2008 OEGセミナー

LSIの総合的な解析技術について

2008年7月8日

デバイス・アナリシス（株）

中島　蕃

目次

1. 何故、総合化か？

2. 解析のネットワーク化

3. 有限責任ナノテクノロジ推進機構の設立

4. 評価・解析技術の現状

5. 今後、必要とされる評価・解析技術

6. まとめ

何故、総合化か？

ディペンダビリティ → ニュー・ディペンダビリティ

情報化社会
の
安全・安心

情報化社会
の
安全・安心
＋
セ キュリティ

ベースはLSI

ニュー・ディペンダビリティの概念

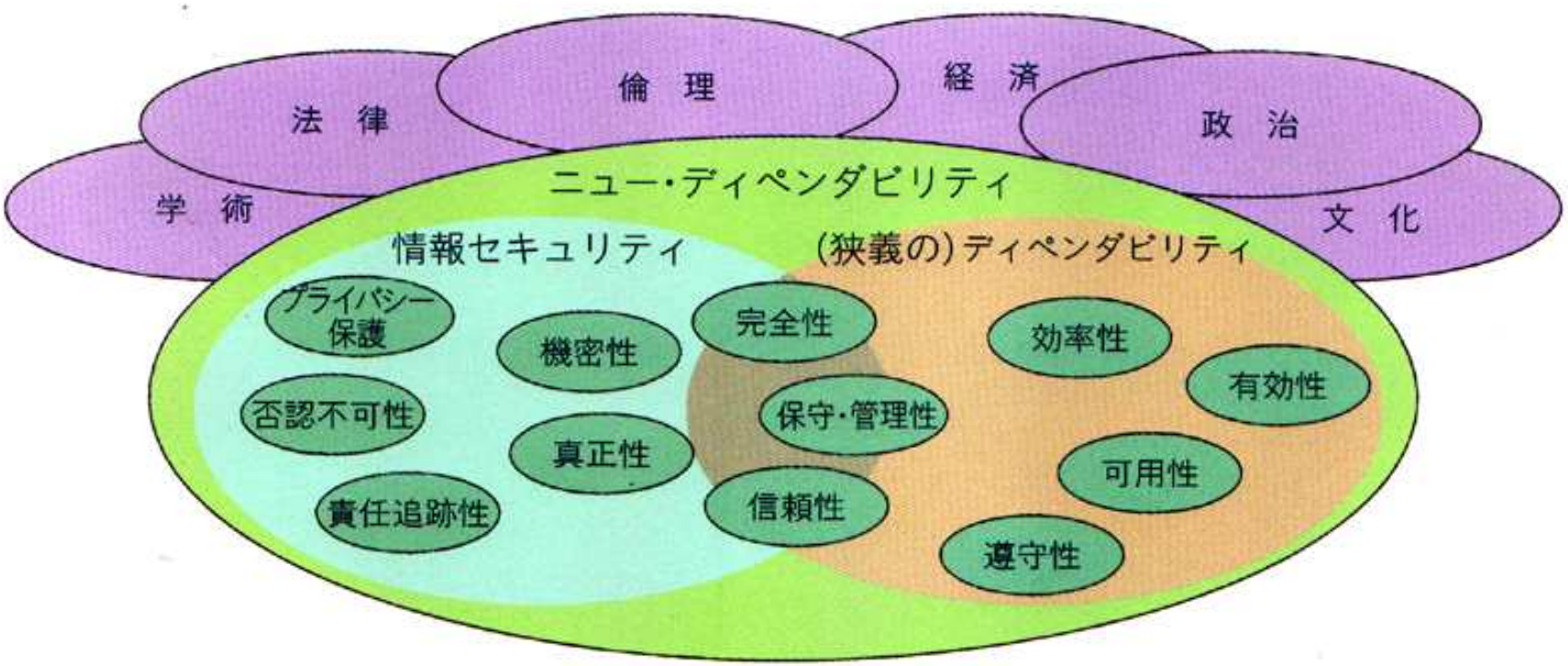


図1．ニュー・ディペンダビリティの概念
（出典：今井秀樹・渡辺創「情報セキュリティとディペンダビリティ」（2006．7．1日本学術会議拡大情報学委員会資料）を基に修正）

（独立行政法人　科学技術振興機構　研究開発戦略センターの資料より）

情報セキュリティ

定義：正当な権利を持つ個人や組織が情報システムを意図通りに制御できる性質

完全性(Integrity：一貫性とも呼ぶ)：情報の正確性、一貫性を維持できる性質

可用性（Availability)：システムを必要とする場合に所定の方法で利用及び制御できる性質

機密性(Confidentiality：守秘性とも呼ぶ)：情報の機密性が規定どおりに守られるという性質

否認拒否性(Non-repudiation)：否認できない証拠が存在するという性質

責任追跡性(Accountability)：説明ができるための証拠が残るという性質

真正性(Authenticity)：人や情報が想定しているとおりの本物であるという性質

回復性(Recovery)：被害を受けてもそれが回復できるという性質

（出展：今井秀樹「情報セキュリティー安全・安心な社会のために」（電子情報通信学会誌 Vol.90 No.5 pp.334-339, 2007)

ニュー・ディペンダビリティのイメージ

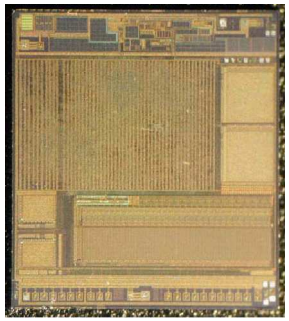
ワイヤレスの階層構成のイメージ

誰もがいつでもどこでも
＋
セキュリティ

送受信（アンテナ）

お客さん

通信網（ルータ）



LSI(産業の米)

食の階層構成のイメージ

誰とでもいつでも
＋
プライバシー

お客さん

調理（無添加物）

流通

食材（無農薬）

注）チップ写真以外は
インターネットから借用

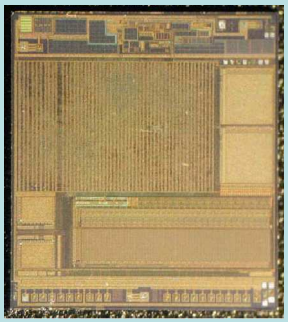
安全・安心 ＋ セキュリティ

お客さん
（ユーザ）

パニックに陥ることのない情報化社会

ブラックボックス

LSI



通信網（ルータ）

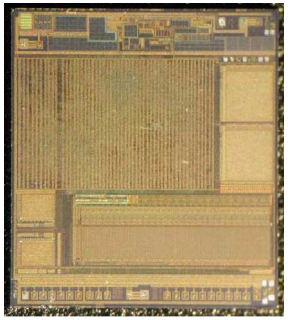
送受信（アンテナ）

故障しない・データが改竄されない・データが盗まれない

安全・安心 ＋ セキュリティへの対応

設計

・大動作余裕
・自己修復機能
・耐タンパー機能
・耐ソフトエラー機能



実装

・積層マルチチップ
・高歩留りの維持

テスト（状態判断）

・インラインモニタリング
・故障の予兆品も検出
（短寿命である可能性のものを除く）

製造

・高歩留りの維持
・耐タンパー構造
・合理的コスト

信頼性

・FITからの脱却
・リアルタイムモニタリング
（故障前に対策実施）

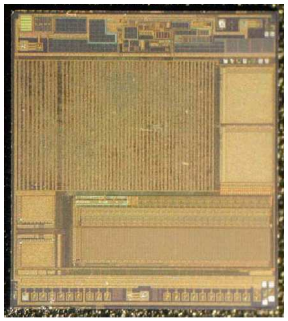
安心・安全 ＋ セキュリティの評価・解析

動作試験

・機能・性能の評価性
・フェイル箇所の抽出
　容易性

耐タンパー性試験

・秘密データの保護性
・なりすまし防止性



構造解析

・構造の正常性
・リバースエンジニアリングの
　困難性

信頼性試験

・歩留りと故障率の相関性
・故障発生の予兆検出
　（どのようなパラメータに故障
　の予兆が現れているか）

総合的な評価・解析が必要

解析のネットワーク化

・解析装置の高額化

先端解析装置：数億円/台
(5台位は必要)

総額 ＞20億円

・必要技術の多様化

サンプル加工

物理・化学分析

電気的測定

個別組織での対応が困難化

・解析知識の多様化

設計・プロセス

ディジタル・アナログ

信頼性

セ キュリティ

評価・解析の専門性と多岐性

	分析	構造解析	CAD	測定	再実装	回路解読
1. 材料物性	○					
2. プロセス	○	○				
3. 回路設計			○			
4. LSIテスト				○		
5. 実装					○	
6. 故障解析	○	○		○	○	○
7. セキュリティ評価（物理アタック）			○	○	○	○
8. 知財解析	○	○	○	○	○	○

どこに、どのような評価・解析装置があるか

項目		装置など	組織など														
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
分析	構造観察	**TEM (3MeV)**						○									
		TEM（1MeV）	○														
		STEM（断面、平面）											○				
		TEM（断面、平面）	○						○	○			○				
		CT-TEM													○		
		TEMサンプル用FIB							○				○		○		
		SEM	○					○	○	○			○				
		X線−CT(3D構造）											○	○			
	構造解析	ラーマン（応力）											○				
		陽電子消滅法（細孔サイズ）											○				
		EBSD(配線金属の配向）											○				
		SPM/AFM											○				
		SCM（p−n接合形状）											○				
		TOF−SIMS(不純物分布）											○				
		エリプソ（膜厚）											○				
		TEM−EELS（元素結合状態）	○										○				
		RBS(深さ方向組成分布）											○				
	元素(不純物）分析	**SIMS**											○				
		AES											○				
		XPS											○				
		SEM−EDX、TEM−EDX											○				
		ICP-MS											○				
		EPMA(微量不純物分析）											○				
		TPD-MS											○				
	結晶欠陥解析	X線トポグラフィ											○				
		カソードルミネッセンス(CL)											○				
		電子線回折(ED）											○				
製膜・リソグラフィ加工・エッチング		SiO2膜、Al膜など	○														
		EB直接描画	○							○							
		ドライエッチング（RIE）	○														
		ウエットエッチング	○	○													
		クリーンベンチ	○	○													
		エキシマレーザ膜除去		○													○
		FIB	○	○													
		放電加工								○							
		積層チップ剥離															○
		各種サンプル処理・加工															○

項目		装置など	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
テスティング・測定		EBテスタ	○	○				○							○		
		LSIテスタ	○			○	○					○					
		LSIテスタ（アナログ対応可	○									○					
		sパラ測定	○	○													
		パラメータアナライザー	○	○				○			○	○	○				
		ストレージオシロなど	○	○	○												
		ナノプローバ										○			○		
		メカニカルプローバ		○	○												
		配線加工用CADリンクFIB	○				○	○							○		
		テストパターン作成										○					
		治具作製												○			○
		パッケージング												○			○
		パケージ開封												○			○
実装	信頼性試験評価	機械試験									○			○			○
		ESD試験									○			○			○
		バーンイン試験									○			○			○
		恒温恒湿動作試験				○					○			○			○
		耐湿試験・耐熱試験									○			○			○
	実装試験	実装シミュレーション									○			○			○
		温度サイクル試験									○			○			○
		メカニカル試験（曲げなど）									○			○			○
		自由落下試験									○			○			○
		ハンダボール試験（Pullなど）									○			○			○
		平坦度測定									○			○			○
	実装検査	超音波試験		○							○			○			○
		X線透視・X線−CT									○						○
		外観検査・IR外観検査									○						○
	実装品の加工	BGA用リボーリング									○			○			○
		BGAパッケージの再実装									○			○			○
		フレキシブル配線作成・実装												○			
	パッケージ・ハンダの解析	断面研磨・観察											○				
		断面FIB加工・観察											○				
		金属間反応（EPMA、AES等）											○				
		ボイドの3Dトモグラフィ											○				
ボード・ソフト開発		ボード設計														○	
		ボード開発・作製												○			
		各種ソフト開発														○	
		LSICADシステム利用				○											
エミッション解析		エミッション			○		○										
		裏面エミッション		○			○						○				
		OBIRCH					○						○				
		LVP (Laser Voltage Probing)					○										○

有限責任中間法人
ナノテクノロジ推進機構
を設立

2007.6.8

(事業内容）

・評価・解析の中立的な技術センターの役割

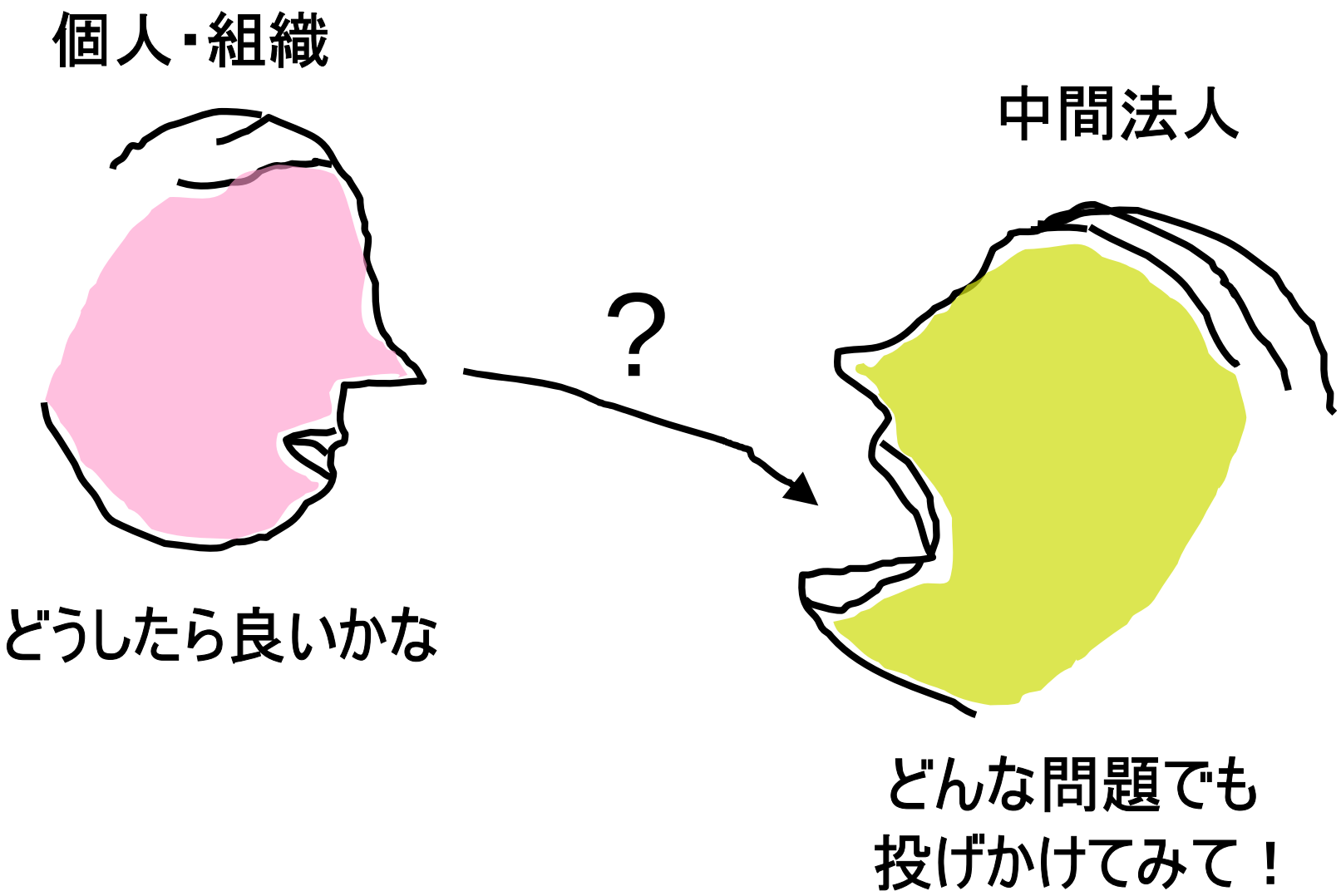
・産官学連携の共同研究のプロモーション

・学際的新学問領域に関するコンソーシアムの設立と運営

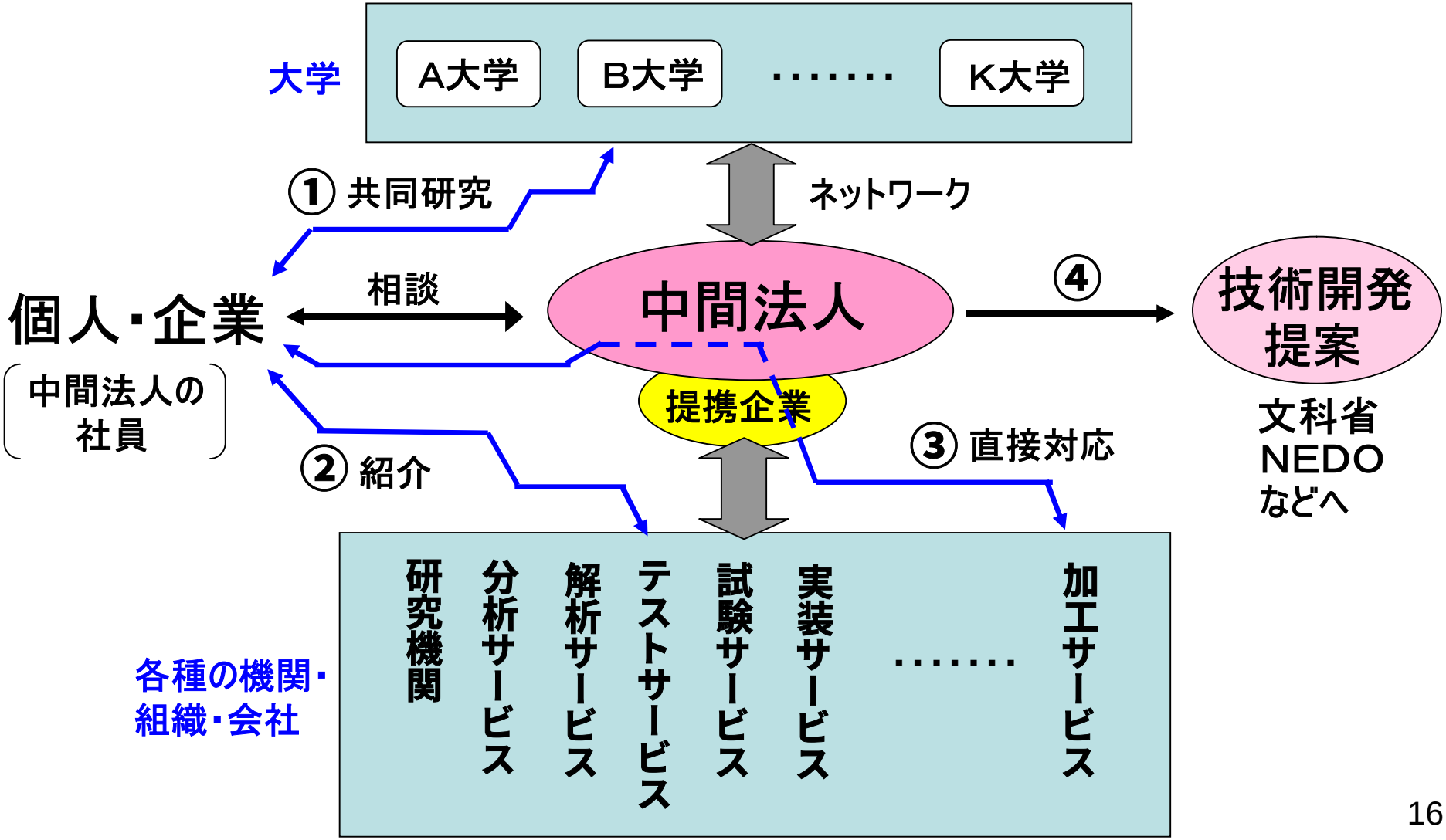
・動作解析の立場からLSIのセキュリティに関して提言

・上記に関連する事業

中間法人の役割



相談への対応形態


大学
A大学
B大学
・・・・・・・
K大学
ネットワーク
① 共同研究
個人・企業
中間法人の社員
相談
中間法人
④
技術開発提案
文科省
NEDO
などへ
提携企業
② 紹介
③ 直接対応
各種の機関・組織・会社
研究機関
分析サービス
解析サービス
テストサービス
試験サービス
実装サービス
・・・・・・・
加工サービス

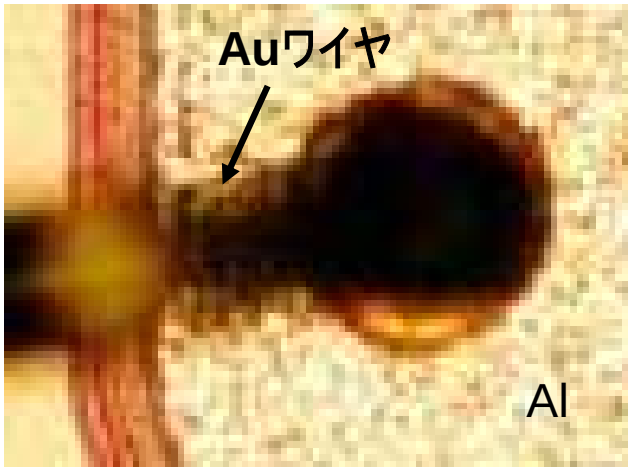
評価・解析技術の現状

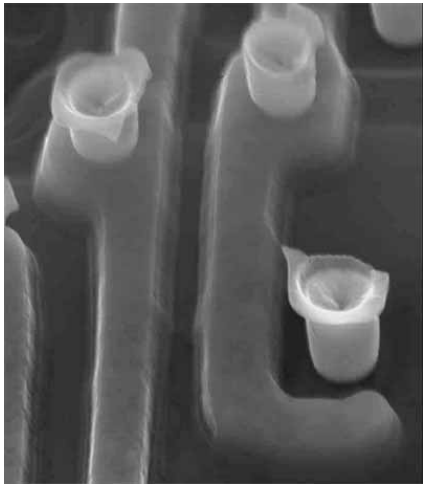
１．サンプルの加工
２．観察
３．特性測定
４．回路解読

サンプル加工

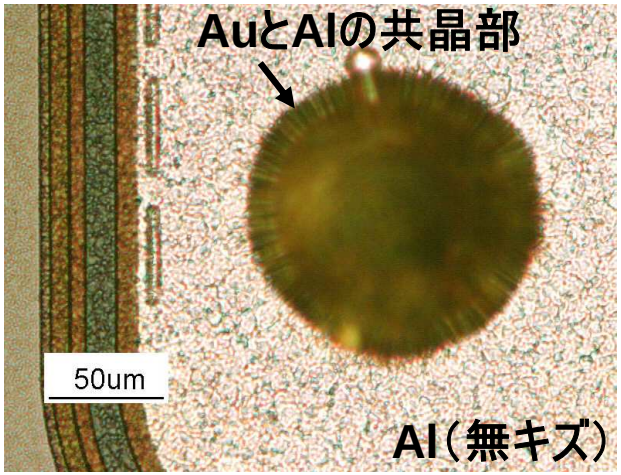
- 選択エッチング
- 平面研磨
- パッケージ変更
- 裏面研磨
- 配線の切断と繋ぎ替え

選択エッチング

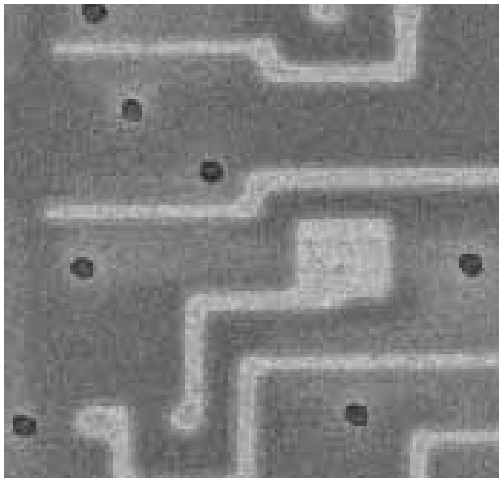




Wプラグの露出



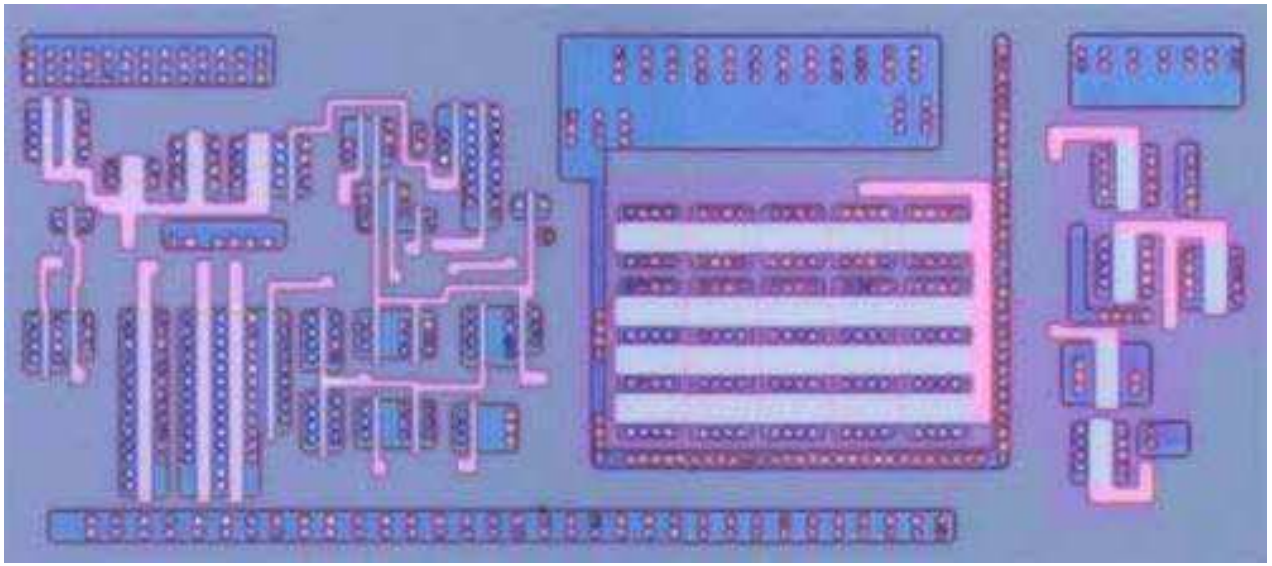
Auのみのエッチング



Wプラグのみの除去

拡散層タイプの顕在化

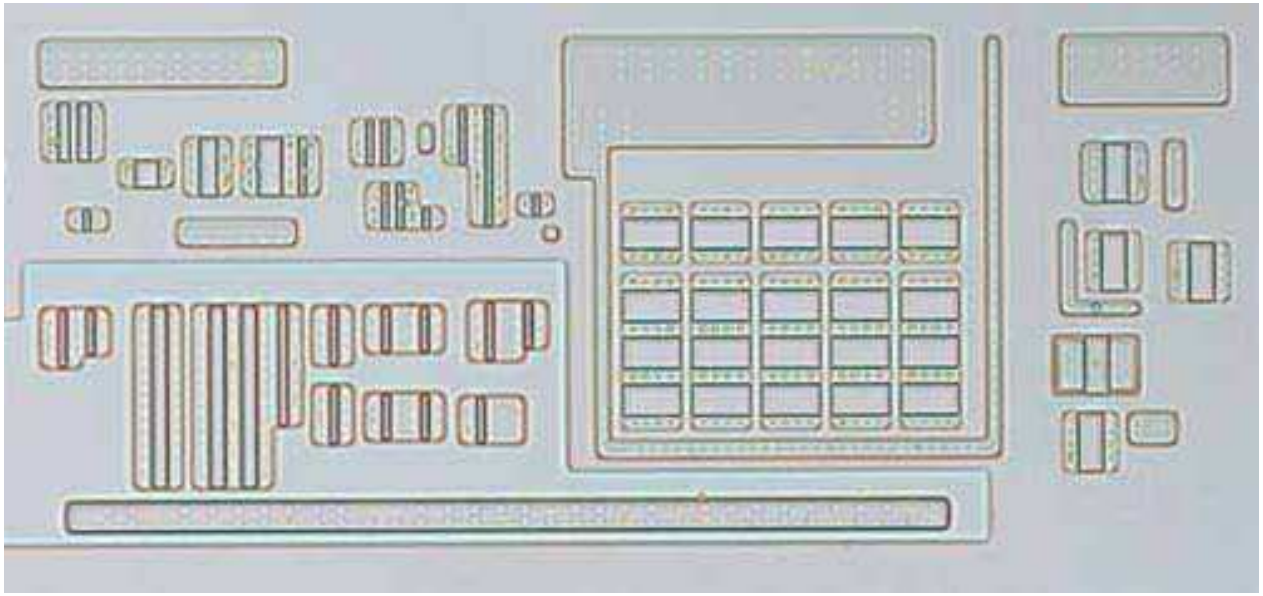
ｹﾞｰﾄと拡散層



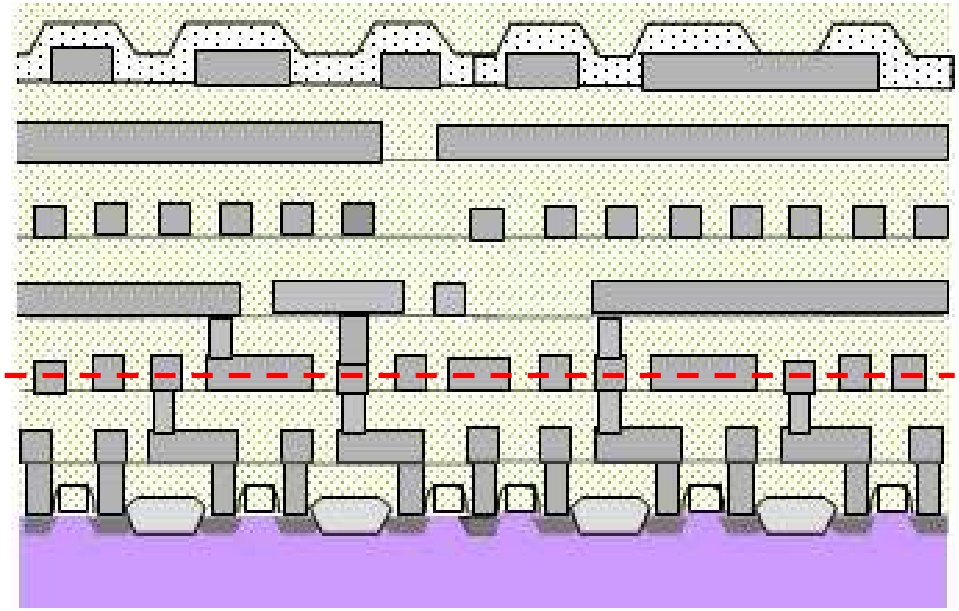
拡散層処理

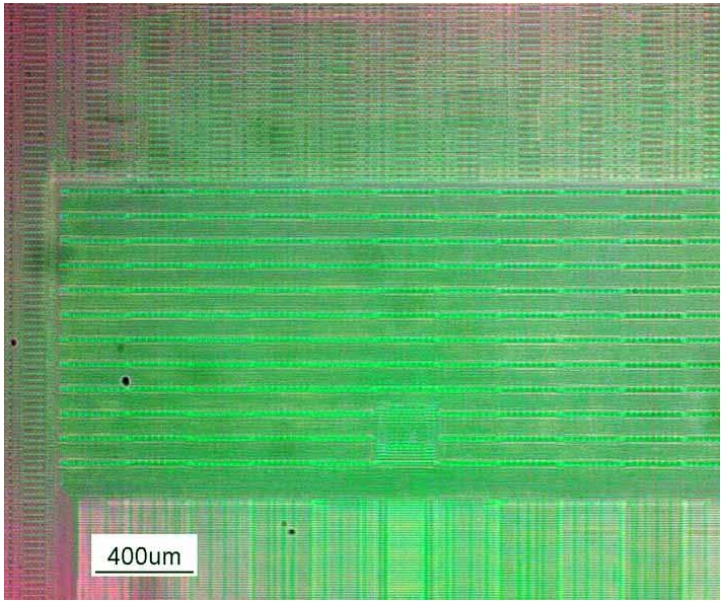
〔nMOSとpMOSの識別〕

n-well
の境界



平面研磨

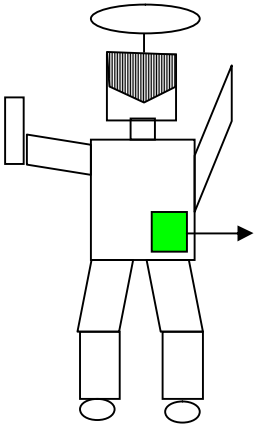


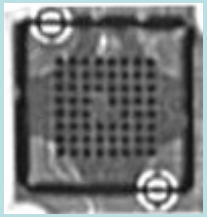


面積: 1cm □
均一性: < ±0.15μm

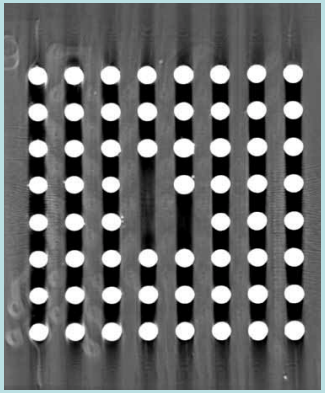
研磨領域の干渉色

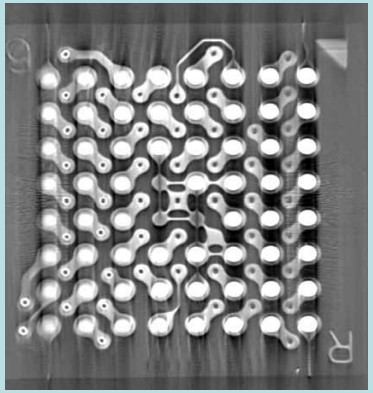
チップの実装変更

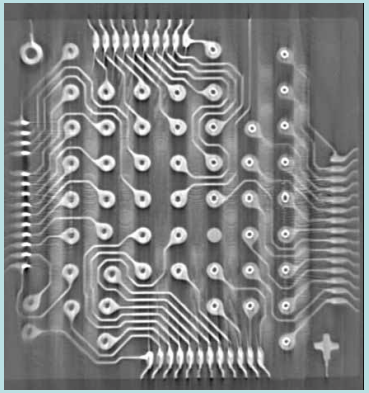




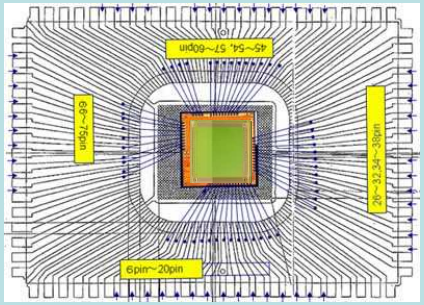
パッケージ取出し



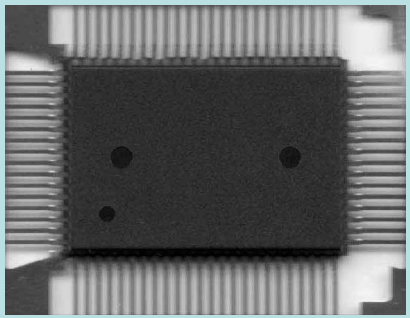




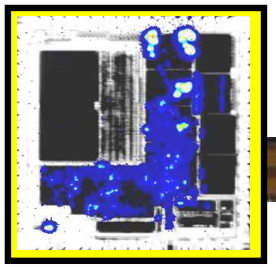
ハンダボールとパッドとの接続関係を把握（X線ーCT）

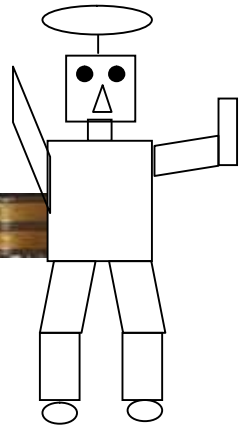


QFPパッケージ設計



QFPパッケージに実装

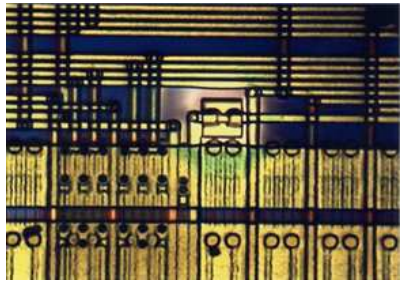


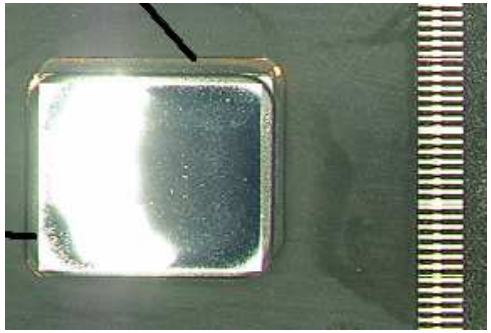


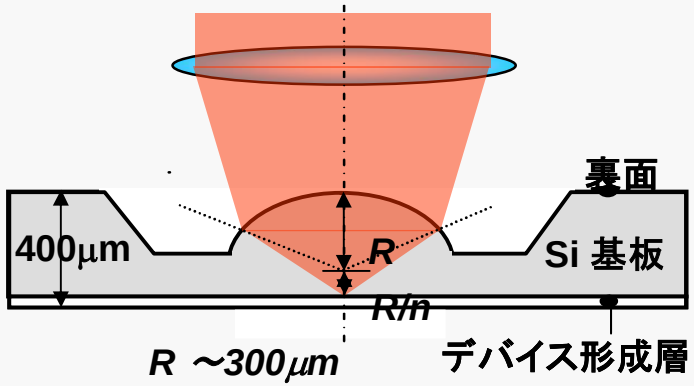
動作解析

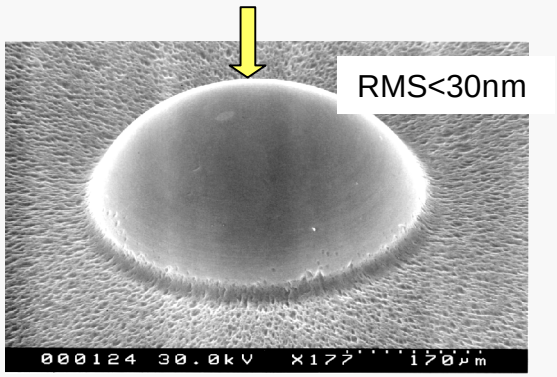
故障箇所の絞込み用サンプル加工技術

FIB加工	観測パッドの形成 配線の繋ぎ替え
裏面研削	裏面の全面研削 裏面の部分研削 裏面の部分研削 ＋ 固浸レンズ形成



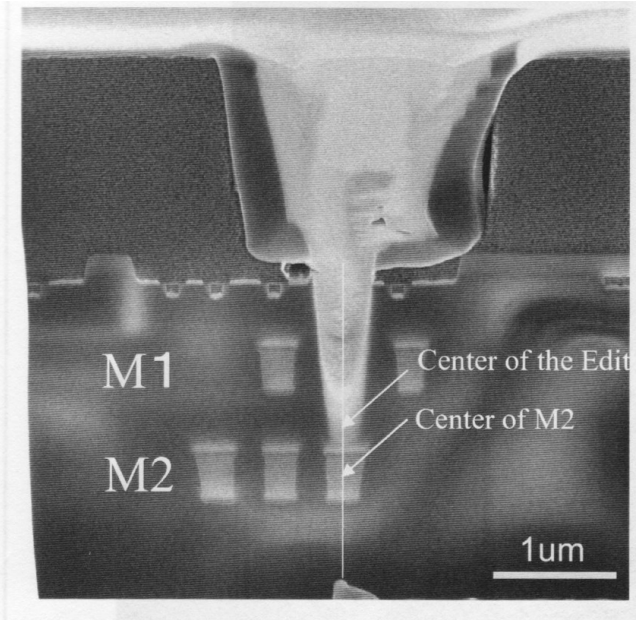


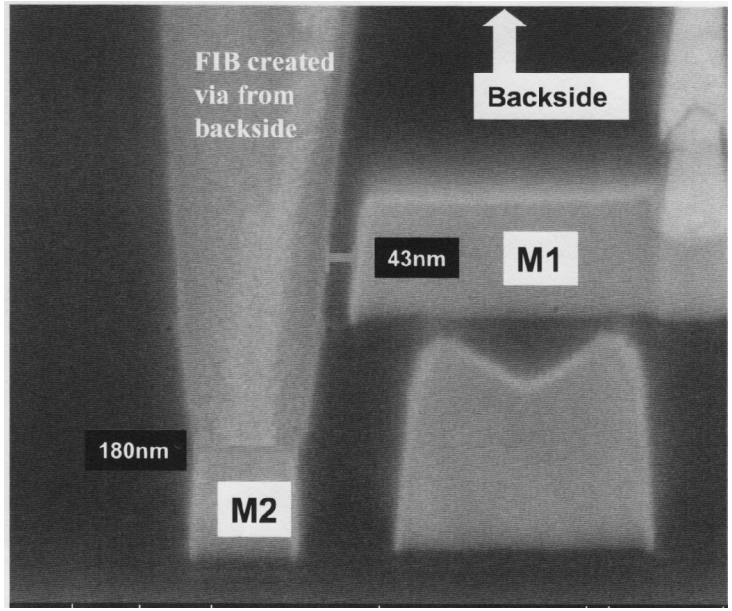


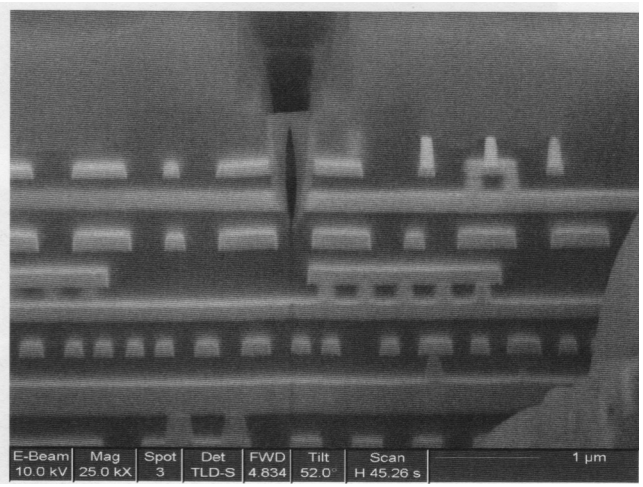


（ルネサス：益子氏データより引用）

(LSIの電気特性評価-3)







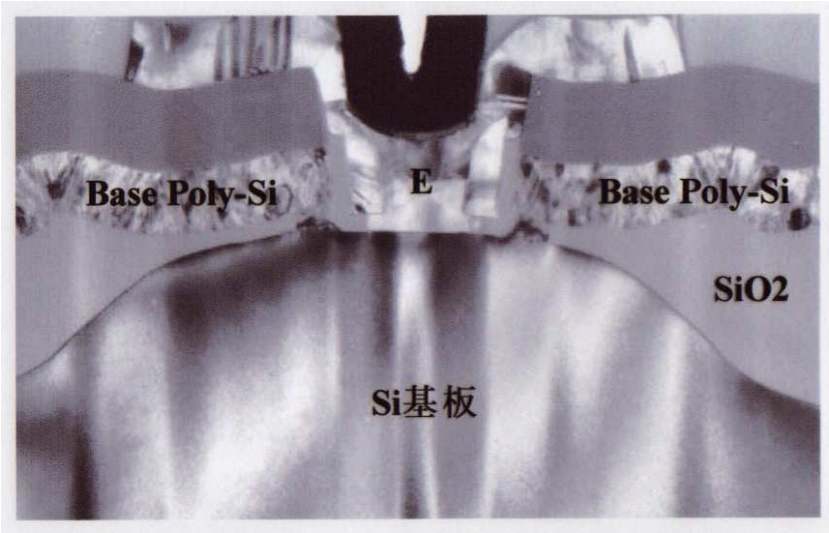
ウエハ裏面からのパッド形成
および配線切断

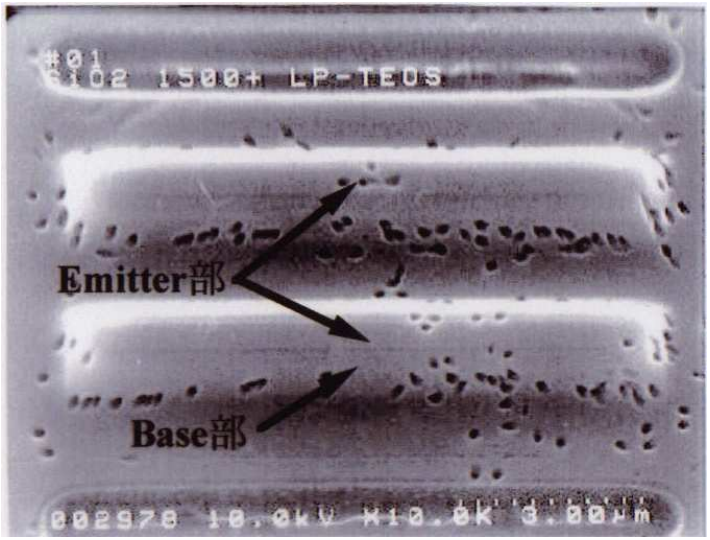
(Credence資料より)

形状観察

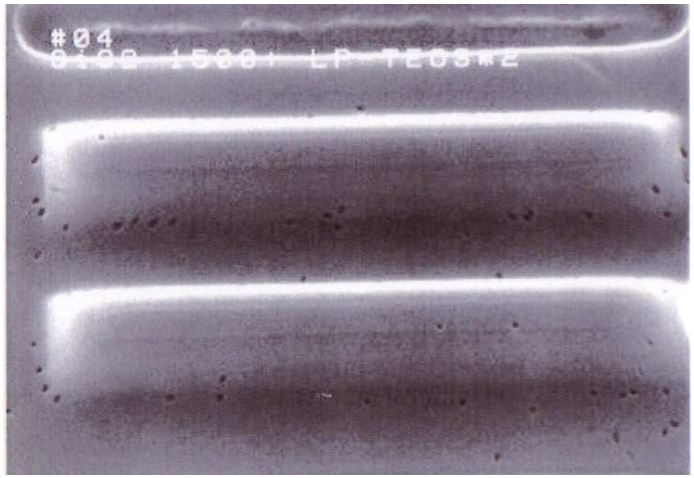
- SEM
- EBIC
- STEM（Scanning－TEM)
- 超高圧電子顕微鏡
- SCM（Scanning Capacitance Microscopy)
- EELS（Electron Energy Loss Spectroscopy)

酸化膜ストレスと結晶欠陥の発生

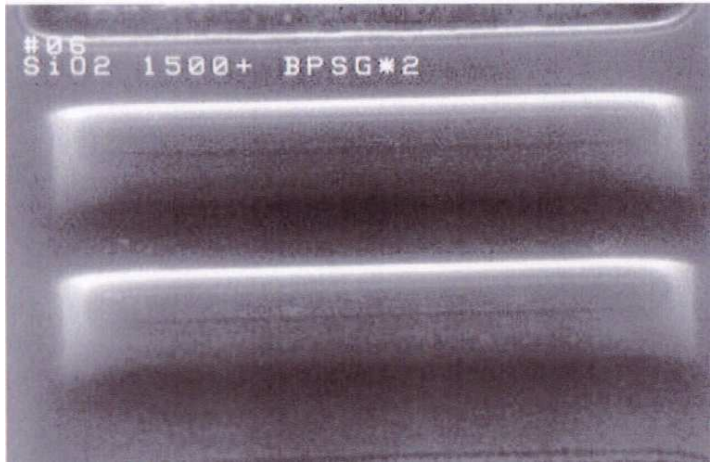




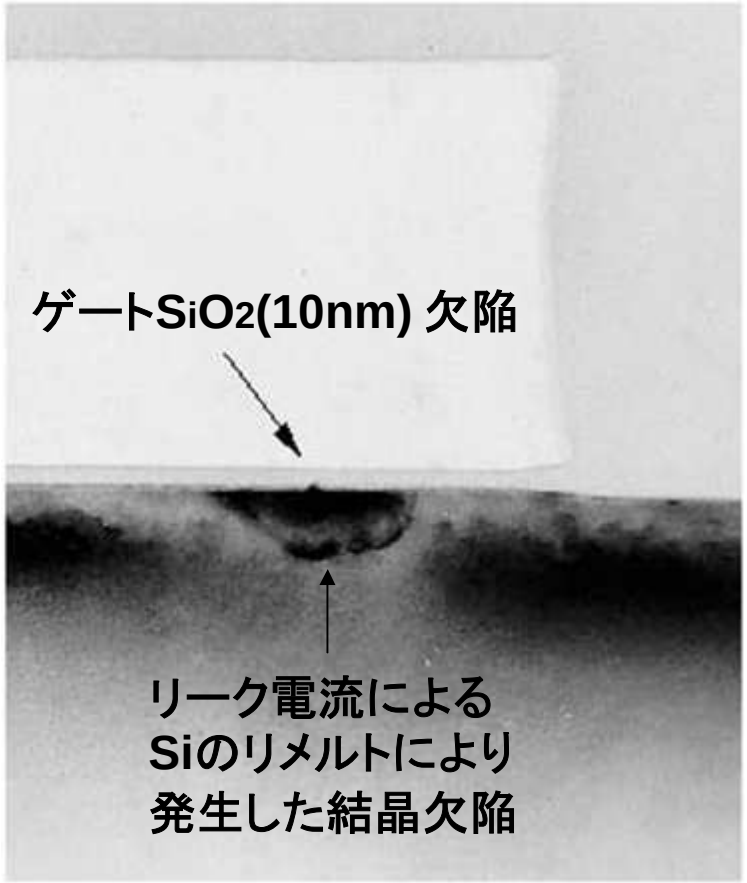
SiO2 + LP-TEOS



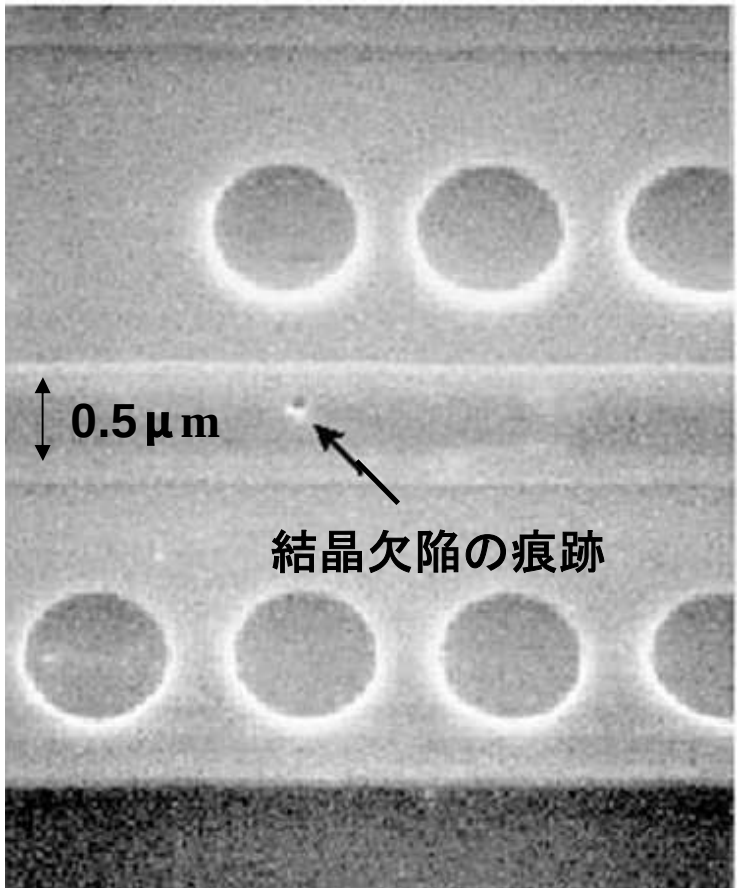
SiO2 +BPSG



超高圧（3MeV)TEM観察 (2)

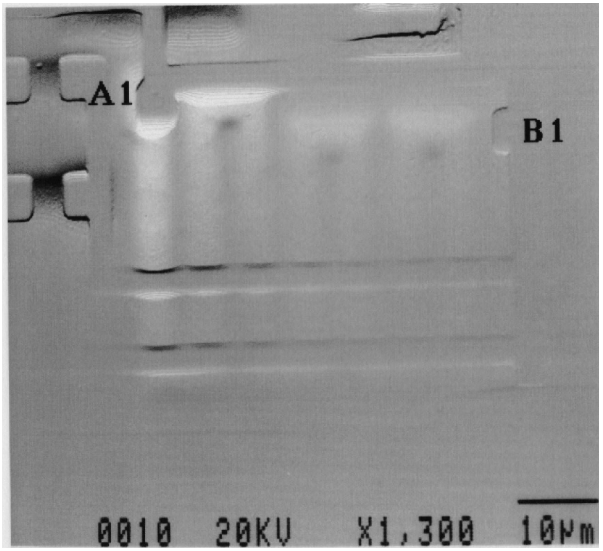


ゲート発光部をゲート幅より厚い試料を作製して観察(大阪大学超高圧TEMで観察)

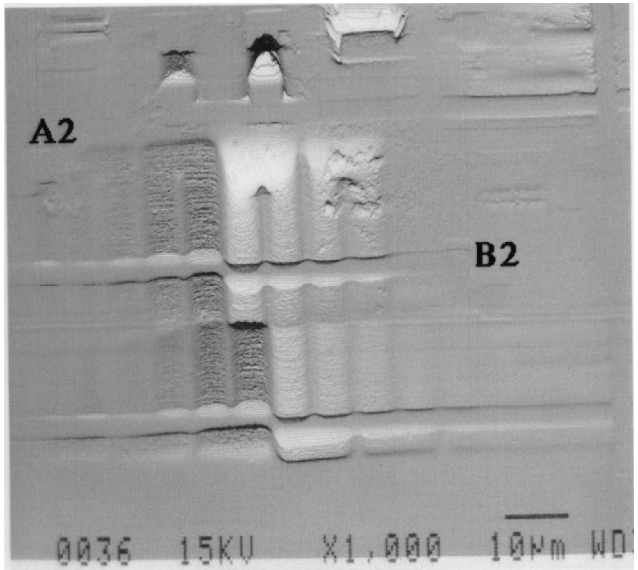


結晶欠陥を顕在化させるウエットエッチング処理後(左とは別試料)

GaAs HBTの拡散抵抗異常部のEBIC観察

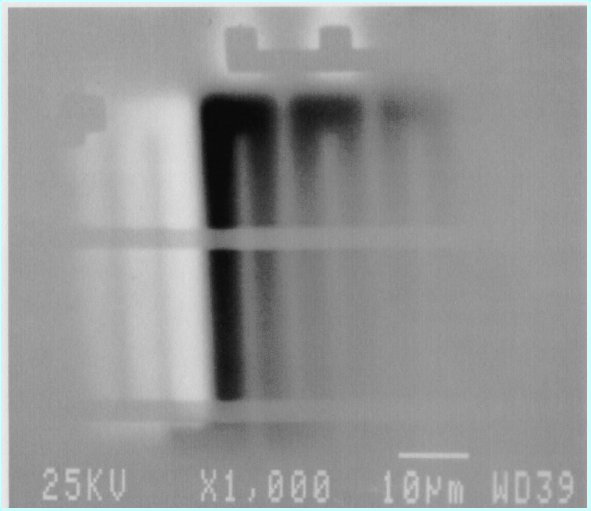


正常抵抗のEBIC像

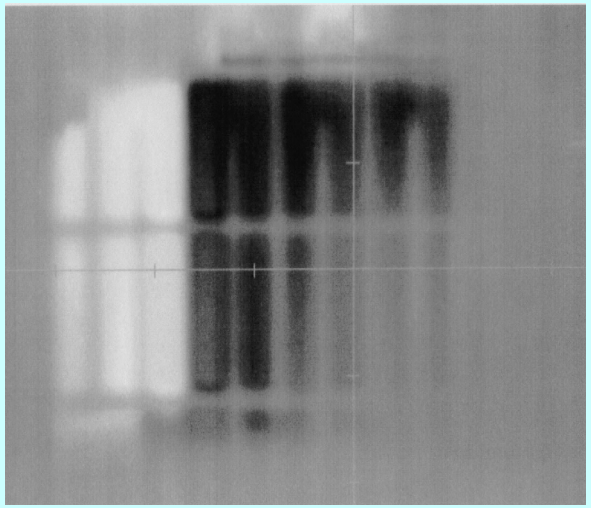


異常抵抗のEBIC像

EBIC像と
OBIC像の
比較



EBIC



OBIC

EBIC観察ーデンソーの論文から

Adaptive Cruise Control (ACC) system.

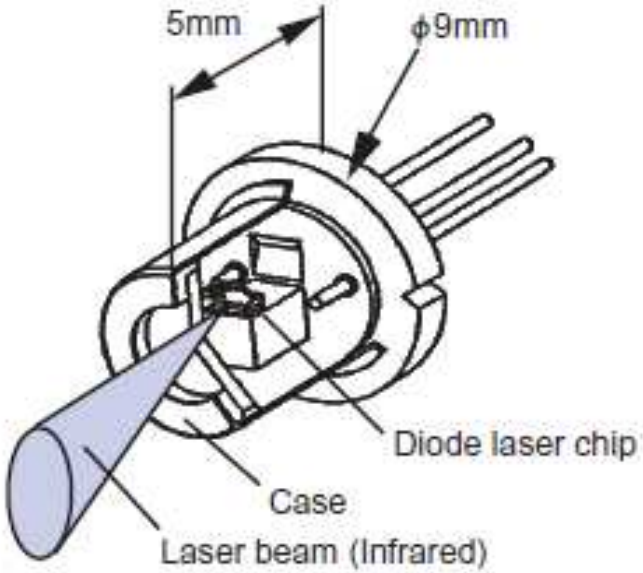
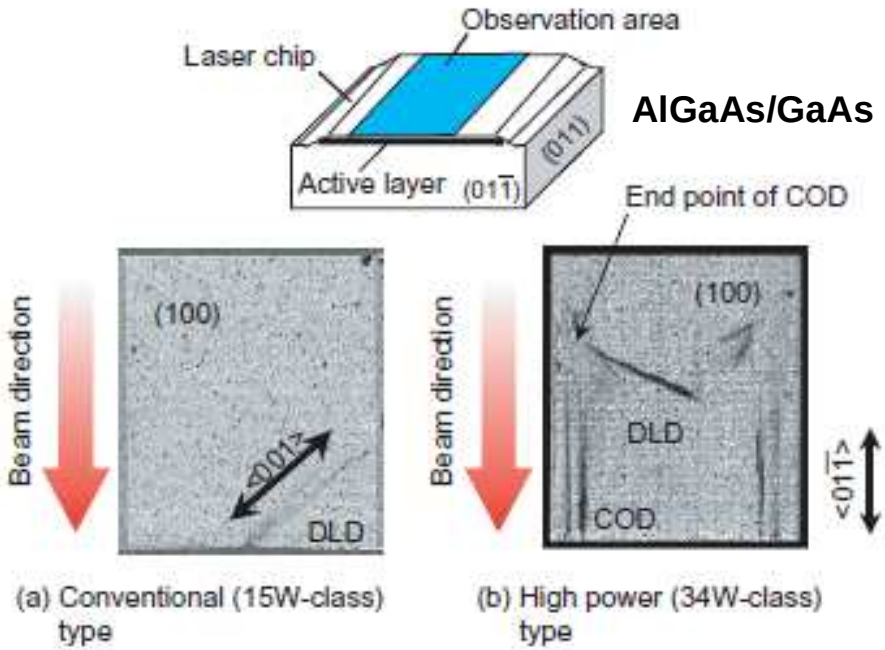


Fig. 1 High power diode laser



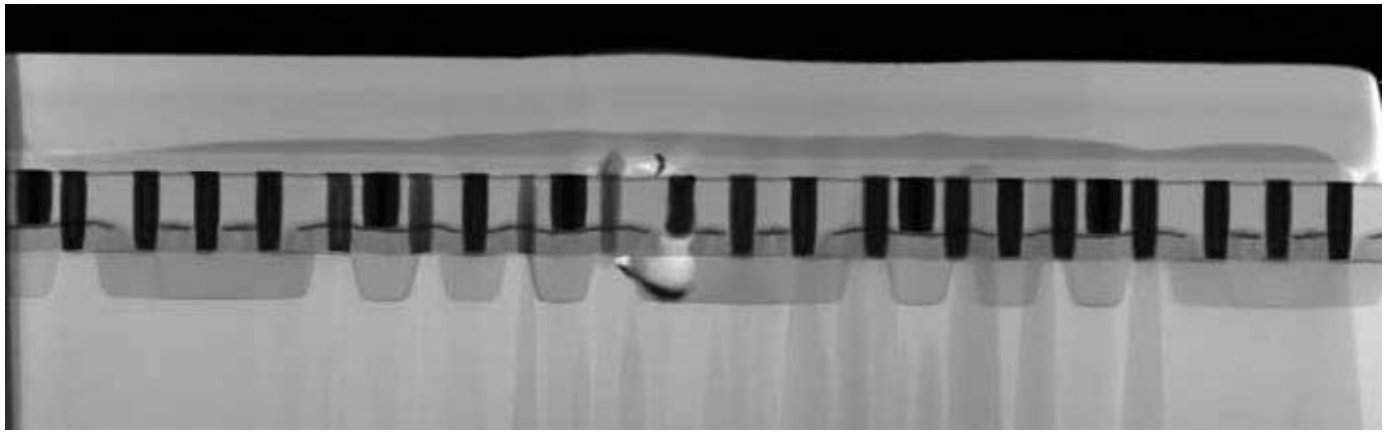
(a) Conventional (15W-class) type

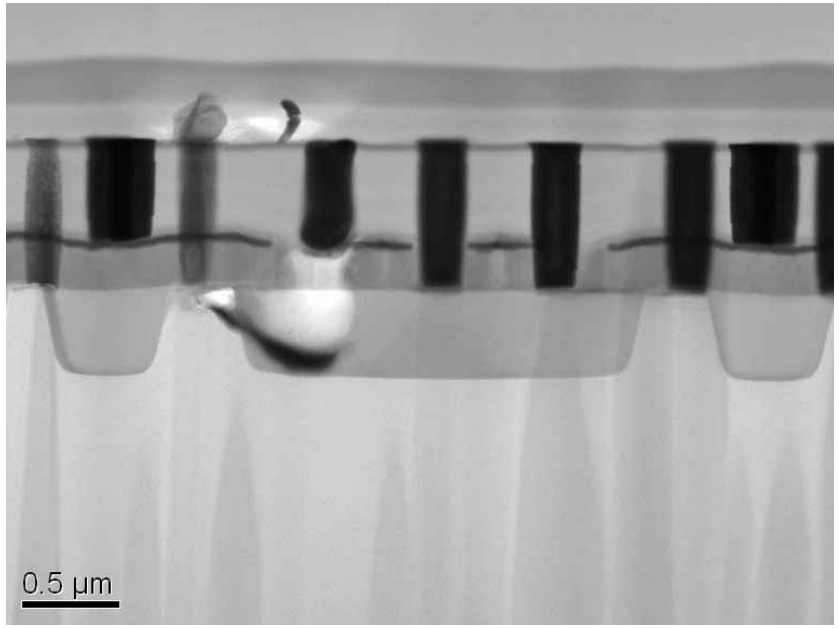
(b) High power (34W-class) type

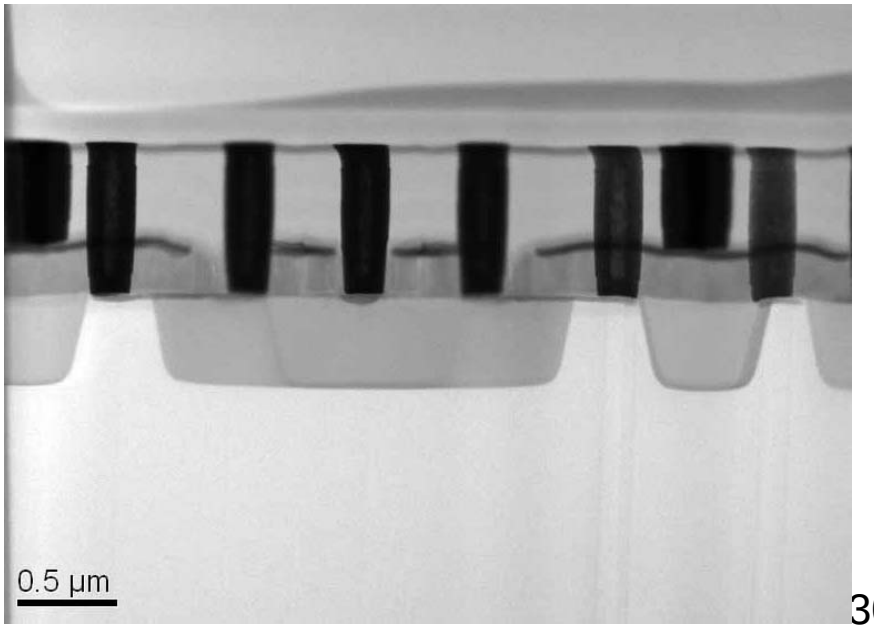
Fig. 9 Results of EBIC analysis

デンソーテクニカルレビュー Vol. 9 No. 2 2004 pp.88-94 渥美他

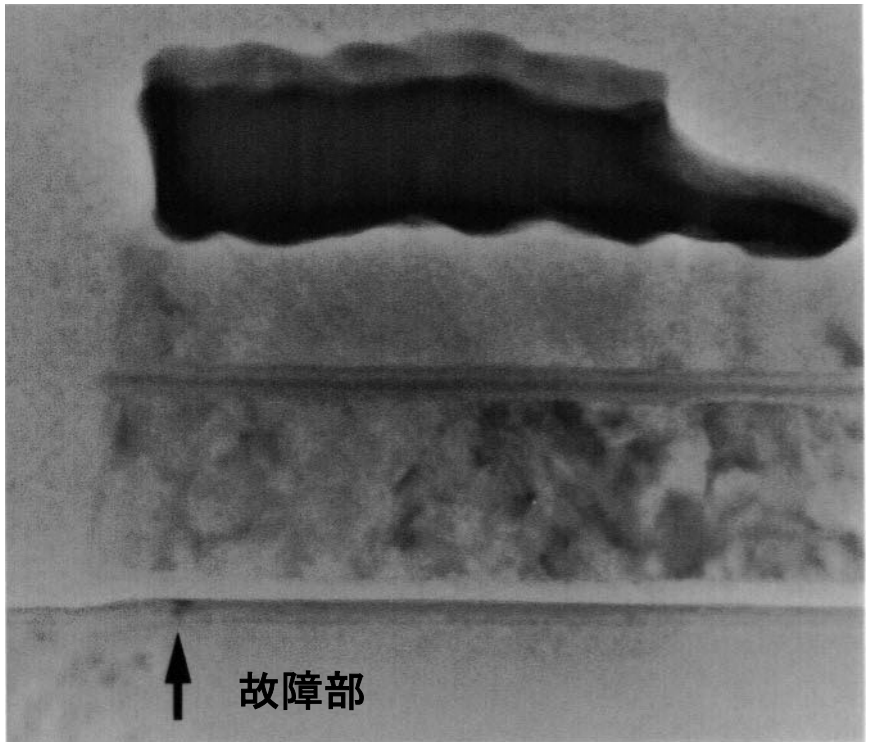
STEMによる異常セルの観察

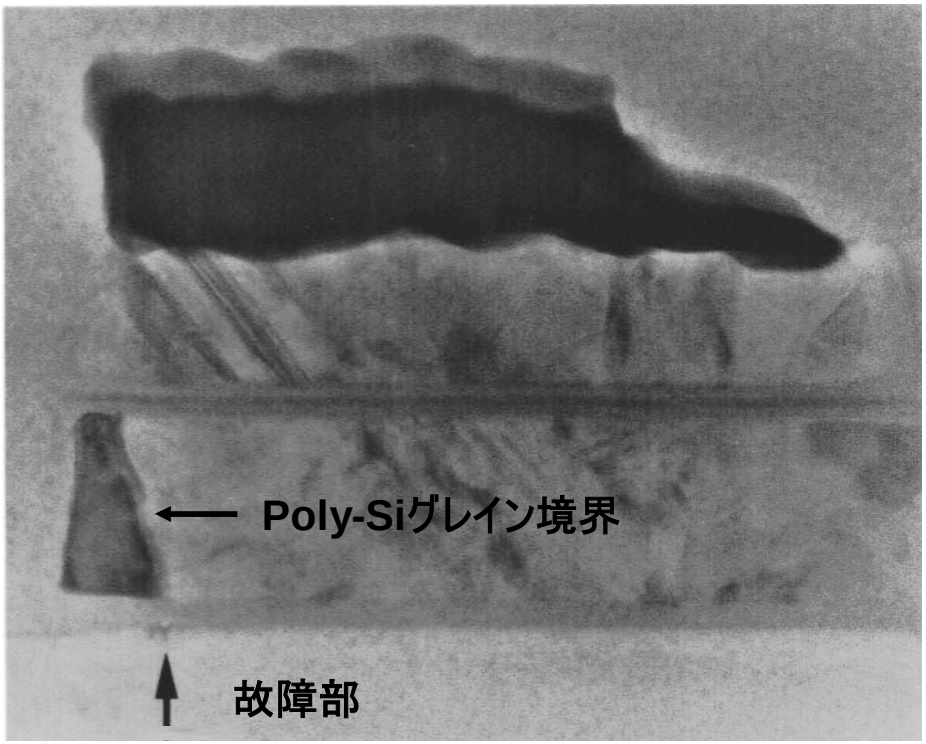






市場故障フラッシュ・メモリセルのTEM像





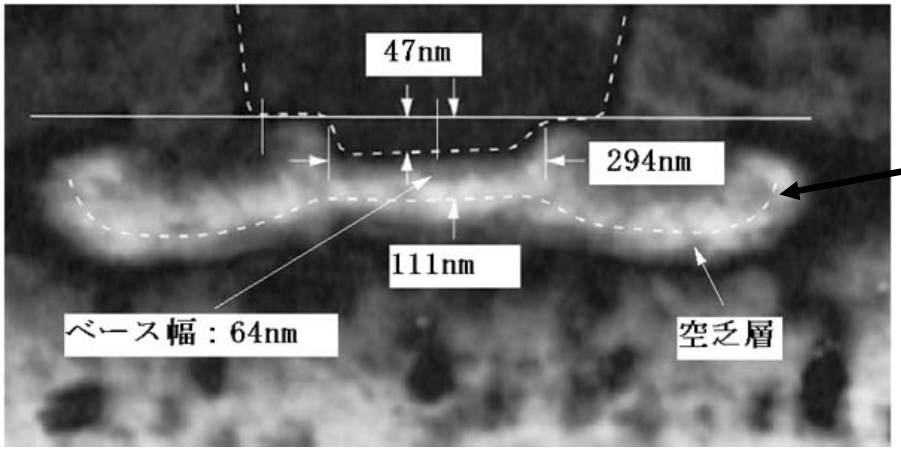
（チルト観察）

大阪大学の超高圧電子顕微鏡
を使用して撮影

評価・解析技術の現状(1)

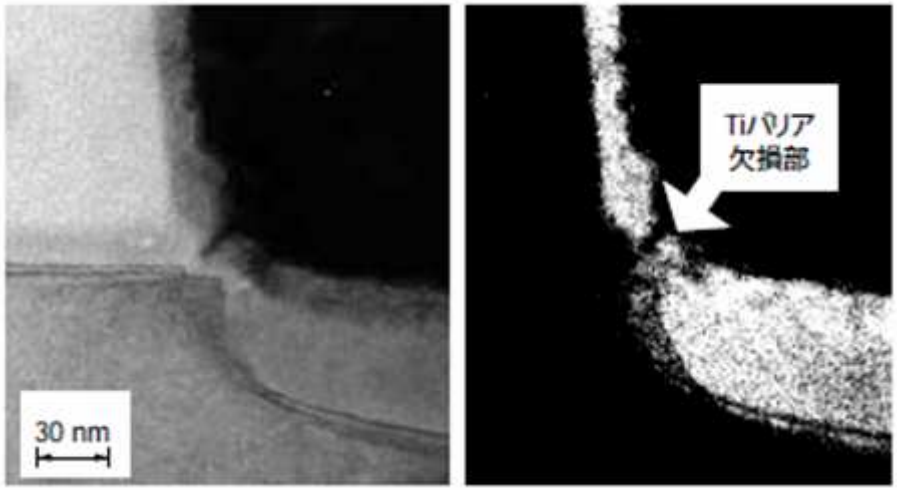
(構造解析)

SCM



接合位置
（シミュレーション）

TEM/EELS

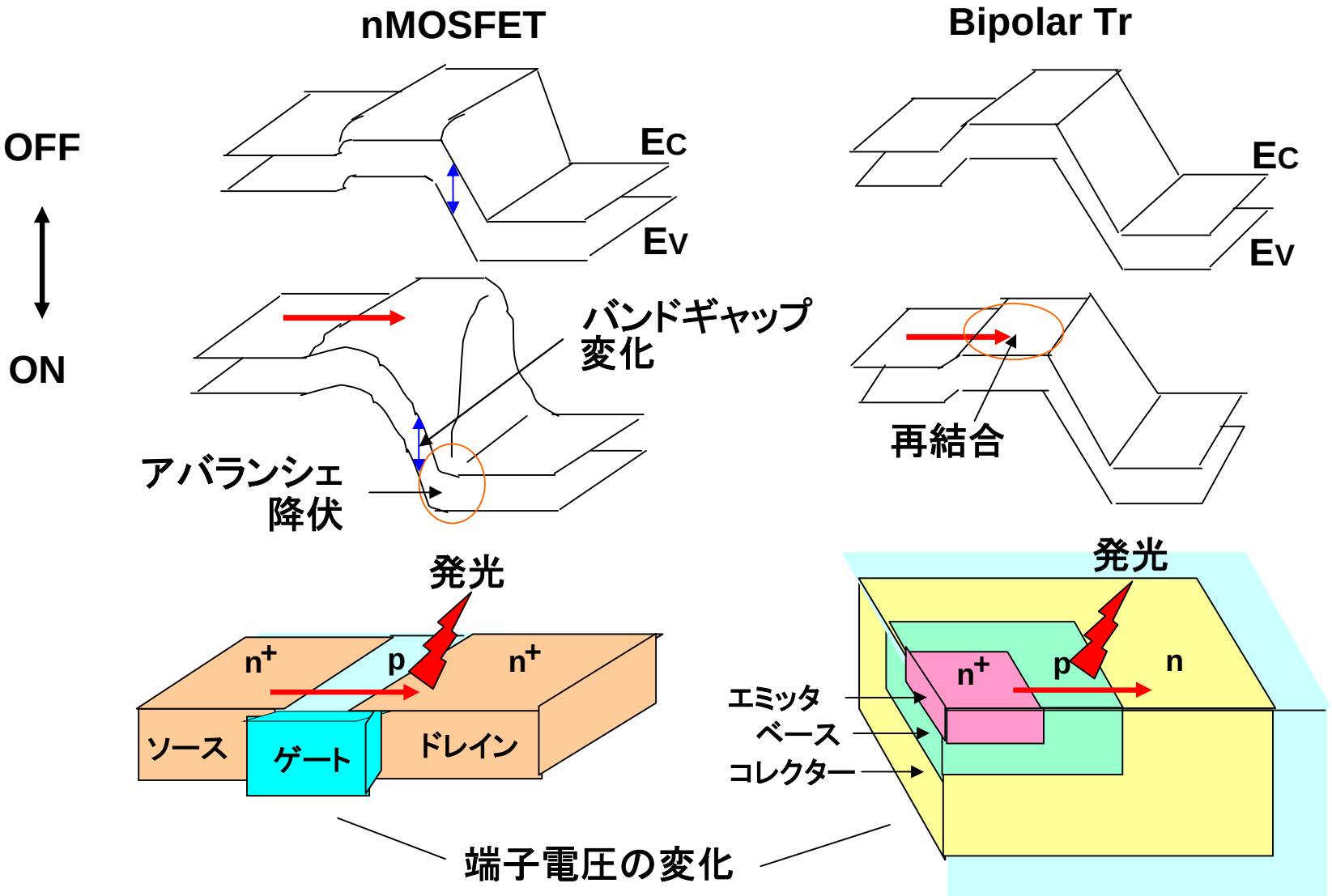


（日立ハイテクノロジーズの写真）

特性測定

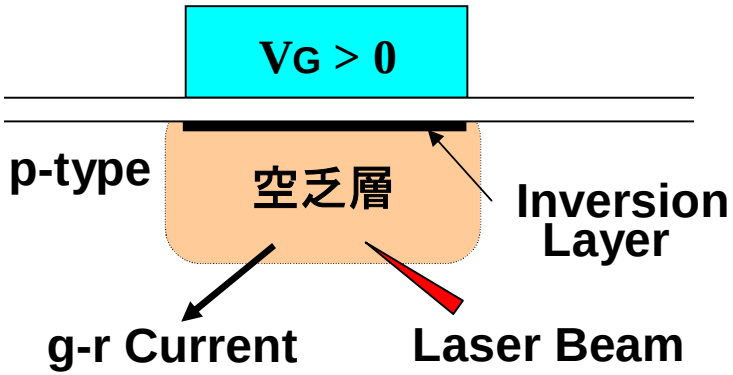
1. デバイス中の物理現象
2. ナノプローバ
3. EBテスター
4. LVP
5. TRE
6. EO-サンプリング

デバイス中の物理現象 (1)

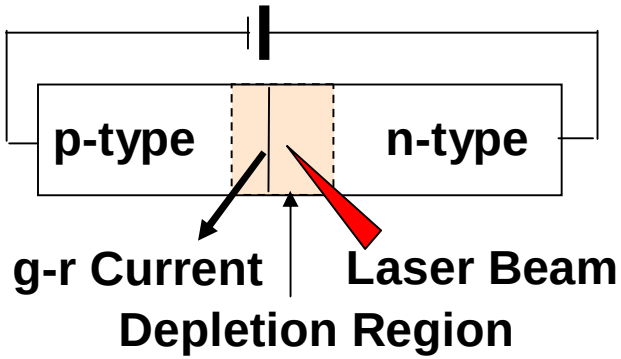


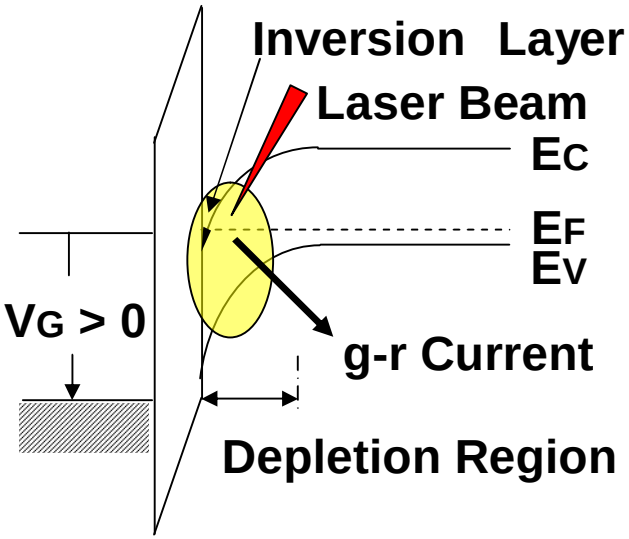
デバイス中の物理現象 (2)
ーレーザ照射中ー

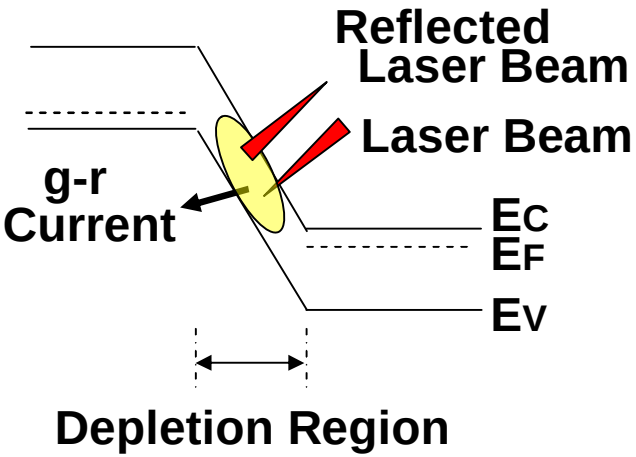
MOS Diode



Reverse Biased pn-Junction Diode

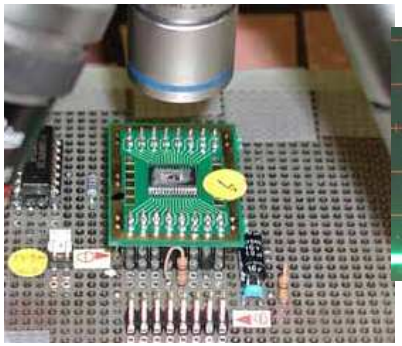


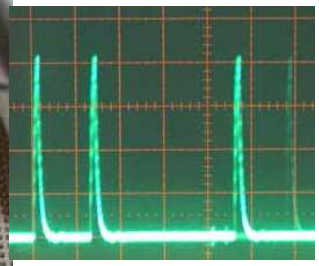




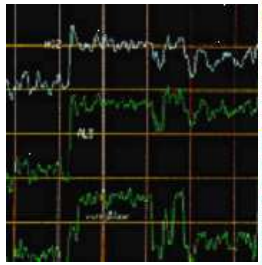
耐タンパー性構造（2）

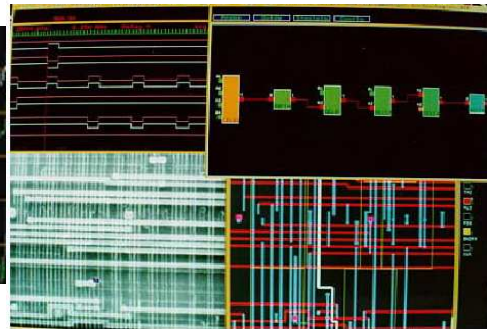
LSI内部の動作測定



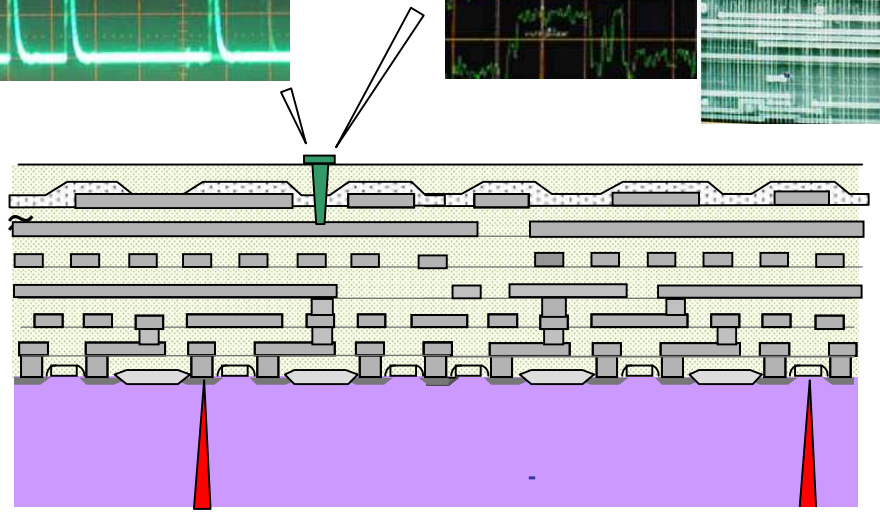


メカニカルプロービング

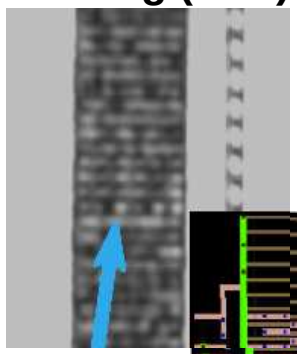


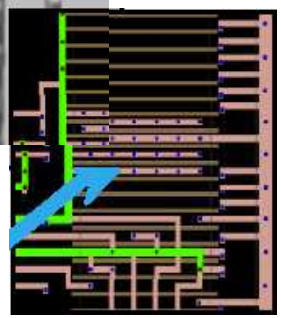


EBテスティング



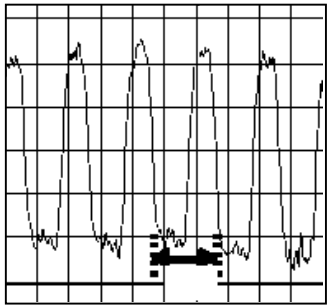
Laser Voltage Probing (LVP)





プローブポイント

(ルネサスのデータ)

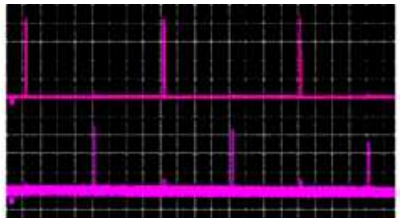


Time (500ps/div)

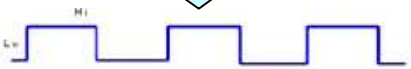
Time Resolved Emission (TRE)

nMOS

pMOS

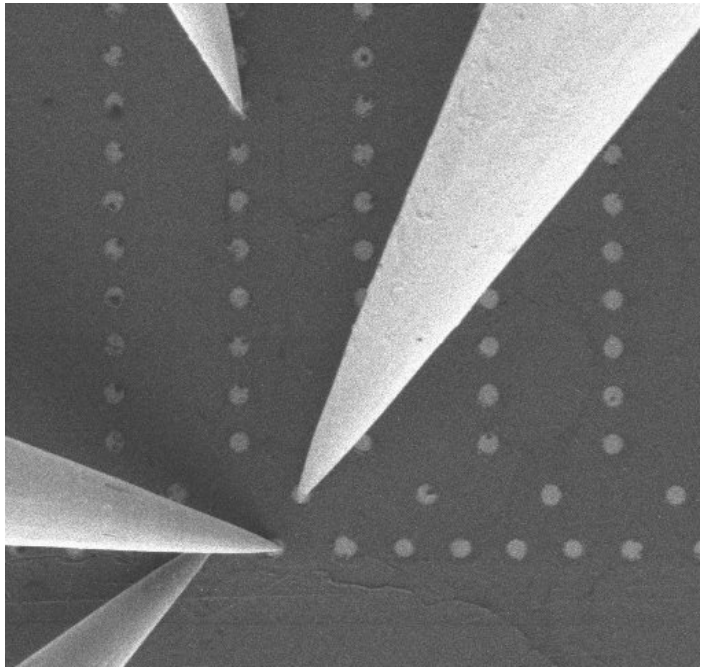


動作波形の復元

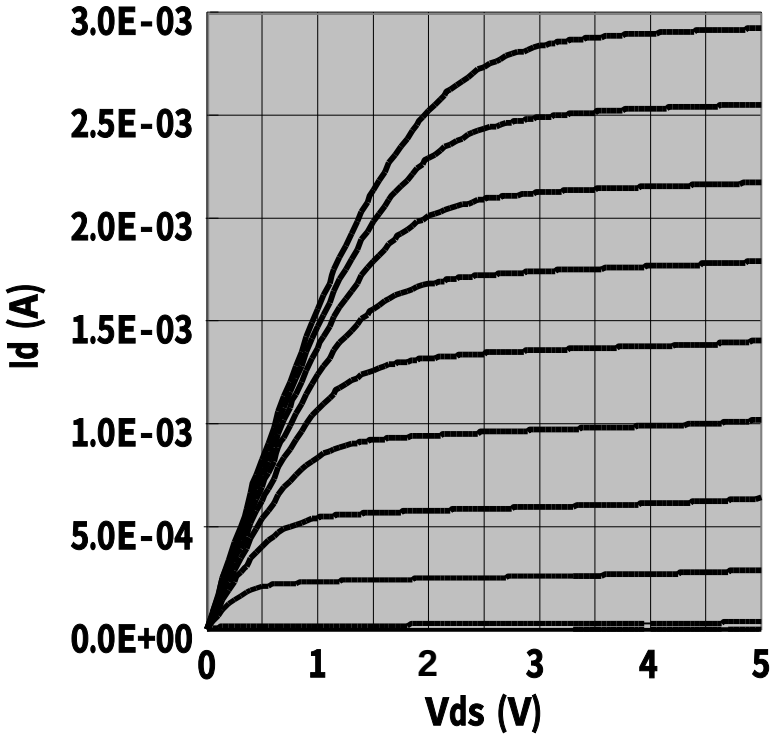


(ルネサスのデータ)

デバイス・sRAMセル特性の測定

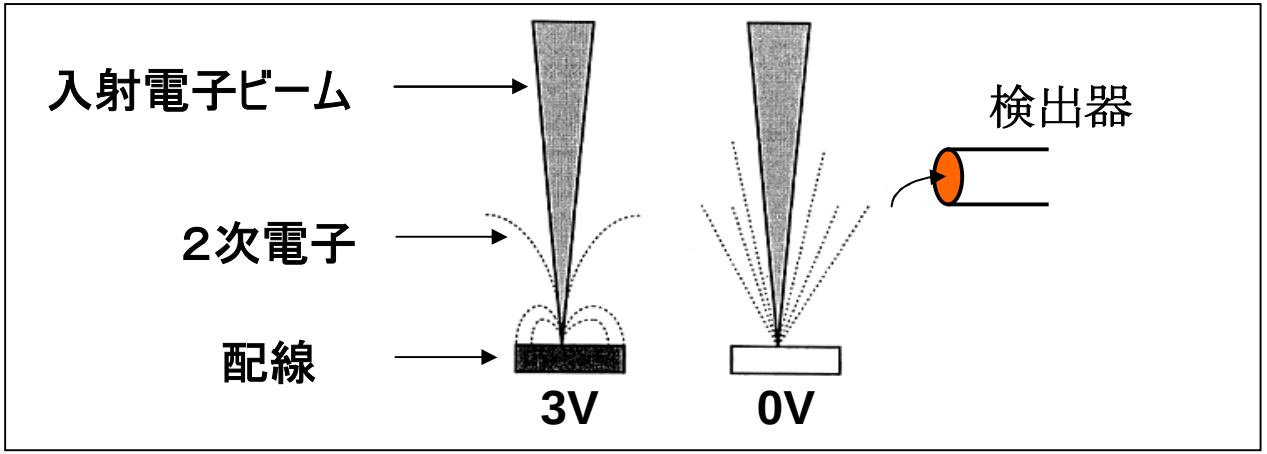


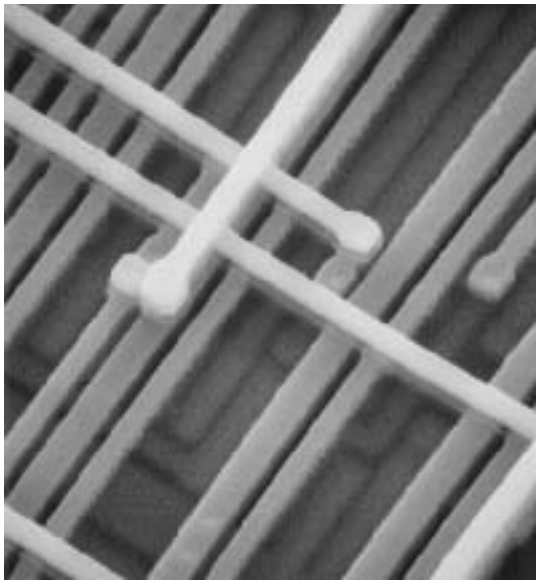
プロービング



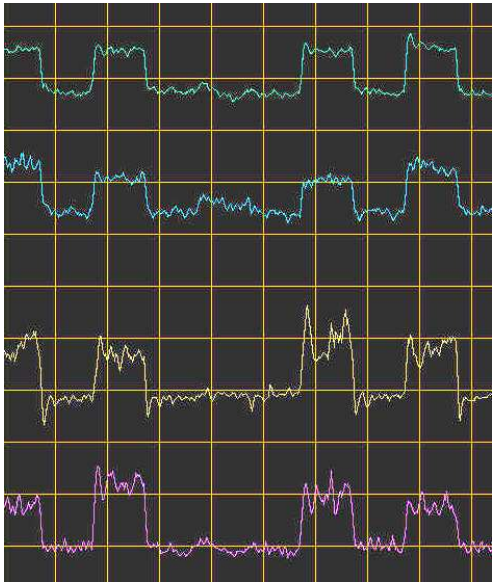
Id-Vd 特性

電子ビームテスティング



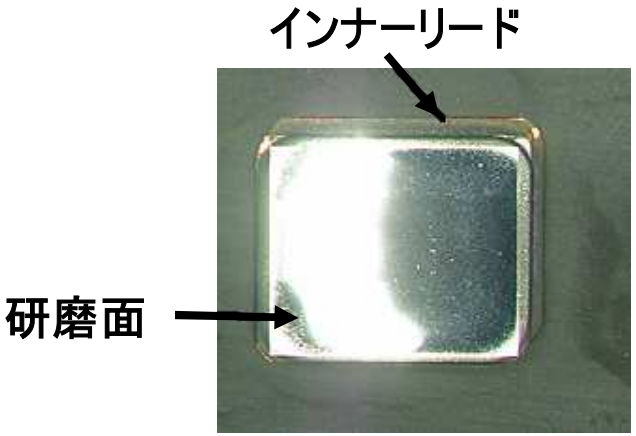


RIEによる配線露出

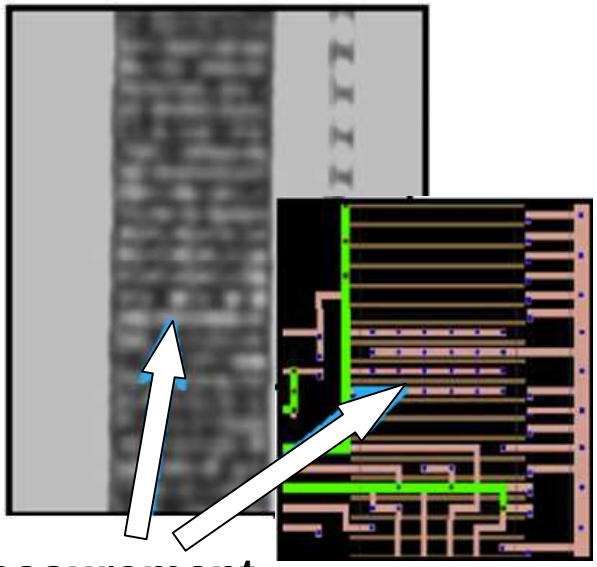


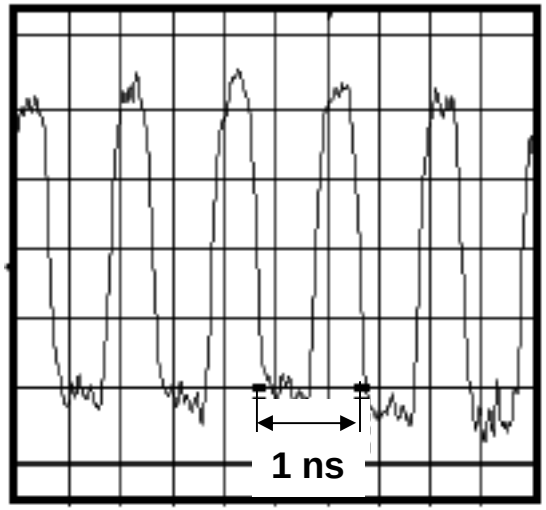
測定波形

LVP（Laser Voltage Probing)による測定



裏面研磨チップ

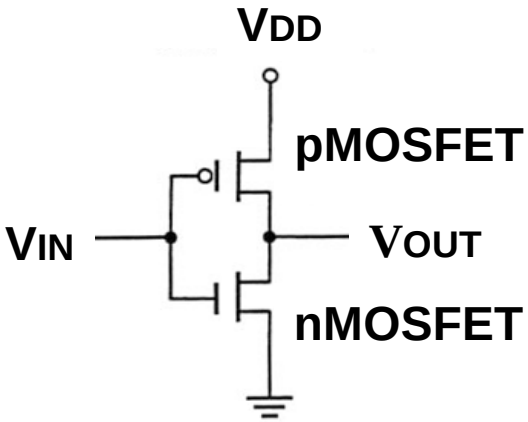




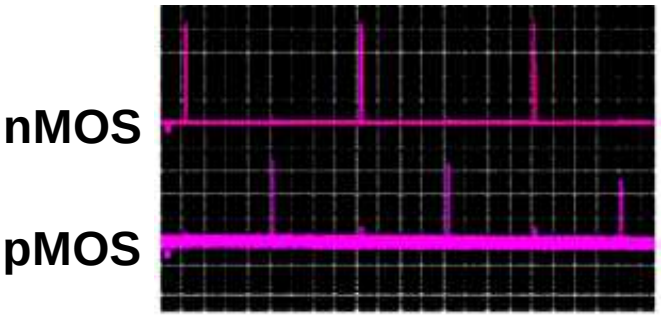
Waveform

（ルネサスのデータ）

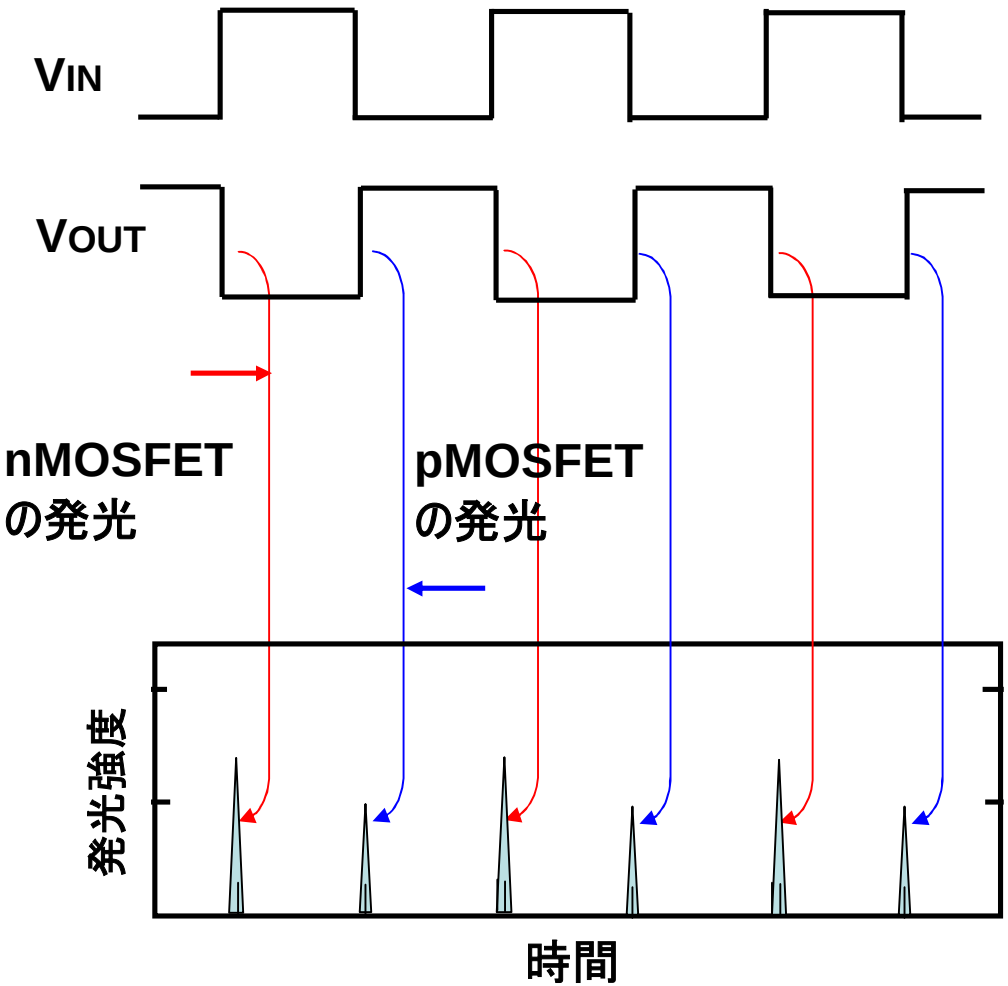
TRE(Time Resolved Emmision)による測定
（チップ裏面からの測定）



CMOSインバータ

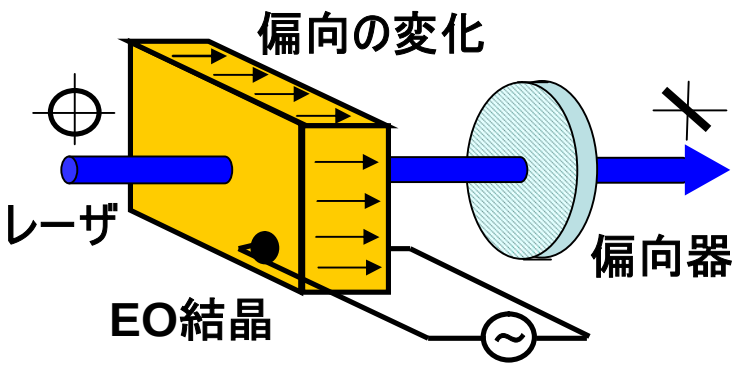


（ルネサスのデータ）

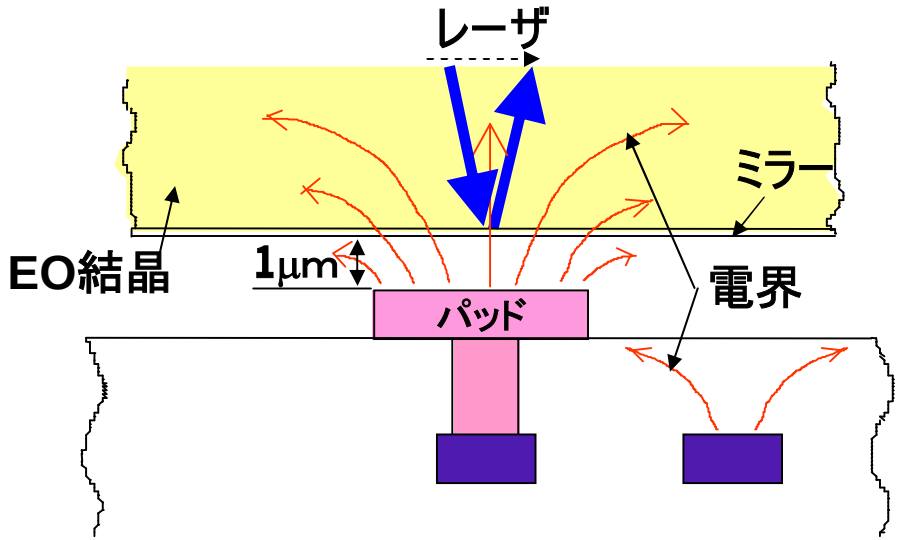


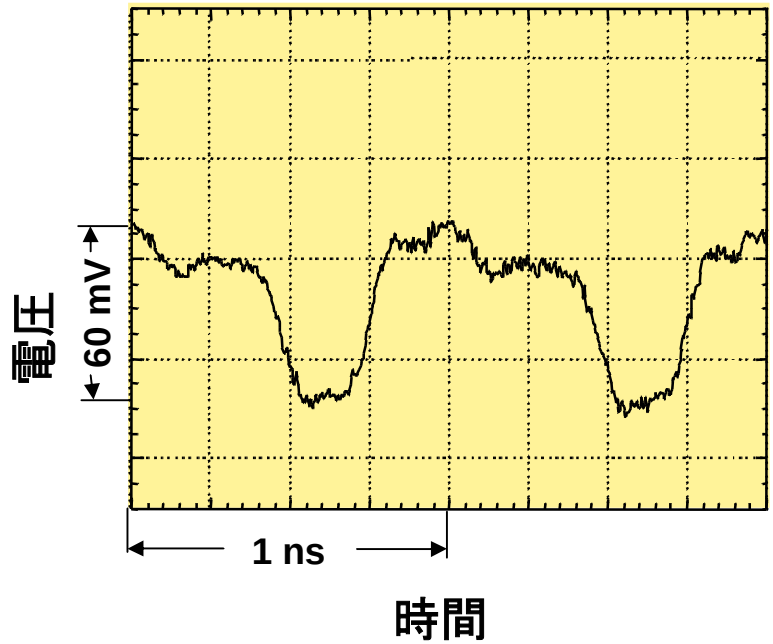
EO-Samplingによる測定

(Pockels 効果)



バンド幅: ～ 60 GHz





回路解読

・回路図
・ネットリスト
・セル抽出

} 自動化

（通常のフロー）

↓

テクノロジーファイル
セルライブラリー
CADデータ
製造
チップ

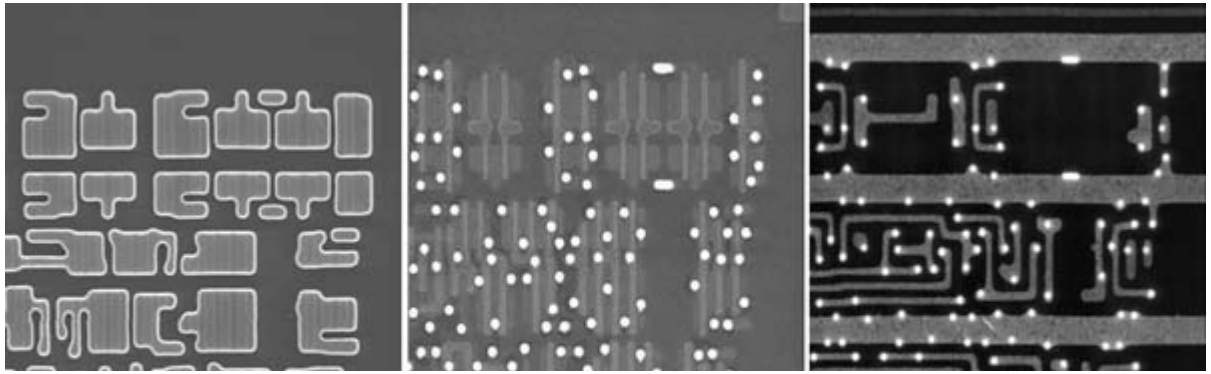
（回路解読のフロー）

↑

CADデータ
テクノロジーファイル
セルライブラリー
ネットリスト
GDSデータ
チップ

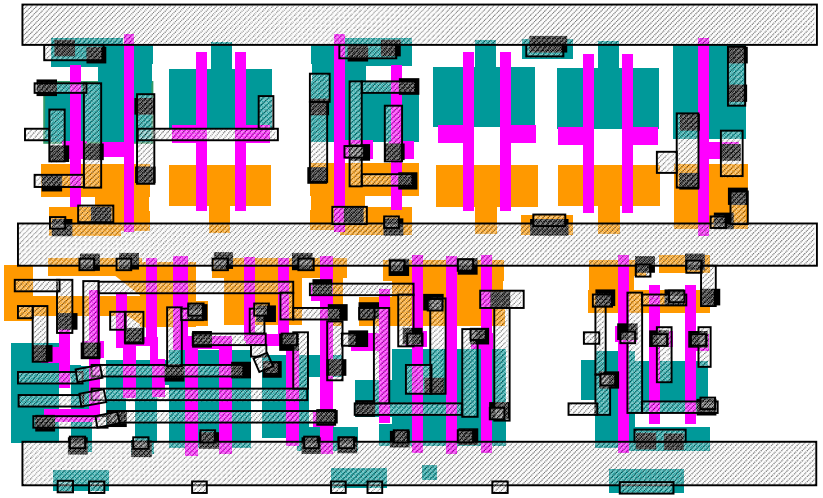
回路解読

Active（n&pウエル)　Gate & Via1　ML1



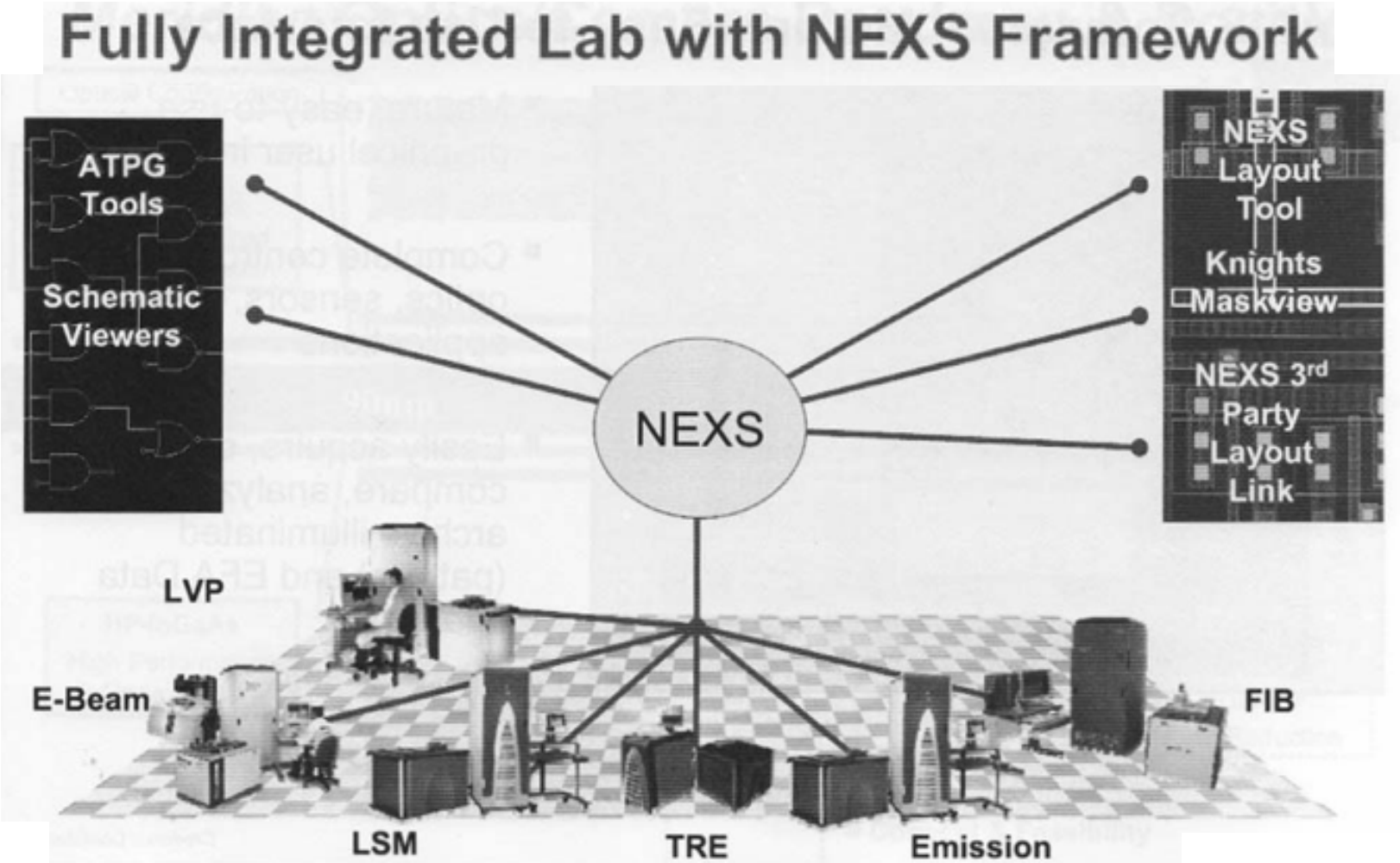
平面研磨サンプル (4レイヤ分) のSEM写真 (90nmプロセスのASIC)

⇩ レイアウトパターンの再生



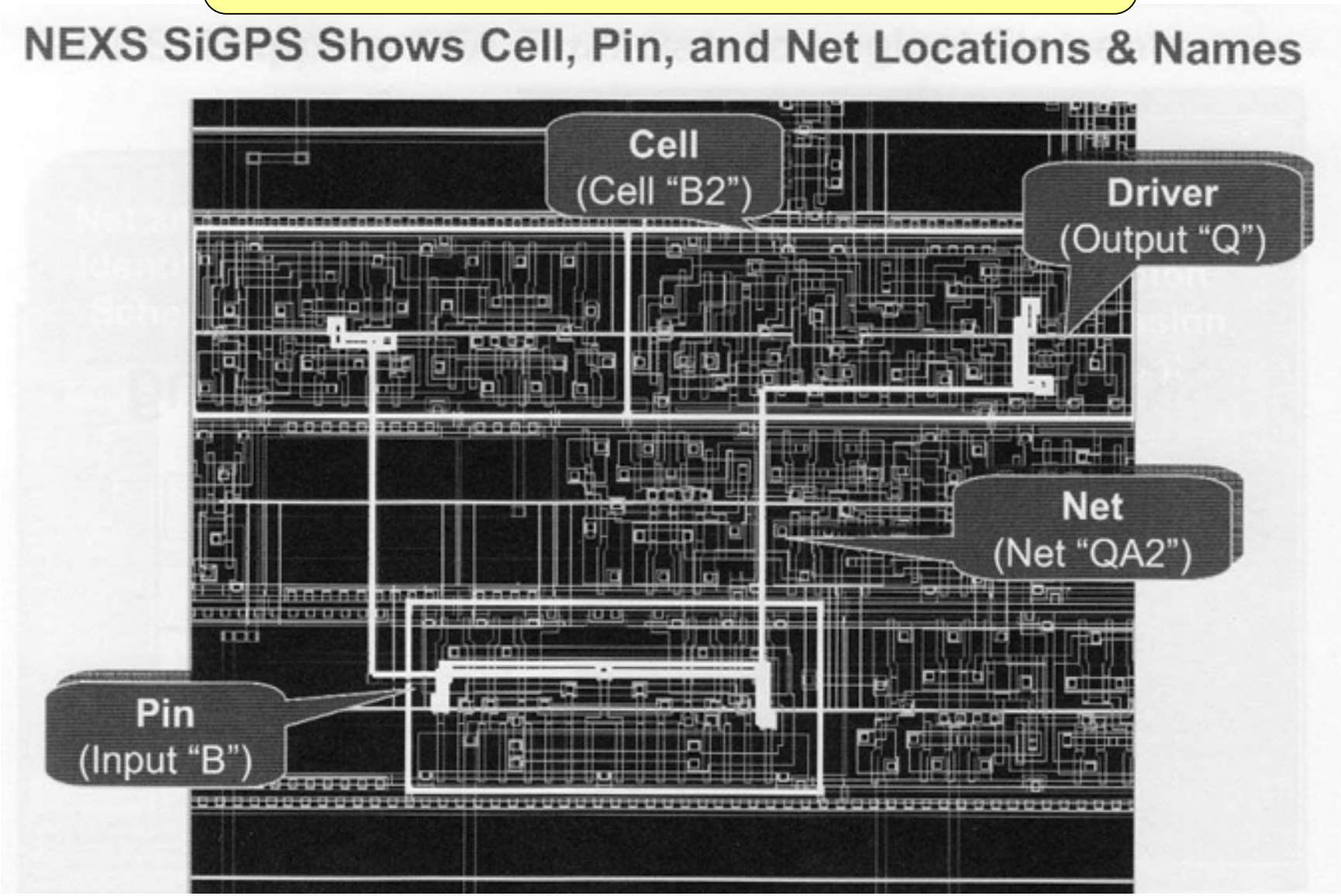
⇨ CADデータ化

CADデータ化の効果（1）



(Credence資料より)

CADデータ化の効果（2）



(Credence資料より)

今後の課題

１．従来技術の改良：高感度化
- 微小部の不純物分布
- 微小部のストレス
- 微小部の化学結合強度

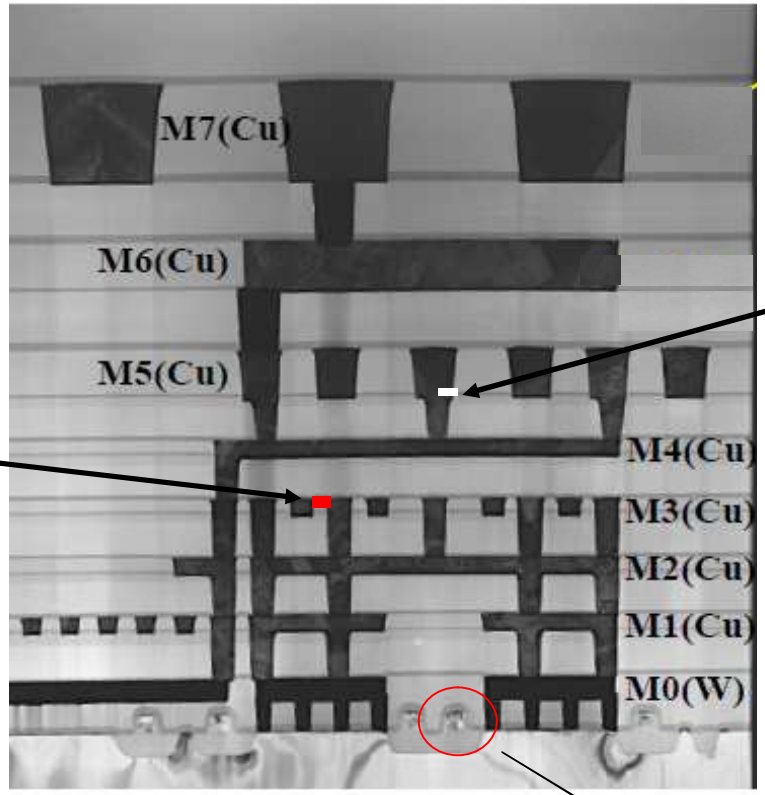
２．新技術開発（FIT=0に向けて）
- 故障予兆の検知（選別段階）
- 劣化の検知（使用中）

評価・解析技術の課題

(構造解析)

故障解析

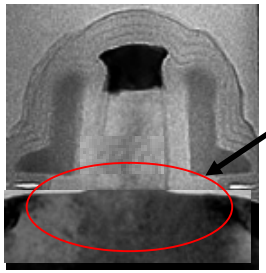
ピンポイントの
故障箇所特定



(日立ハイテクノロジーズの写真)

信頼性評価

・故障予兆部 の検出
・リアルタイムモニタリング



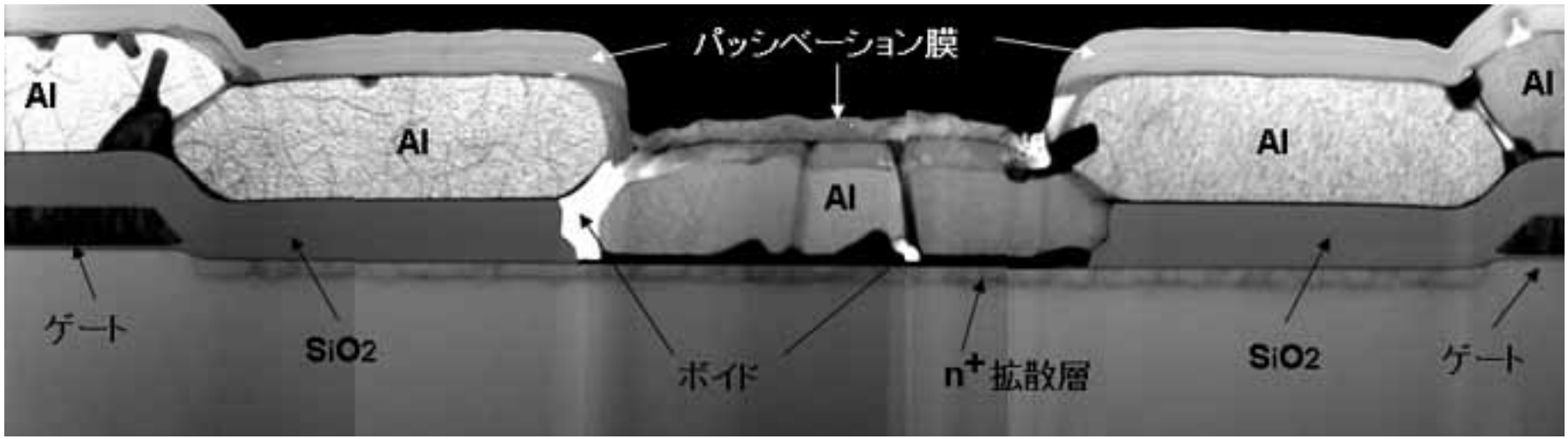
分析

微小領域の
・不純物分布測定
・ストレス評価

新しい高信頼化への取り組み

故障率　→　内在する故障要因の非破壊検出へ

（確率的故障発生の許容から故障の未然防止へ）



未使用製品に見られた形状異常の例

（システムでは色々な信頼性レベルの部品が使用されている）

まとめ

1. ニュ ーデペンダビリ ティの時代には
   総合的な評価・解析が必須

2. 評価・解析技術は社会の共通基盤

3. 公共的・共益的な評価・解析ネット
   ワークの構築を目指して中間法人を
   設立

4. FIT=0に向けた取り組み