관여 하는 者로서는 不可避한 活動分野일 것이다.

그러나 오늘날 半導體 製造프로세스를 행하는 製造裝置는 自動化되고 있고 가스流量, 溫度, 眞 空度, 周邊機器의 移動 또는 回轉速度 기타 모 두가 필요한 레벨에서 制御되어 作業者가 適宜 判斷할 필요가 없게 되었다. 따라서 모두가 순 조롭게 稼動하고 있는限 프로세스의 결과도 所 定の 要求를 만족하여 문제는 없으나 素材웨이 퍼의 不均一性(不純物含有量, 組成), 環境의 變化 (먼지, 습도, 온도) 裝置制御의 不安定性 등에 인해 항상 一定한 材質의 것이 얻어질 수는 없 어 프로세스의 評價가 必須不可缺한 것이 된다. 특히 超LSI에 있어서는 最小치수가 적어지고 加工精度의 향상과 현저한 高集積도가 요구되 고 있기 때문에 超LSI自体가 설계에서 시작하 여 解析, 檢査에 이르는 各分野에 있어서 그 내



3차원적인 각부분의 발열개소를 관측하는 것은 불가능하다.

용이 종래의 IC나 LSI에 비해 각각 飛躍적으로 複雜化 또는 高度化되어 왔기에 이들과 關聯되는 試驗評價技術도 여러가지 문제점이 浮刻되어 超LSI의 設計技術, 微細加工技術의 개발과 더불어 試驗評價技術의 개발도 중요한 課題의 하나로 등장되어 그의 必須的인 基本技術의 확립이 시급히 요구되고 있다. 따라서 이 紙面에서는 超LSI의 測定, 評價技術에 있어서 야기되는 몇가지 問題點을 概觀하여 이들이 어떻게 解決되어 개선되어 나가고 있는가를 概說하기로 한다.

2. 超LSI試驗評價技術에서의 문제점과 개선책

표 1에 오늘날 活用되고 있는 LSI프로세스에서의 여러가지 分析評價事項과 이에 적용되는 分析手段을 表記한 것이나 이들 수법이 그대로 超LSI에도 대체로 적용되므로 詳細한 것은 參考文獻^{(1),(2)}을 參照해 주시기 바라되, 超LSI디바이스에 대한 評價解析은 그 高集積 및 高密度化에 隨伴하여 생기는 素子の 微小化의 문제에 對處하도록 행해져야 한다.

우선 문제가 되는 제 1의 要因으로서 IC의 集積度의 高度化에 수반하여 나타나는 消費電力增大에 인한 칩 또는 디바이스 發熱에 의한 溫度上昇과 이들 内部에서의 局在化를 들 수 있다.

이러한 문제는 디바이스의 信賴性에 대한 故障解析에 限定되지 않고 素子 또는 디바이스 設計에서의 熱設計에도 關連되는 것으로 이를 위한 評價解析手法으로서 IC패턴 또는 大面積 칩上的 溫度分布를 精確하게 측정하여야 한다. 그러나 超LSI에서의 IC素子の 内部構造가 3次元의이므로 3次元의인 各部分의 發熱個所를 觀測하는 것은 불가능하다. 따라서 이 경우 IC의 表面위에서의 溫度 分布로부터 熱의 偏在를 검토하게 된다. 이것에는 IC의 表面으로부터 放射되는 赤外線을 이용하여 溫度를 측정하는 手法이 있으나⁽³⁾ 測定精度에 集約되는 문제점이 있다. 즉 하나는 測定面의 2次元의 精度의 問題이고 또 하나는 測定溫度의 精度이다. 前者는 赤외線을 받는 方法에 기인하는 것으로 실제로는 物質의 表面에서의 熱放射를 赤외線 顯微鏡에 의해 어떻게 微小한 스팩트를 受光하여 이를 어떻게 微小한 스텔으로서 大面積을 走査할 것인가가 문제점이다. 이것은 微小한 디바이스 또는 칩을 追求하는 超LSI에 對應하기 위해서는 당연한 일일 것이다. 이 때문에 종래와 같이 赤외線 비임을 走査하는 방식보다 移動台에 의한 機械的인 走査에 의한 방식이 適切하다고 하여 최근에 日本VLSI技術研究組合에서 스팩트徑의 縮小와 아울러 機械의 精度를 향상시키고 동시에 새로운 熱放射率補正에 의한 溫度分布 測定을 할 수 있는 所謂 赤외線 走査方式에 의한

表 1. LSI 프로세스와 評價事項 및 評價分析手法과의 關係

評價分析手法		光學的 測定	電氣的 測定	렛팅	decora- tion	X 線衍折 (含 2 結晶) X R T	TEM STEM	SEM	EMPA (XMA)	AES SAES (微小)	SIMA I M A (微小)	ESCA X P S	UPS	RBS (이온) 起 (형광 X 선)	放射化 分析	LEED RHEED LEELS	평가 X 線
評價事項																	
單結晶育成 프로세스																	
種子方位		○															
成長鏡		赤外吸收		[○]													
軀位分布, 構造				[○]													
웨이퍼 凹凸		微分干涉, 平面度 計, 位相差顯微鏡			[○]		[○]										
研磨破碎層		顯微鏡															
表面吸着, 웨이퍼洗淨		平面度計									[○]						○
웨이퍼端面, 平面度		赤外吸收															
酸素, 炭素, 混入							E L S ○								[○]		
不純物濃度 (比抵抗分布) 易動度		electro- reflectance 法 赤外吸收	4 探針測定 抵抗測定 電流 (非接觸) C V 測定														
格子構造																	
에피타키얼 成長 프로세스																	
格子定數, misfit																	
不純物, gettering																	
格子缺陷																	
薄膜形成 프로세스																	
膜厚																	
薄膜構造		微分干涉 屈折率 測定 透過率 測定 干涉顯微鏡 表面 計	振動子膜厚測定 絕緣性	反應性 ○													
段差, 界面歪																	
界面構造 (槽間反應電子狀態)																	
配線																	
不純物導入 프로세스																	
不純物濃度分布 (熱擴散, 이온注入, 어닐링)																	
格子缺陷 (軀位折出)																	
擴散至 웨이퍼端																	
擴散層의 結晶構造																	
不純物準位																	
表面處理 프로세스																	
表面吸着, 汚染, 洗淨		散亂, 顯微鏡	D L T S														
表面保護膜		微分干涉, 屈折率	表面準位測定	特性 ○ 反應性 ○													



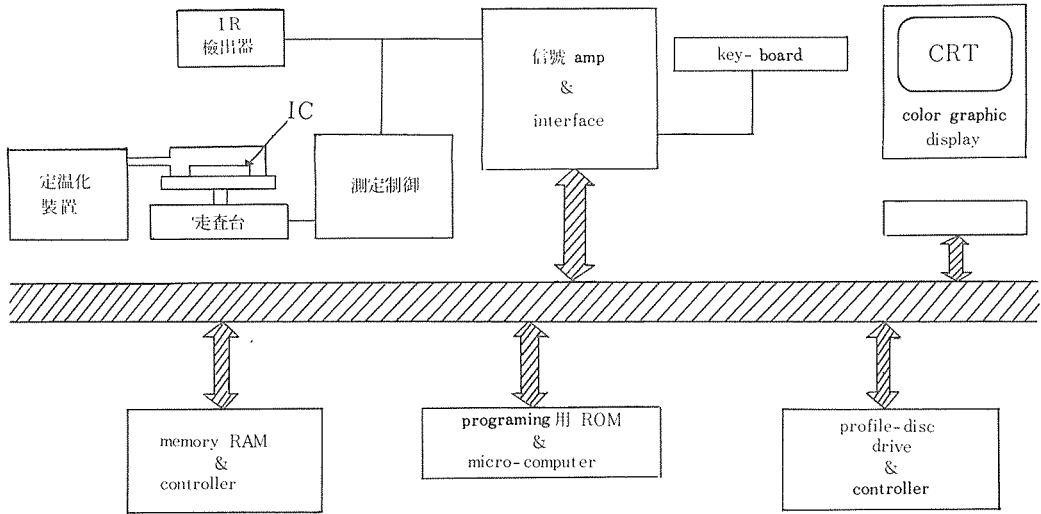


圖 1. IC溫度分布시스템블록圖

IC精密溫度 分布測定시스템⁽⁴⁾을 개발하여 IC動作時의 赤外線放射強度를 자동적으로 溫度換算케 하여 精確한 溫度分布를 測定可能케 하고 있다. 그들은 현재 그 시스템의 보다 양호한 개선을 위해 試料의 定溫化技術과 高速化에의 검토에 拍車를 加하고 있다. 圖1은 그 시스템의 블록圖를 나타낸 것으로 溫度分布 測定面을 미세한 스텝으로서 기계적으로 走査시키는 微小尺寸 走査裝置(최소피치 3.75 μ m, 최대走査巾 20mm), 赤外線放射強度와 溫度를 比例關係로 하기 위한 리니어 라이저와 그에 필요한 試料定溫化裝置, 走査面을 256 \times 256피치의 素點으로 分割하여 각 素點에 대해 比較演算을 하기 위한 記憶演算裝置 및 出力을 컬러表示하는 컬러 디스플레이 裝置로서 구성되고 있다.

다음에 제 2의 요인으로서 超LSI를 구성하는 微細化의 基本素子 또는 디바이스의 故障個所를 高集積화된 패턴 내에서 精確하게 檢出하는 것이 대단히 곤란하다는 것이다. 즉 超LSI에 있어서는 微細加工技術의 進歩에 의해 디바이스가 高密度 및 大規模化되어 이에 따라 패턴이 微細해지면 디바이스의 試驗評價 또는 故障解析을 위한 鋸内部에 機械的인 探針을 사용하여 접촉시키는 방법으로는 그 探針의 先端半徑이 10 μ 정도인 것이기 때문에 금후 出現이 예상되는 1 μ m

또는 그以下の 線巾의 패턴인 것에는 도저히 사용이 불가능해지고 아울러 機械的인 힘에 의해 被測定物의 파괴가 隨伴되는 결점이 있다. 따라서 이에 대신하는 非接觸微細探針에 의한 評價解析技術이 超LSI의 試驗評價에 불가결한 것으로 대두되어 電子비임 走査에 의한 方法⁽⁵⁾, 레이저비임 照射에 의한 方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾, 超音波에 의한 方法 등 여러 方法이 고안되고 있다. 어느 것이나 探針의 非接觸方式로 각각 電子, 빛 및 超音波 등에서 電氣信號로 變換하는 소위 에너지變換技術을 이용한 方法으로 상대적인 에너지變化를 檢出した 電氣信號에서 信號處理를 행한 다음 圖像에 變換하는 方法이다. 이들 中 電子비임에 의한 方法은 走査形電子顯微鏡(SEM)을 이용하여 微小스팟트의 電子비임을 探針으로서 IC表面에서의 2次電子 또는 半導體의 吸收電流를 檢出하는 動作中的 IC表面 및 方法으로 内部에 생기는 電位나 電流變化를 관측하므로써 故障個所를 檢出할 수 있어 대단히 微小한 부분까지 관측이 가능하다. 그러나 이 方法에서는 周廻回路 一部를 포함한 試料系를 眞空狀態로 排氣해 두어야 하고 아울러 測定時마다 配線이나 試料에 對한 眞空系의 出入時의 번거러움이 隨伴될 뿐만 아니라 電子비임 照射에 의해 表面狀態가 變化하여 動作中 破壞의 試驗으로 되어 버

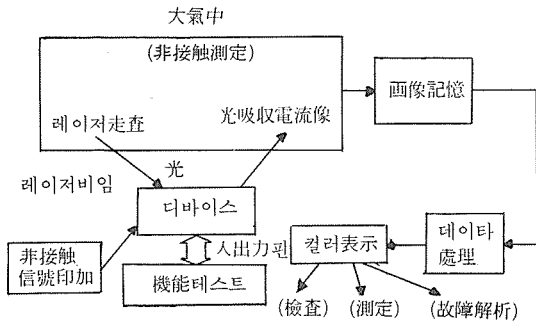


圖 2. 레이저走査形 다이오스 解析시스템의 機能

리는 우려가 있다.

한편 레이저비임照射에 의한 방법은 半導體 다이오스의 光導電性을 원리적으로 이용한 것으로 레이저비임을 微小스팟트로 하여 IC表面에 照射하여 半導體에서 생기는 光吸取電流나 그곳에서 反射하는 反射光量의 變化를 檢出하는 방법이다. 즉, 레이저 光照射에 의해 캐리어가 발생하나 P N接合에서는 그것이 깊게 逆바이어스되면 空乏層內的 強電界에 의해 그 캐리어는 光電流로서 효율적으로 기여하나 弱電界의 영역에서는 再結合率이 많기 때문에 光電流는 대단히 적어져 결국 그 差를 측정하므로써 論理 레벨의 檢출이 가능해진다. 이와 같은 방법의 큰 특징은 대기 중에서 측정이 가능하고 사용하는 빛의 波長限界 및 利用目的을 한정시켜두면 측정하기 쉬운 수법이므로 앞으로의 活用이 期待된다. 圖 2는 이 種類의 레이저走査形 다이오스 解析시스템의 機能⁽⁸⁾⁹⁾을 나타낸 것이나 우선 다이오스를 入出力핀에서의 信號로서 동작시켜 그 위에 微小스팟트의 레이저光을 走査시켜 이에 의한 光吸取電流像을 測定, 記憶하고 그 後에 목적에 따라 그 데이터處理를 행한 결과를 컬러表示시킴으로서 檢査, 測定 및 故障解析 등의 責務를 期하게 되는 것이다.

3. 微細다이오스의 評價

超LSI의 등장으로 다이오스의 微細化가 進전됨에 따라 이에 수반하여 微小領域의 評價解析 및 故障解析이 必須不可欠하게 된다. 이것의 手段으로서는 直接的으로 微細構造의 관찰 및 물질의 檢出을 할 수 있는 分析方法과 電氣의 諸特性的의 變化에서 間接적으로 분석하는 방법이

있다. 直接分析法으로는 走査形電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)⁽¹⁰⁾, X線 微小分析(X-ray Micro-Analysis, XMA)⁽¹¹⁾, 走査形어어거 電子分光(Scanning Auger Micro probe, SAM)⁽¹²⁾이 後方散亂分光分析(Rutherford Back Scattering, RBS)⁽¹³⁾ 등이 널리 活用되고 있다. 이들 中, 分析結果의 定量法에는 XMA와 RBS, 表面의 組成分析에는 SAM 또는 RBS가 이용되나 어느 것이든 SEM의 機能을 구비하고 있기 때문에 構造觀察이 가능하다. 특히 SAM은 微小分析法(Micro Analysis)의 進歩에 의해 微細다이오스에의 적용에 가장 有力한 分析手段으로 등장하고 있다. 또 定量的인 組成分析에는 RBS가 가장 有力한 수법으로 脚光을 받고 있으나 詳細한 것은 文獻을 参照해 주시기 바란다.

4. 超LSI테스터

試驗評價技術 中에서 가장 기본적인 것은 테스터이나 超LSI用은 다이오스의 高集積化, 高速化에 대응할 수 있는 충분한 性能을 지니고 있는 것이어야 한다. 즉 超LSI테스터의 必須具備條件은 多端子가 측정되고 直流特性試驗外에 다양한 試驗패턴을 高速으로 시험할 수 있는 機能試驗과 여러가지 動作모드에서 고속의 交流特性試驗이 가능해야 한다. 이에 대해 테스터의 일반적인 動向으로서는 우선 端子數가 종래의 40핀, 60핀에서 120핀 以上の 것이 할 수 있게 되어 아울러 機能試驗의 데이터속도도 10MHz에서 40MHz, 100MHz로 高速化되어 있어 高速 交流特性試驗이 가능한 테스터가 出現되어 테스터도 超LSI時代에 들어가기 시작하고 있다. 그러나 아직도 이들은 당면한 高速LSI測定과 평가에는 충분히 대응할 수 있으나 가령 싸이클時間이 10ns보다 짧은 高速RAM의 경우 그 動作速度를 시험할 때는 불충분하여 보다 高速의 테스터가 필요하게 되어 2種의 開發이 강하게 要求되고 있는 실정이다.

이와 같은 상황에서 高速테스터開發을 위한 基礎檢討의 하나로서 테스터의 中核으로 되는 高速패턴發生裝置의 개발에 주력을 기울여 일부에서는

- (ㄱ) 최고 패턴發生速度 200MHz 以上
 - (ㄴ) 에드레스 演算機能을 포함한 알고리즘 패턴의 高速發生이 可能한 것.
- 위와 같은 目標性能을 설정하여 테스트試作⁽¹⁴⁾을 발표하고 있다.

5. 마스크檢査技術

LSI에서 超LSI로 移行해 감에 따라 마스크의 패턴치수는 더욱 微細化되고 複雜化되어 간다. 따라서 종래와 같은 光學的手段에 의한 마스크檢査로서 한계가 있어 패턴의 微細化에 수반하여 微細한 패턴의 高速檢査와 보다 分解能 이 높은 수단이 강하게 요구되고 있다. 또 마스크의 製造時에 허용되는 치수誤差나 결함 크기도 작아지기 때문에 소수의 拔取檢査로서 마스크의 良否를 판정하는 것은 危險性이 뒤따라 마스크 하나에 대한 測定패턴數나 檢査領域은 종래의 것보다 훨씬 增大하리라고 예상된다. 이와 같은 패턴의 微細化, 高速化의 尖兵으로서 등장해 온 것이 電子비임에 의한 檢査手段이다. 電子비임은 像의 觀察手段으로서는 高分解能인 동시에 임의의 測定點에의 位置設定이 고속으로 행해지기 때문에 이것을 探針으로 사용하므로써 다수의 測定點을 高精度 高速으로 測定할 수 있

는 가능성이 있기 때문에 電子비임 마스크檢査技術의 研究⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾에 박차를 가하고 있으나 安定性, 使用容易度 및 價格面에서 문제가 있어 앞으로 研究成果에 기대할 수 밖에 없으나 멀지 않아 電子비임時代가 오리라고 믿는다. 참고로 電子비임과 빛을 이용한 檢査裝置의 特徵比較를 표2에 表記해 둔다.

6. 結 論

제한된 지면으로 超LSI測定評價技術에 대해 概說코자 하니 超LSI評價技術의 문제점을 중심으로 概觀해 왔으나 오늘날의 半導體 IC工業에서는 디바이스物理→回路設計→패턴設計→프로세스技術→檢査라는 過程中, 각 過程에서의 檢査評價에 의거한 필요 데이터의 신속한 휘이드·백이 중요한 엣센스라는 것을 認識해 주었으면 한다. 아울러 앞으로 당국과 각 企業體에서 합심하여 이방면의 개발에 더욱 傾注해 주시기를 바라는 바이다.

[參考文 獻]

表 2. 光, 電子마스크 檢査裝置의 特徵比較

項 目	光	電 子
① 스파트徑 [$\mu\text{m}\phi$]	0.5	0.2
② 分 布	가우스	가우스
③ 對物렌즈-試料間距 離[mm]	3	134
④ 對物렌즈 半開口角 [mrad]	424	2.7
⑤ 光(電子) 源輝度[W/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$]	10^5	2×10^{10}
⑥ 試料照射비임量[mW]	0.1~0.2	~0.1
⑦ 焦點深度 [μm] [0.1 μm 의 불명확성許容]	~ ± 0.2	± 30
⑧ 最大許容走査 필드 [mm角]	0.1	5
⑨ 走査速度 [$\mu\text{m}/\text{s}$]	40	6250
⑩ 波 長 [\AA]	6328	0.1
⑪ 量子 에너지-(比較)	1	6×10^4
⑫ 散射雜音(比較)	1	250
⑬ 光 源	He-Ne 레이저	L_aB_6 熱電子銃 加速電壓 20kV

- (1) 高須; 日本應用物理, 44, 1279(1976)
- (2) P. Wang; Text of 3rd Int. Symp. on Si Mat Sci. in Electrochem. Soc. 932(1977)
- (3) J. R. Yorder; Appl. Optics 7, 9. 1971(1968)
- (4) 永瀬; 超LSI의 注目基礎技術, 122(1980) 日本電子材料別冊.
- (5) 小林; 超LSI의 注目基礎技術, 119(1980) 日本電子材料別冊.
- (6) D. E. Sawyer, et al; NBS Special publication, 400-24 (Feb, 1977)
- (7) D. E. Sawyer et al; IEDM Technical Digest, 111(1975)
- (8) Nagase; 日本信學會 Tr研資. SSD, 79-56, 9(1979. 11)
- (9) M. Nagase; Microelectron & Reliab. 20, 5, 717(1980)
- (10) K. H. Yang, et al; Appl. Phys. Letters, 33, 225(1978)
- (11) F. N. Voltmer, et al; Electrochem. Soc, 75 (1973) Princeton
- (12) P. W. Palmberg; J. Vac. Sci. Tech., 12, 379 (1975)
- (13) A. Hiraki, et al; Japan. J. Appl. Phys. Suppl., 2, 749 (1974)
- (14) 右高, 水上; 日本信學會 電子디바이스 研究會資料, EDD-78-115, 1(1978)
- (15) K. Mizukami, et al; 2nd Annual Micro electronics Measurement Technology Seminar (1980)