

LSIの評価・解析を通じた品質意識の向上  
- 大学での試み -

Improvement of Quality Awareness through LSI Evaluation and Analysis  
- Trial at University-

高知工科大学 工学部 電子・光システム工学科  
真田 克

1. はじめに
2. 情報としての電源電流
3. これまでの解析事例
4. 品質関連の講義やセミナーと研究内容
5. まとめ

## 1. はじめに

大学にて学生への品質意識をどこまで向上できるか？

LSIの評価(故障解析・診断)を通じた、実社会との交流

そのため、

企業に協力依頼

「トラブルLSIの入手と、その発生状態を報告」

このLSIを用いた故障解析と発生との因果関係の議論

学生に

社会への貢献の意識

品質の感覚の動機付け

## 1. はじめに

「なぜ企業からトラブルが発生したLSIを分けてもらい解析するか？」

目的



「品質に対する緊張感」を通してLSIの故障を考えさせる

「品質」という認識をもって各人の卒論や修論のテーマ

「そんな簡単に解析ができるのか？」

先端(DSM)デバイスは少なく、

大半は流通している簡単な回路、配線も3層ぐらいである。

電源電流の利用で比較的容易に対応可能

「企業がこのような解析に応じてくれる理由は何か？」

LSI製造メーカ(特に海外メーカ)側の対応問題

解析専門会社の価格の問題

会社はその「トラブル原因 = 信頼性問題」で早急な対策

# 1. はじめに

大学研究室紹介

## 高知工科大学

電子・光システム工学科

教授 真田 克  
e-mail : sanada.masaru@kochi-tech.ac.jp  
Tel: 0887-57-2118 Fax: 0887-57-2120

### LSIの診断・解析・評価技術の研究開発

#### はじめに

2年前に高知工科大学へ赴任してきました。これまで企業にてLSIの故障解析技術の研究開発と装置化および、ソフトウェアを用いた故障診断技術の研究開発を行ってまいりました。同時に市場での故障LSIの解析を通じて信頼性や品質に関して勉強してまいりました。この経験を踏まえて、全国的にも数少ないLSIの診断・解析・評価技術の研究開発する研究室を立ち上げました。現在、院生、学部生の計8名で研究を行なっています。目標は社会が必要とする技術開発と社会貢献です。以下に、この経緯と社会貢献について述べます。

#### 研究のきっかけ

研究のきっかけは企業時代に経験した故障LSIの原因究明に携わったことにあります。20数年前の6月、東京霞ヶ関一帯の通信回線が突然不通となる事故が発生しました。本社、官庁などが集積した地域だけにトップニュースとして報道されました。原因はNTT霞ヶ関局に設置された電子交換機に搭載されている1個のLSIにありました。解析の結果、1ミクロンのピンホールが故障を引き起こしていることを究明しました(写真1)。当時の貧弱な解析技術はその後の研究開発で大いに発展しております。究明後の疑問は外部環境に変化がなかったにも関わらず、「今まで正常に動作していたLSIがなぜ突然故障したか?」でありました。そして、その検証過程で論理故障の大半は電源電流の異常を伴うことを理論的に解明し、電源電流を主とした解析・診断へ研究テーマを絞り込んでいきました。

#### 電源電流

電源電流は体内を流れる血液と同じです。体内異常は血液の分析から異常内容を推測できるようにLSI内部の異常は電源電流の分析から異常箇所候補を推測できます。又、発生箇所は異常発熱や発光、それに異常電流といった物理現象を伴います。研究室では、前者に対して電流異常が顕在化する論理の分析から異常箇所候補を特定するソフトウェアの研究を、後者に対してこれらの現象を観察するハードウェアの研究を行なっています。さらに、故障を作り込んだLSIを用いた電気的現象と理論との対応研究を行っています。

写真2-1は研究室で開発した微小発光を検出する簡易装置です。写真2-2は異常発光箇所を検出事例です。

#### 社会貢献

大学の目的は教育・研究とともに、社会への貢献を重要な課題としています。そして2006年度末から当大学研究支援部の協力のもとに故障LSIに関して困っておられる県内企業に対して解析サービスを行なっております。第一号である企業からは迅速な解析と報告書に対して感謝されております(写真3)。このような取り組みは実務的な研究活動につながり、学生に対しても貴重な経験となります。是非、LSIに関するご相談を頂きたく、県内企業の発展に微力ながら貢献できると考える次第です。

実装したLSIに見られる故障の大半は静電破壊に起因します。このような故障は比較的簡単に解析できます。研究課題はどのような状況下で発生したのかを究明することであり、この究明が製造品質の向上につながります。今後、このようなコンサルティング活動も視野に入れた研究活動を推進していく予定です。

#### 写真1 事故原因となったピンホール



写真2 開発した発光解析装置(2-1)と解析事例(2-2)



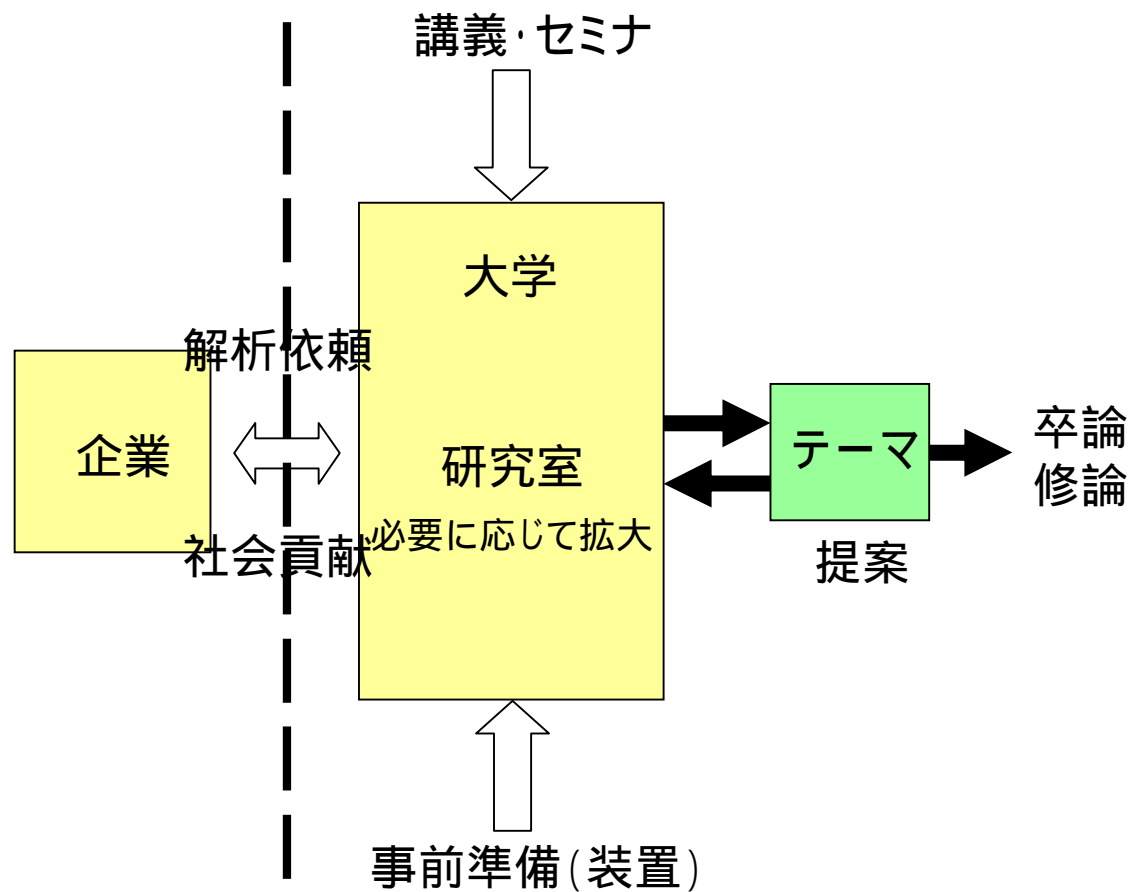
#### 写真3 解析事例

金風扇針と液晶を用いた発熱解析



社会貢献をアピール

# 1. はじめに



# Keywordは「リーク故障」



水道管からの水漏れ

リーク電流  
オフリーク電流  
(DSM化により顕在化)

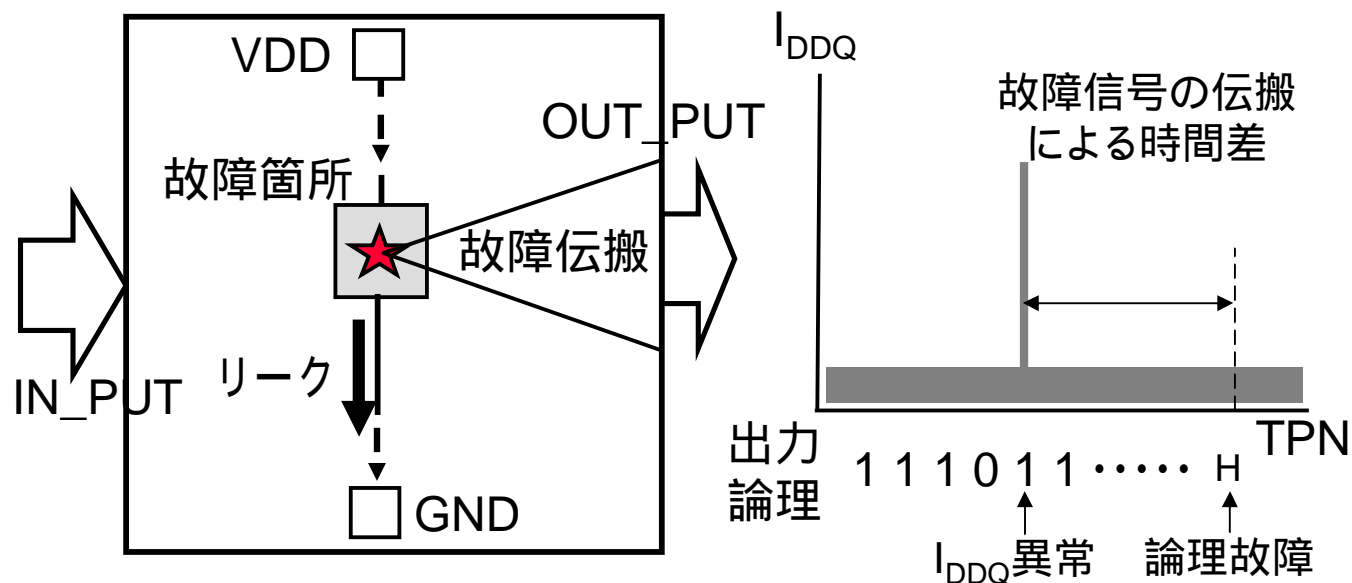
故障起因のリーク電流  
(本研究の対象)



研究テーマ  
異常発光(HW)

故障箇所特定(SW)

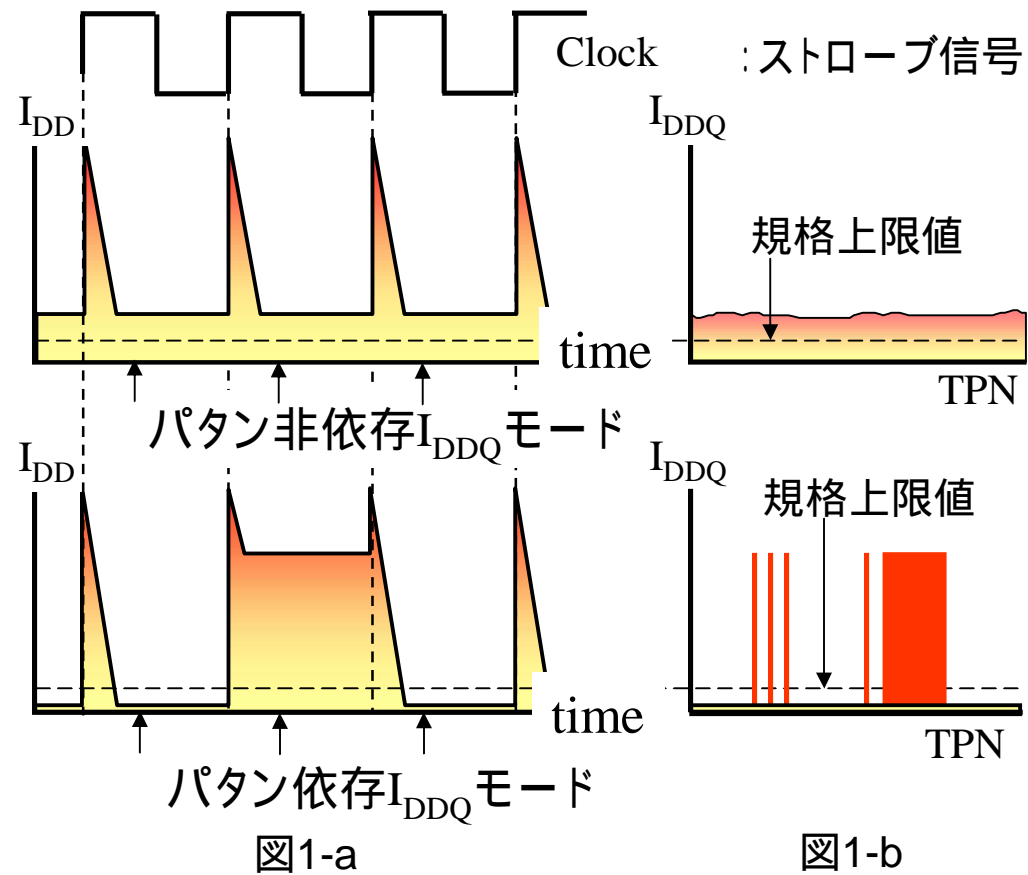
## 2. 情報としての電源電流



- $I_{DDQ}$  利用の特徴: 直接的な診断
- $I_{DDQ}$  テストは機能テストを補完
- $I_{DDQ}$  故障のすべては論理故障とならない

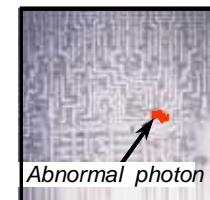
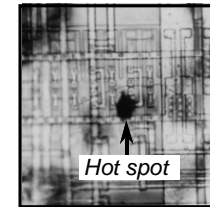


## 2. 情報としての電源電流



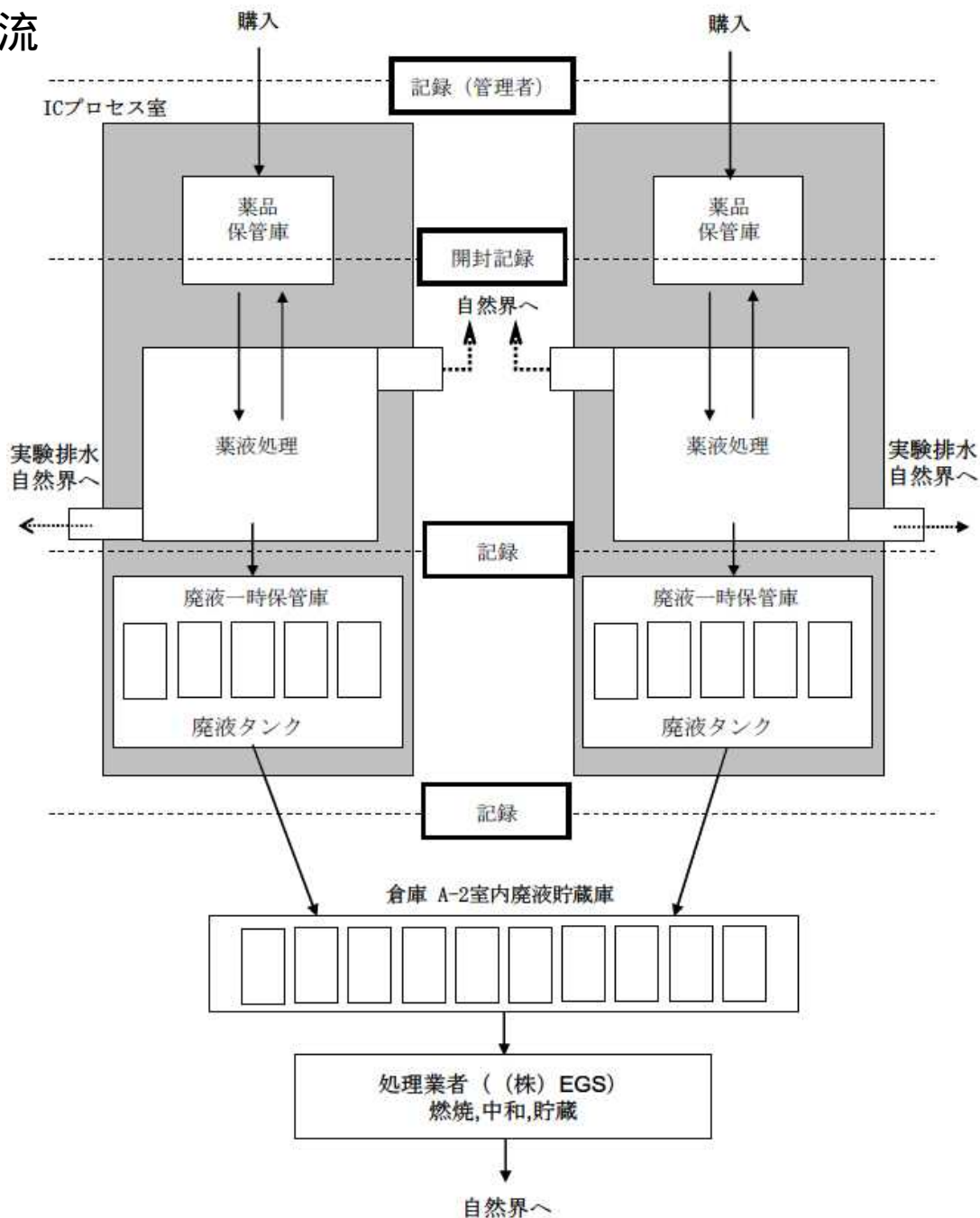
## 2. 情報としての電源電流

	論理情報	$I_{DDQ}$ 情報																																				
テスト	<table border="1"> <tr> <td>TVN</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td><math>n</math></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td><b>H</b></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>期待値異常</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>m</math></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>	TVN	0	0	0	0	0		1	2	3	4	$n$	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	<b>H</b>	1	⋮				期待値異常		$m$	0	0	0	0	0	<p><math>I_{DDQ}</math></p> <p>Test Vector No.</p>
TVN	0	0	0	0	0																																	
	1	2	3	4	$n$																																	
1	1	1	0	0	0																																	
2	1	1	1	<b>H</b>	1																																	
⋮				期待値異常																																		
$m$	0	0	0	0	0																																	
解析																																						
診断	<p>Test Vector</p>	<p>Test Vector</p> <p><math>I_{DDQ}</math>異常</p>																																				

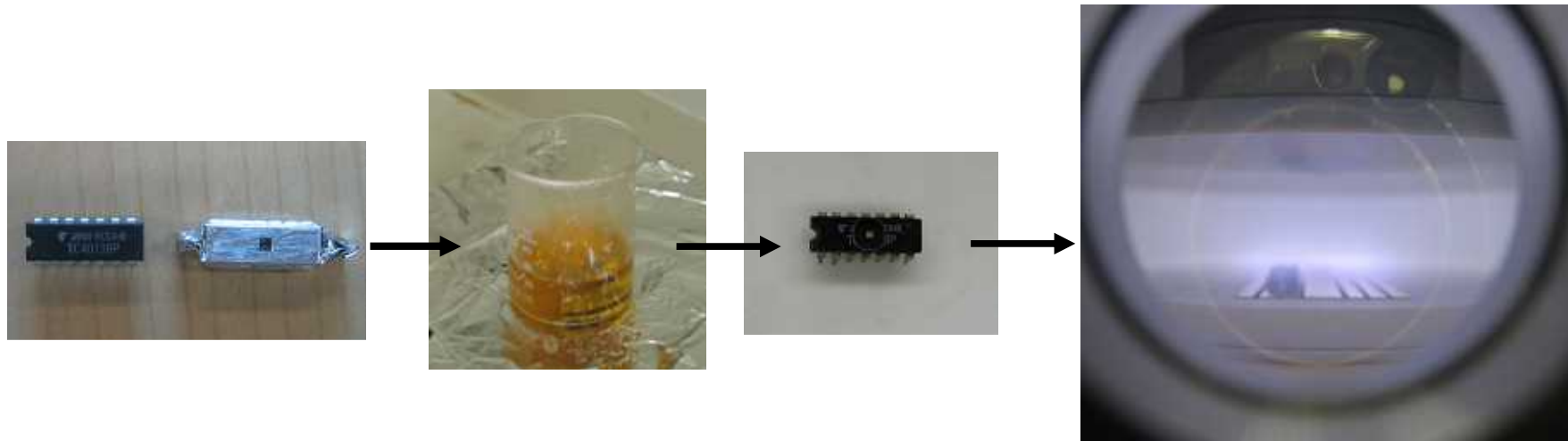


## 2. 情報としての電源電流

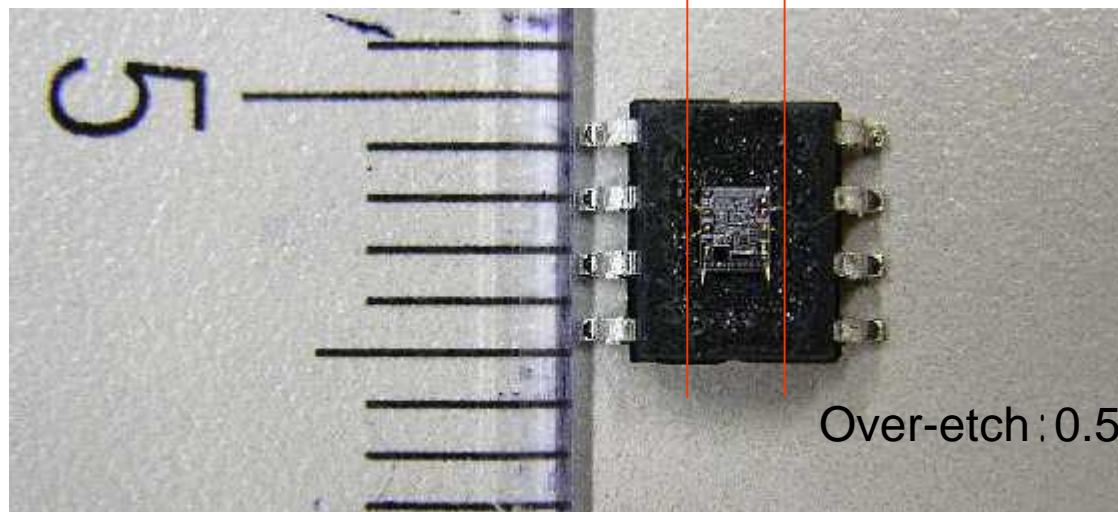
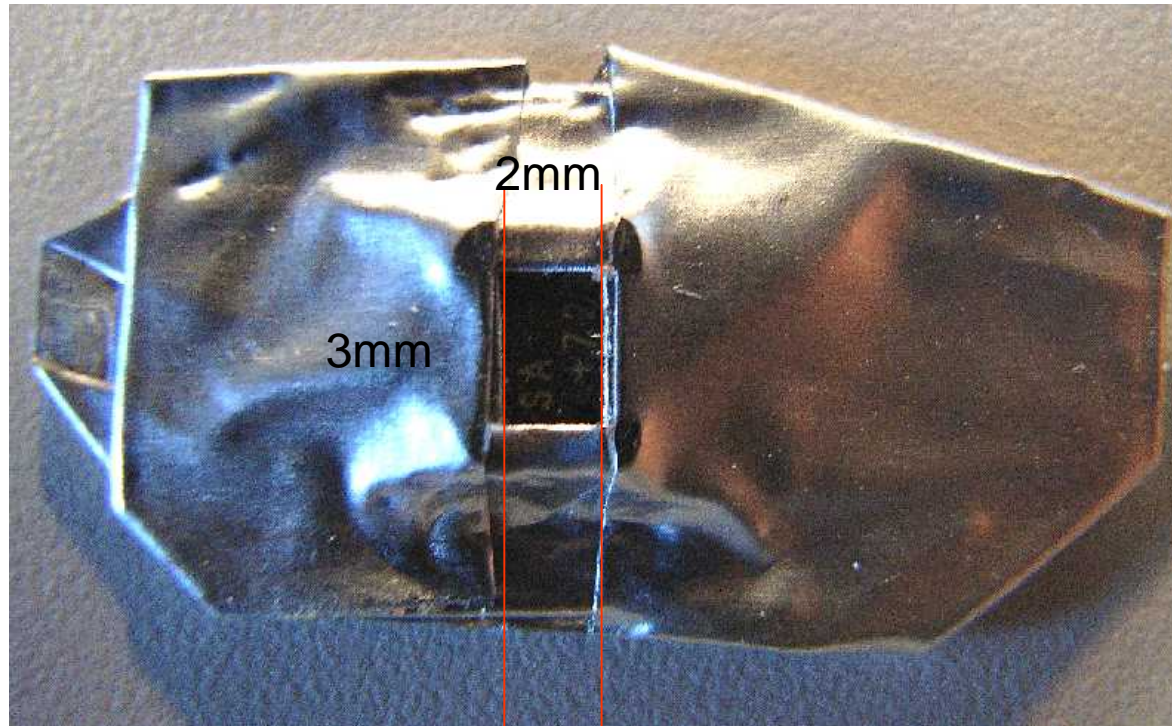
薬品講習受講の義務  
IN-OUT管理  
廃棄方法



## 2. 情報としての電源電流



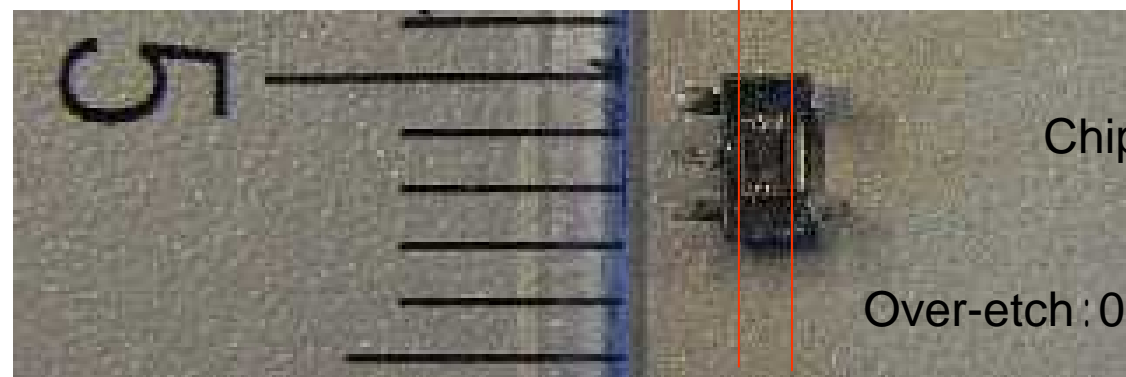
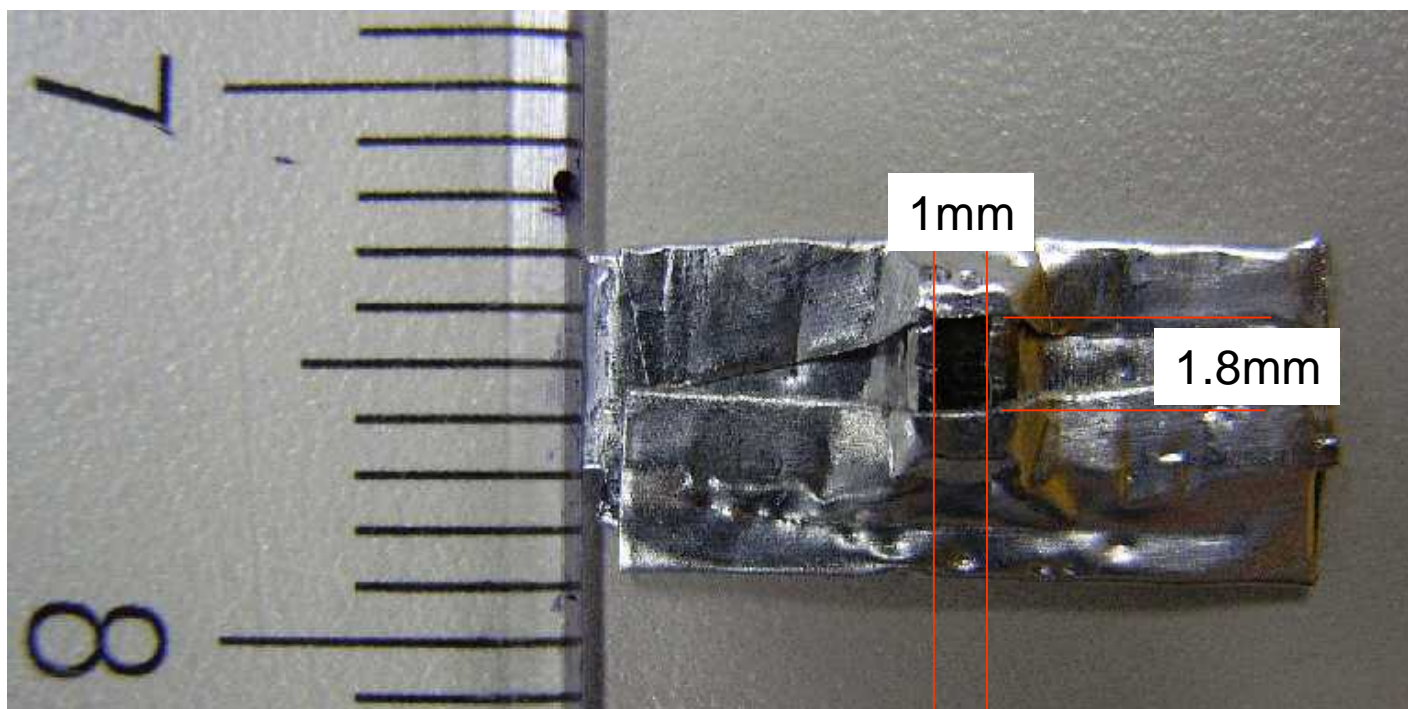
## 2. 情報としての電源電流



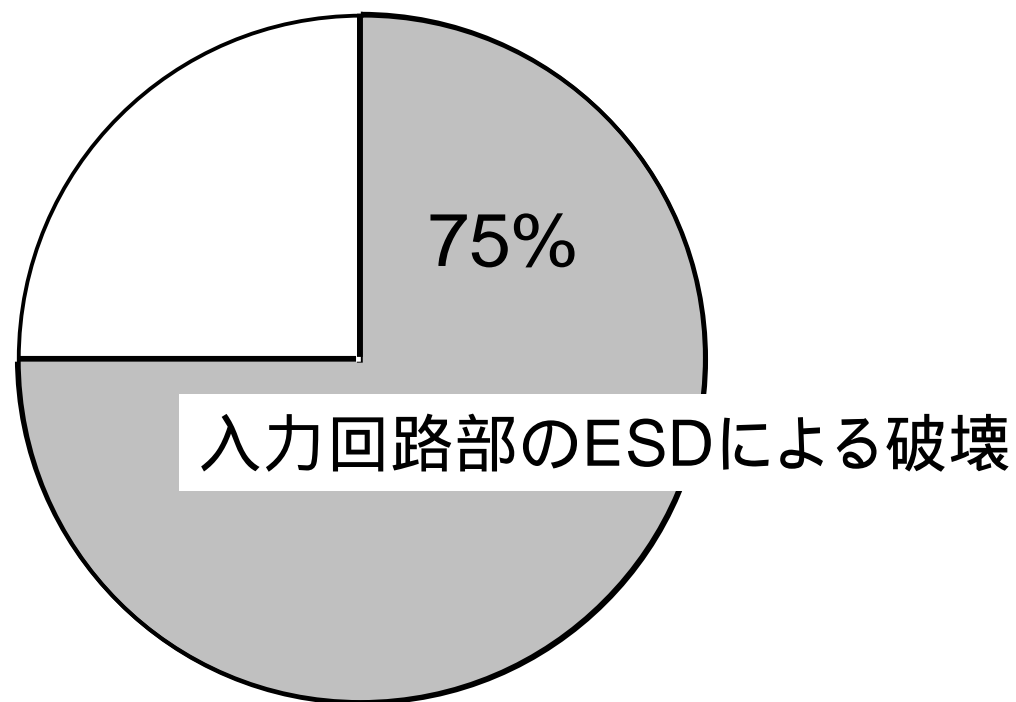
Chip-size:  $1.8 \times 1.5 \text{mm}^2$

Over-etch : 0.5mm

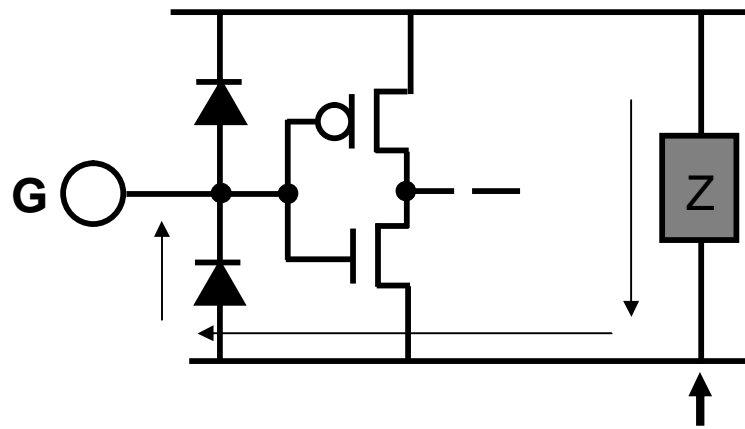
## 2. 情報としての電源電流



## これまでの解析事例

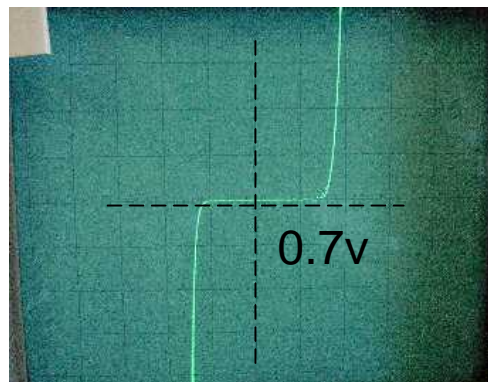


### 3. これまでの解析事例 - 1

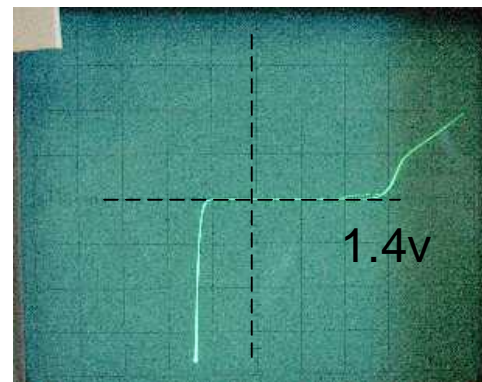


INA	INB	OUT(故障)	正常
L	L	H(0.49v)	L(0.0v)
H	L	H(4.95v)	H(5.00v)
L	H	H(4.94v)	H(5.00v)
H	H	H(4.93v)	H(5.00v)

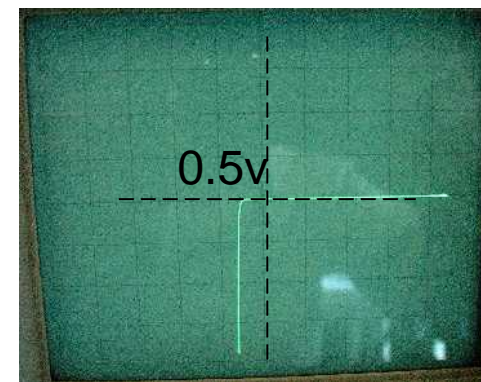
OUT素子部の故障  
炭化した樹脂を確認



IN(G)-GND



VDD-IN(G)



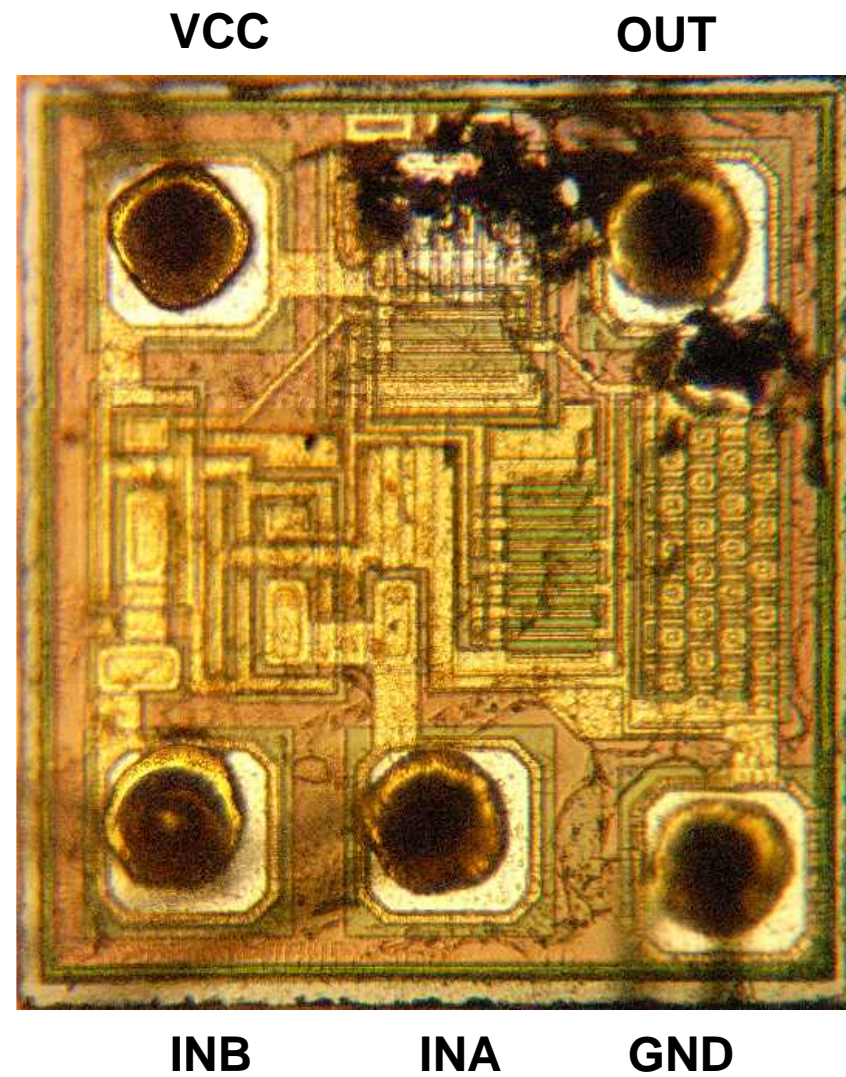
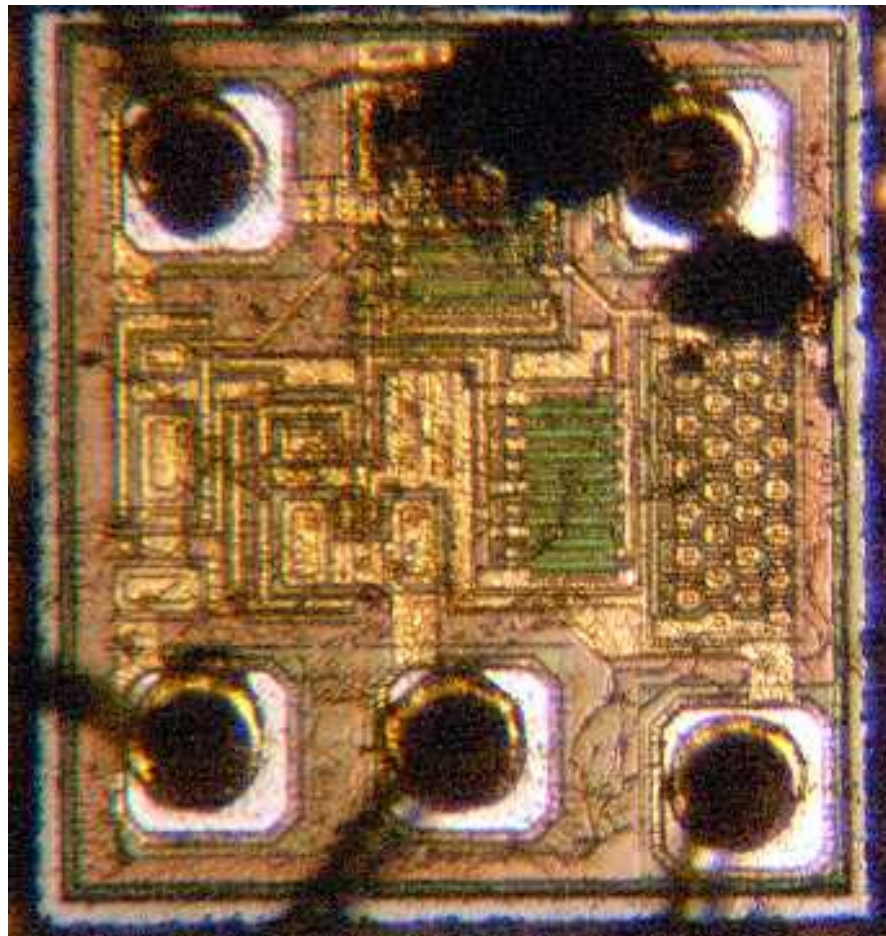
VDD-IN(G)  
IN(G)-GND  
正常品

故障品

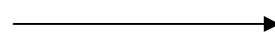
(1V/div, 0.1mA/div)  
電通学会 - R研



### 3. これまでの解析事例 - 1

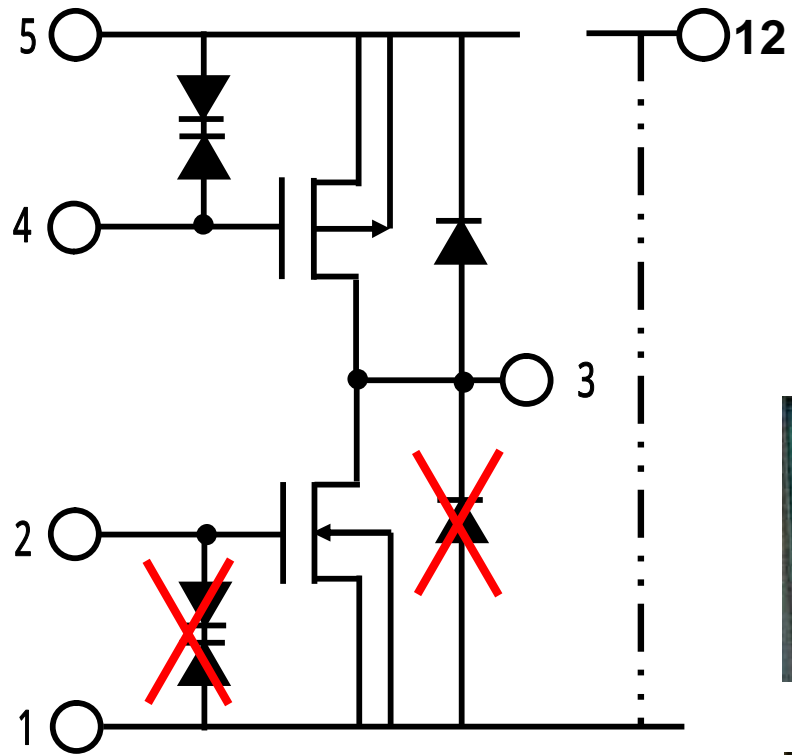


炭化樹脂付着

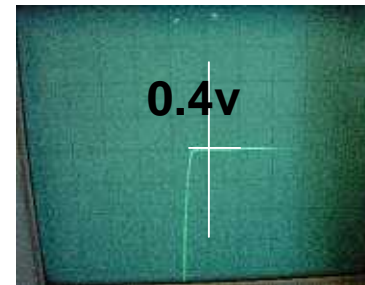


炭化樹脂除去後(痕跡残る)

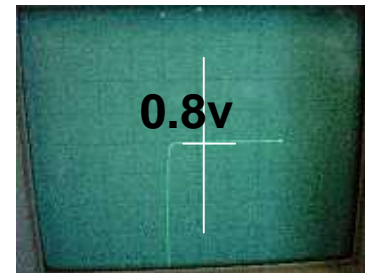
### 3. これまでの解析事例 - 2



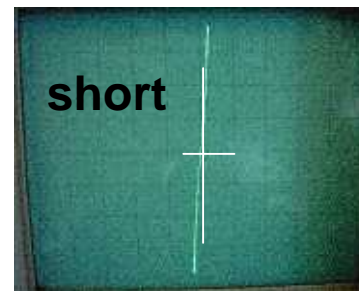
(1v/div, 0.1mA/div)



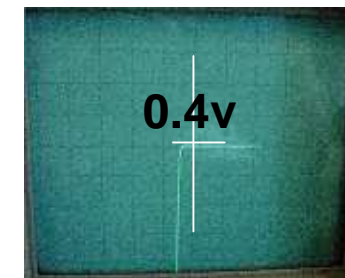
1pin-5pin



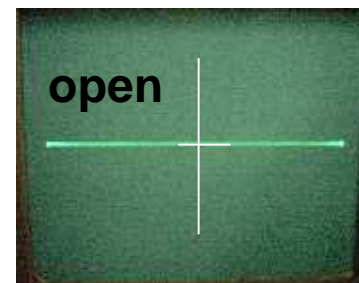
1pin-12pin



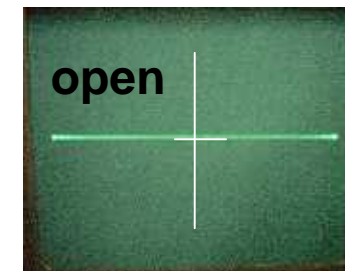
1pin-2,3pin



2,3pin-5pin



1pin-4pin

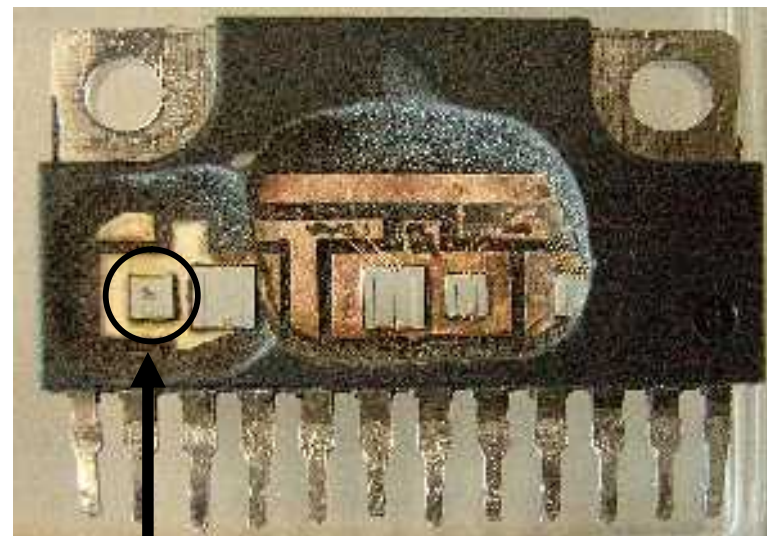


4pin-5pin

### 3. これまでの解析事例 - 2



1 ----- 12

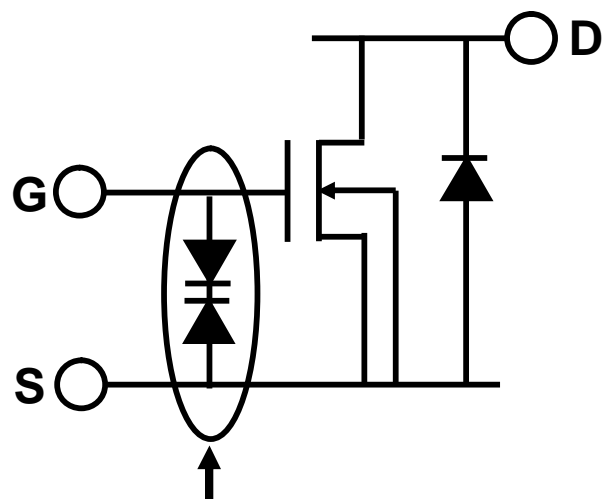


Nch\_FET

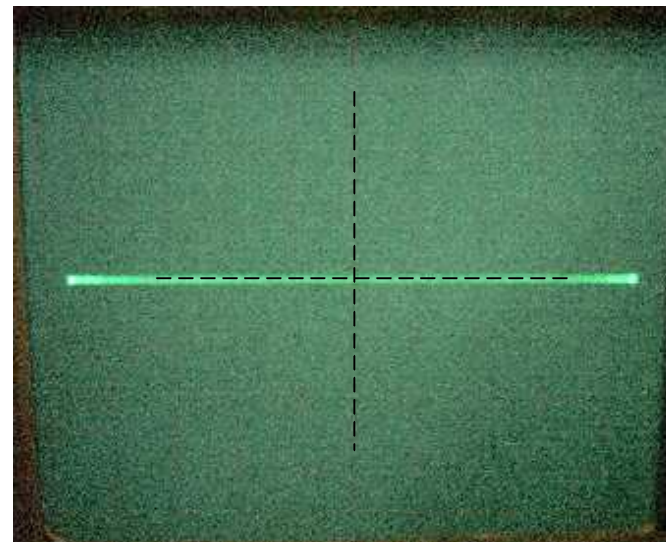
焼損跡



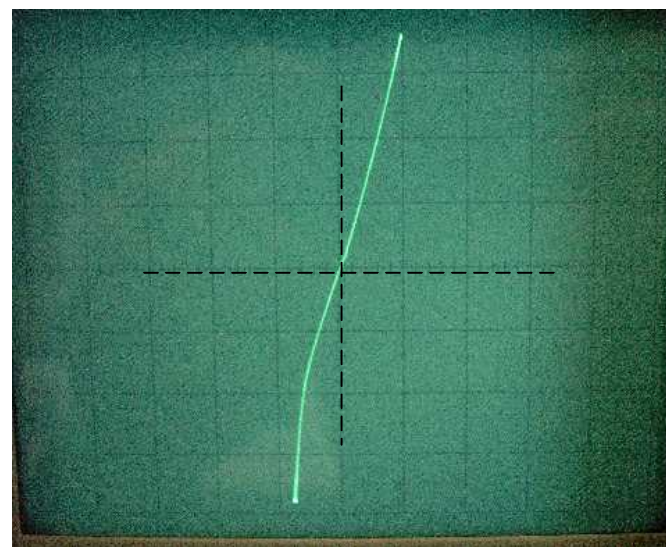
### 3. これまでの解析事例 - 3



故障箇所(推定)  
液晶塗布法による発熱を確認



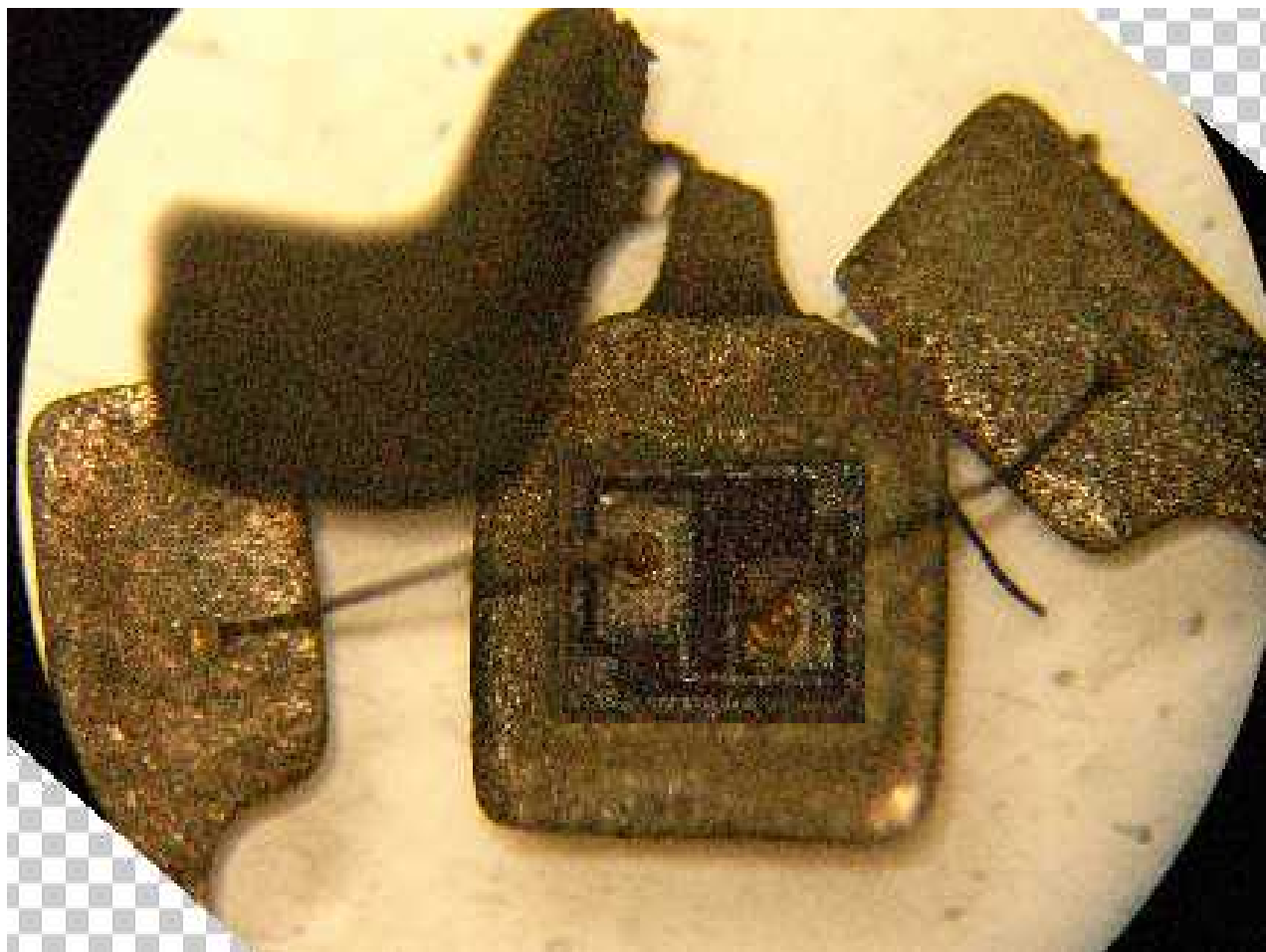
正常カーブ



故障品カーブ

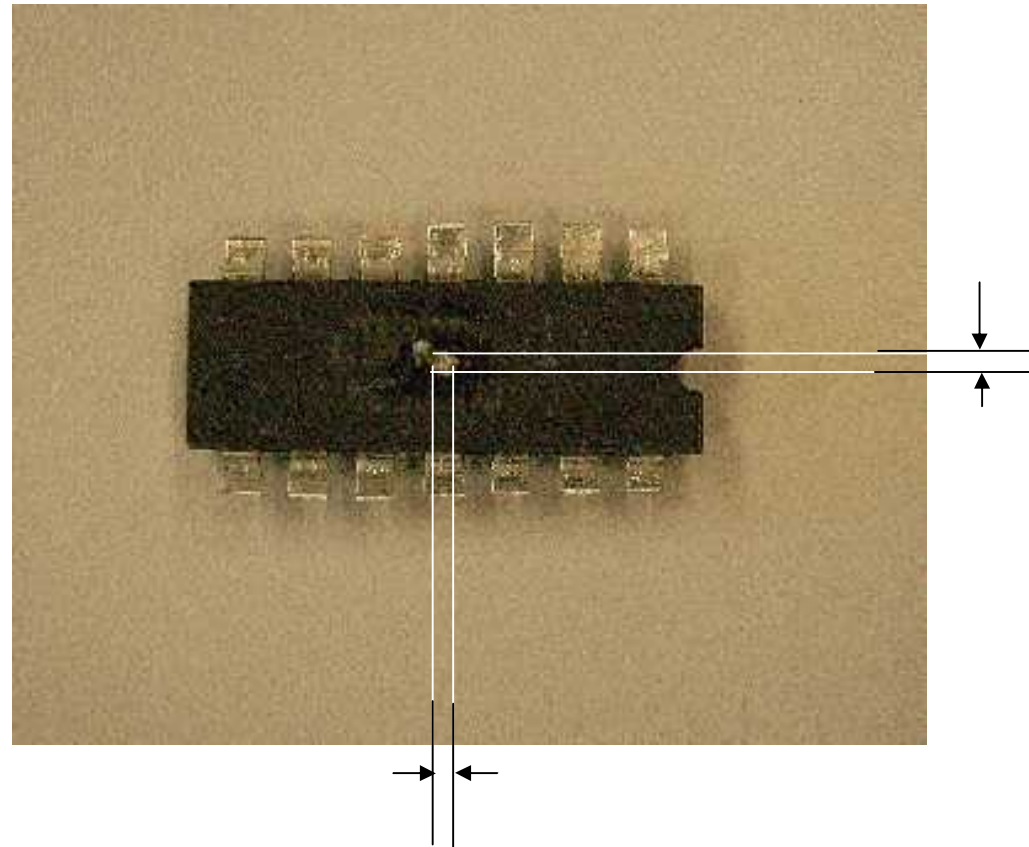
G - S間V-I特性 (1v/dev,0.1mA/div)  
電通学会 - R研 -

### 3. これまでの解析事例 - 3



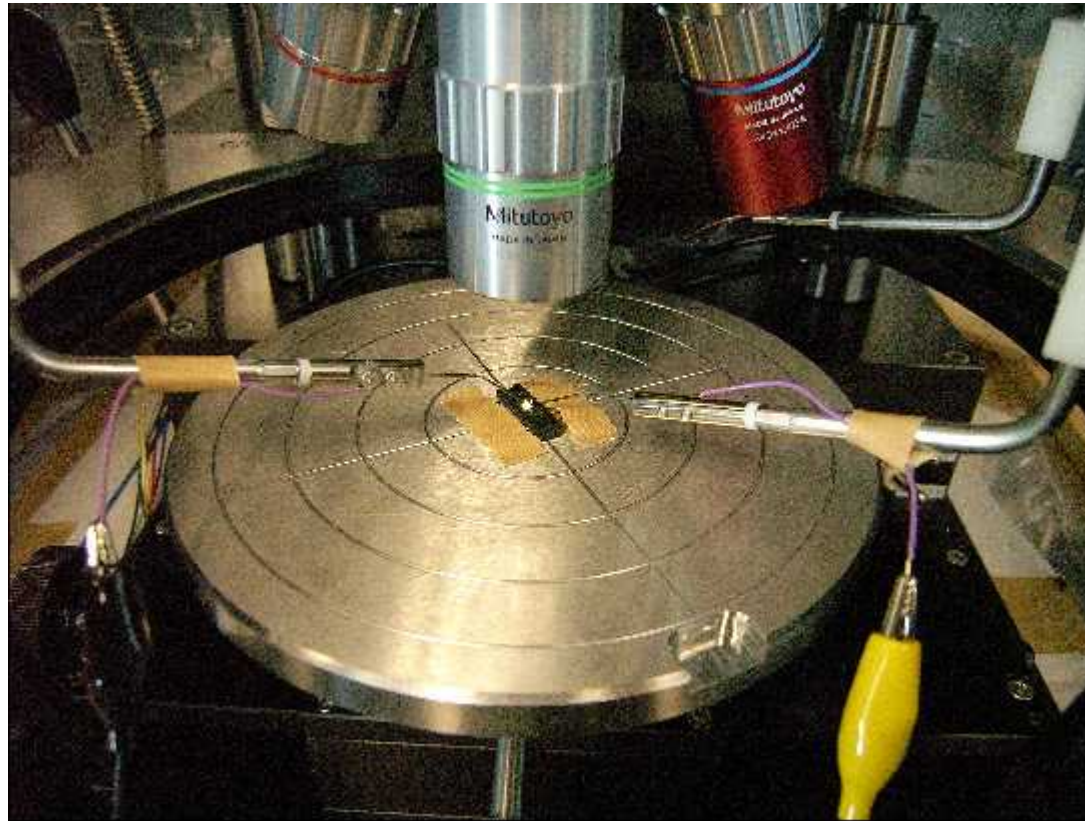
PKGを開封した後のFET素子

### 3. これまでの解析事例 - 3



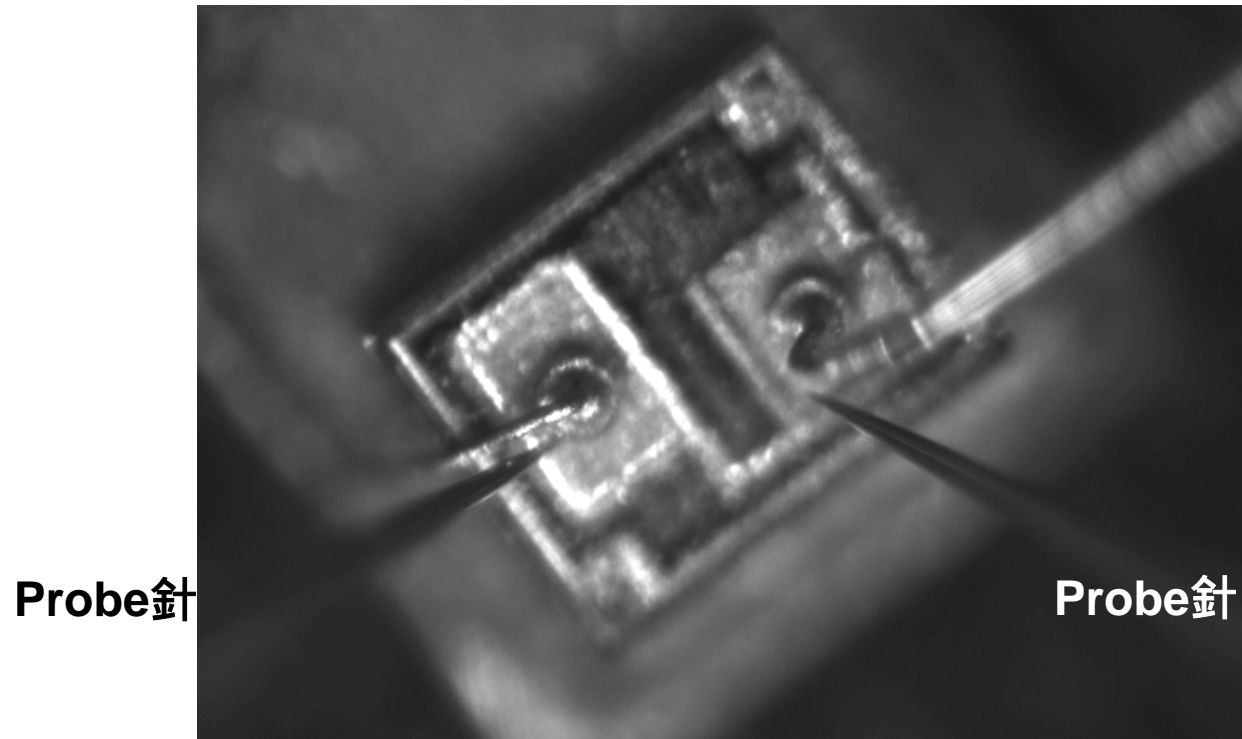
解析に対して、FETをDIP\_PKGに貼り付け  
(矢印で囲まれたエリアがFETデバイス)

### 3. これまでの解析事例 - 3



液晶塗布後、Proberにて信号を供給し、発熱箇所を特定

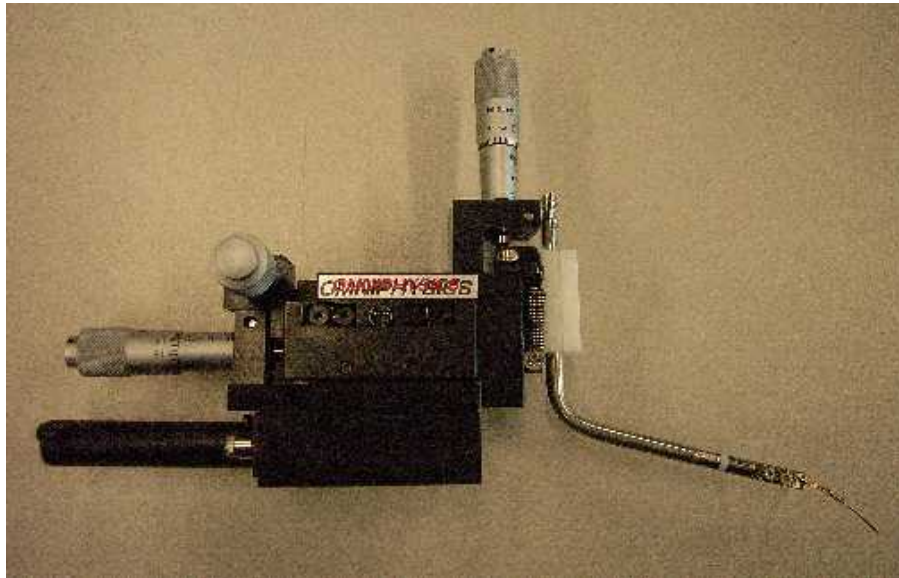
### 3. これまでの解析事例 - 3



Probingによると特性検査



### 3. これまでの解析事例 - 3

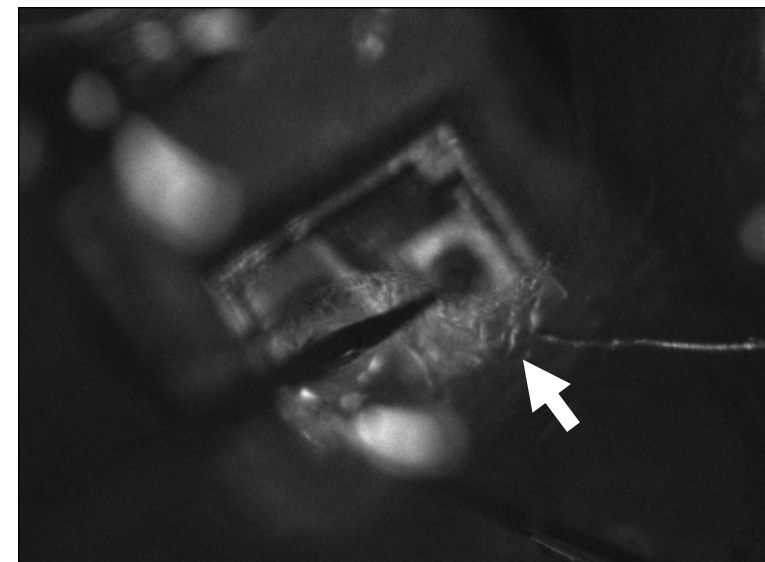
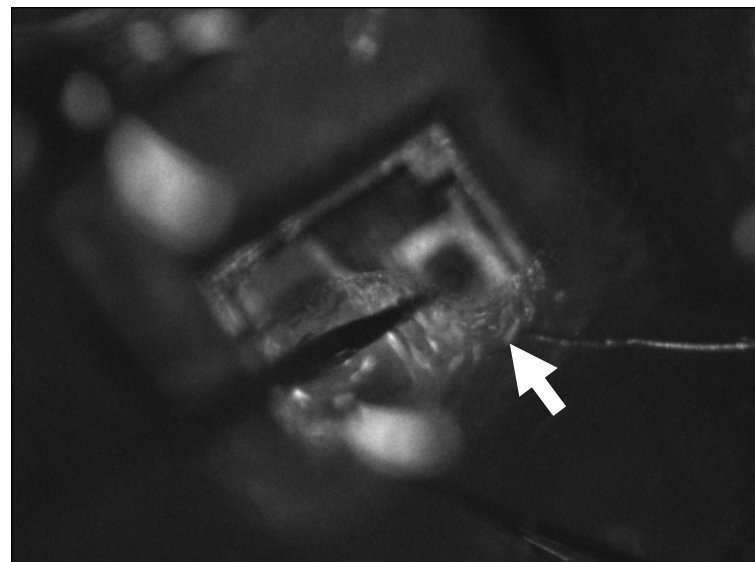
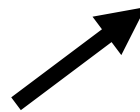
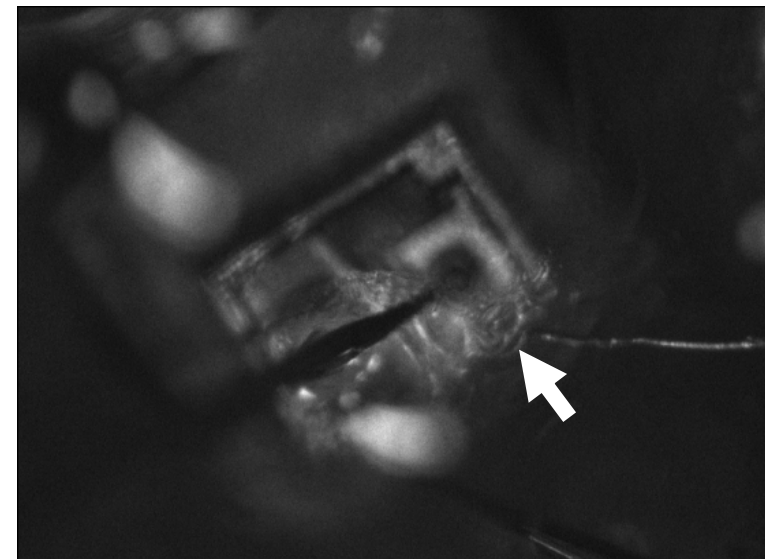
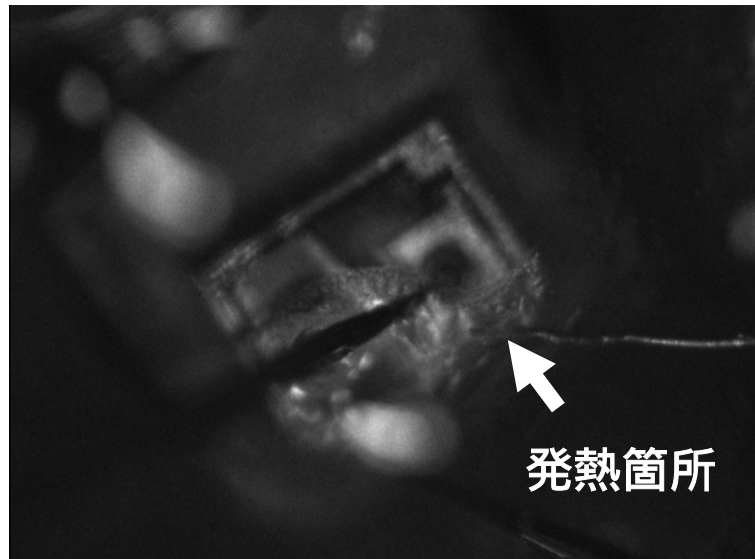


液晶を垂らす  
精度:  $1\text{mm}^2$

液晶塗布用の工夫

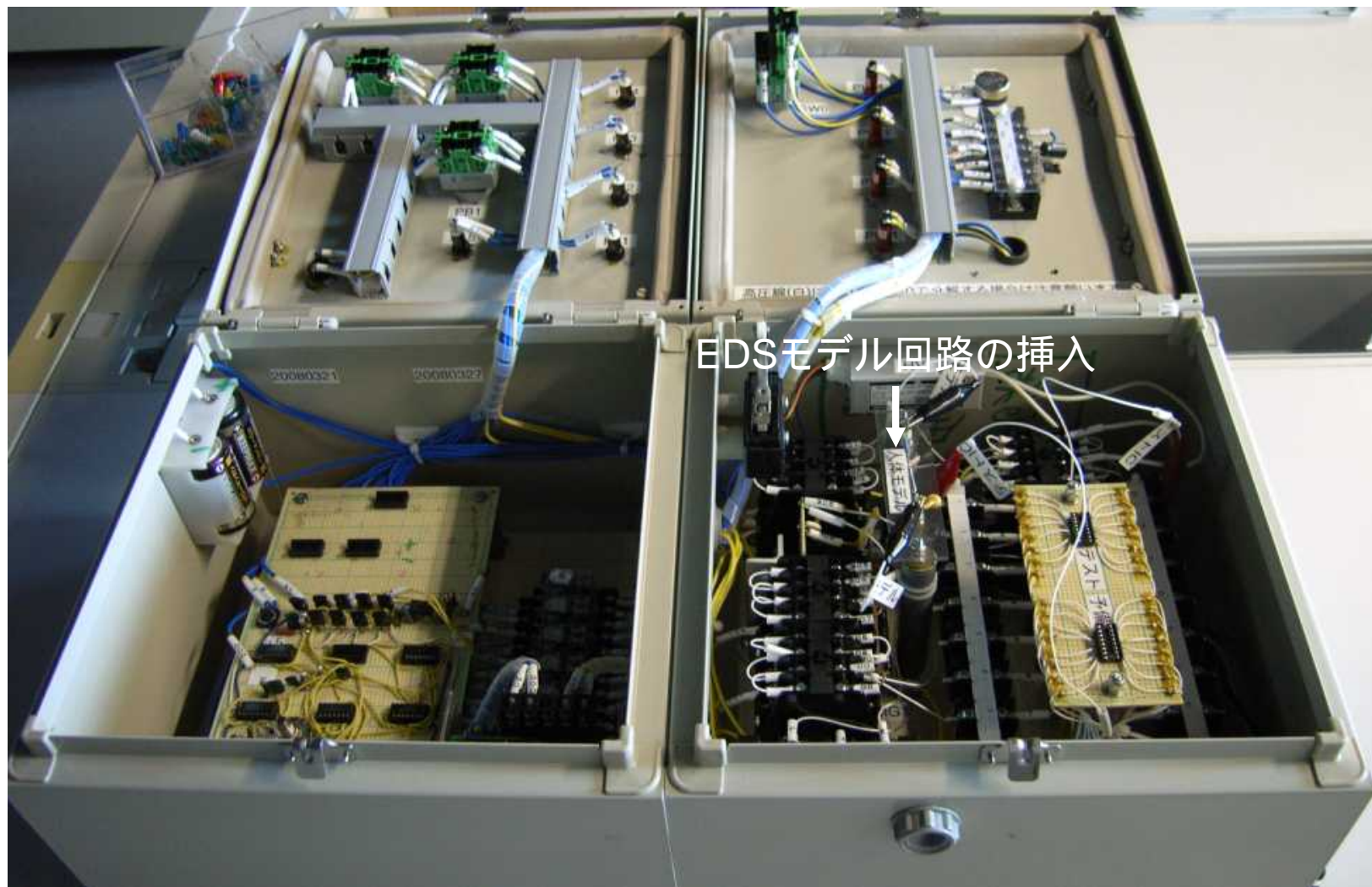
電通学会 - R研 -

3. これまでの解析事例 - 3

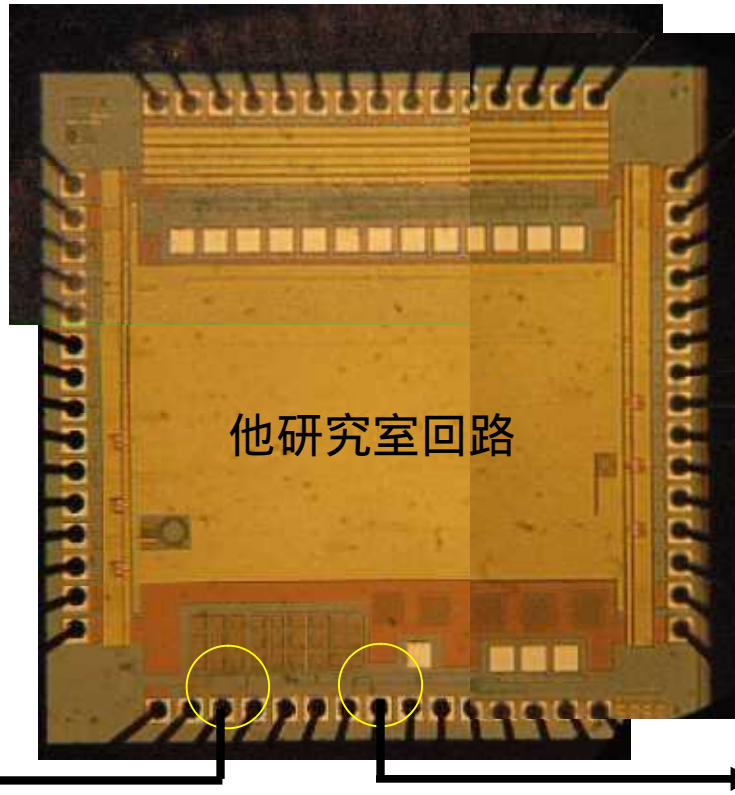
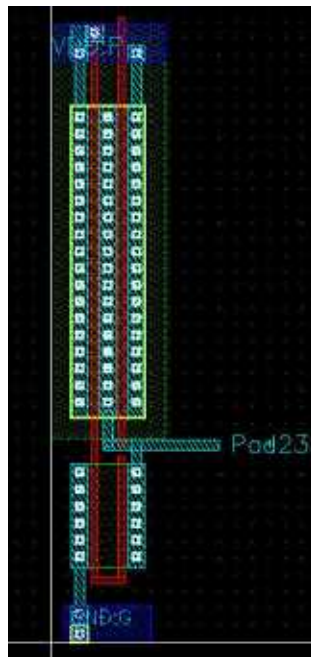


## 品質を考えるための案 - 1 -

予防のために何をすべきかという議論からESD試験器を自作し、破壊の仕方を検討する研究が生まれた[2]。

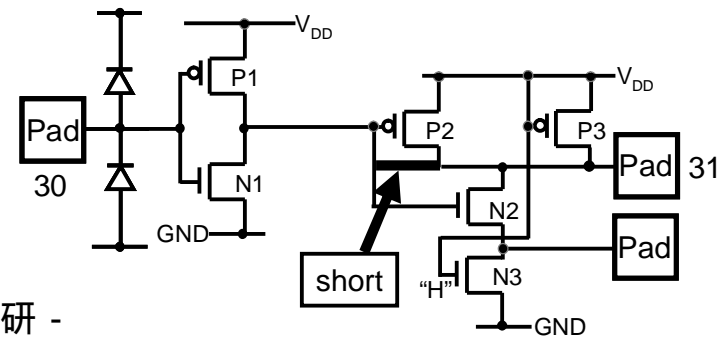
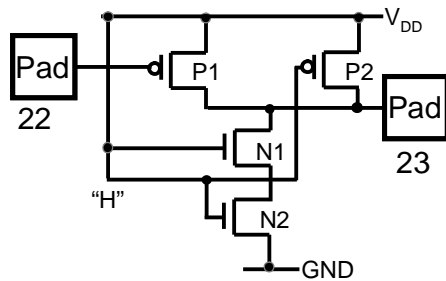
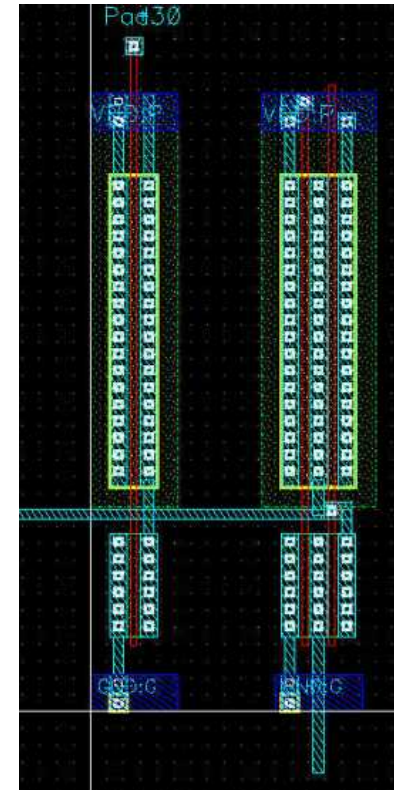


Open故障

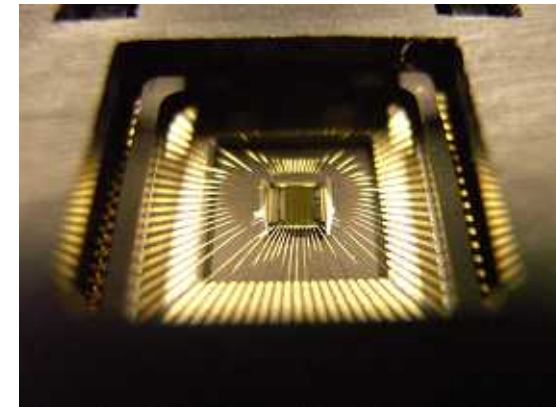
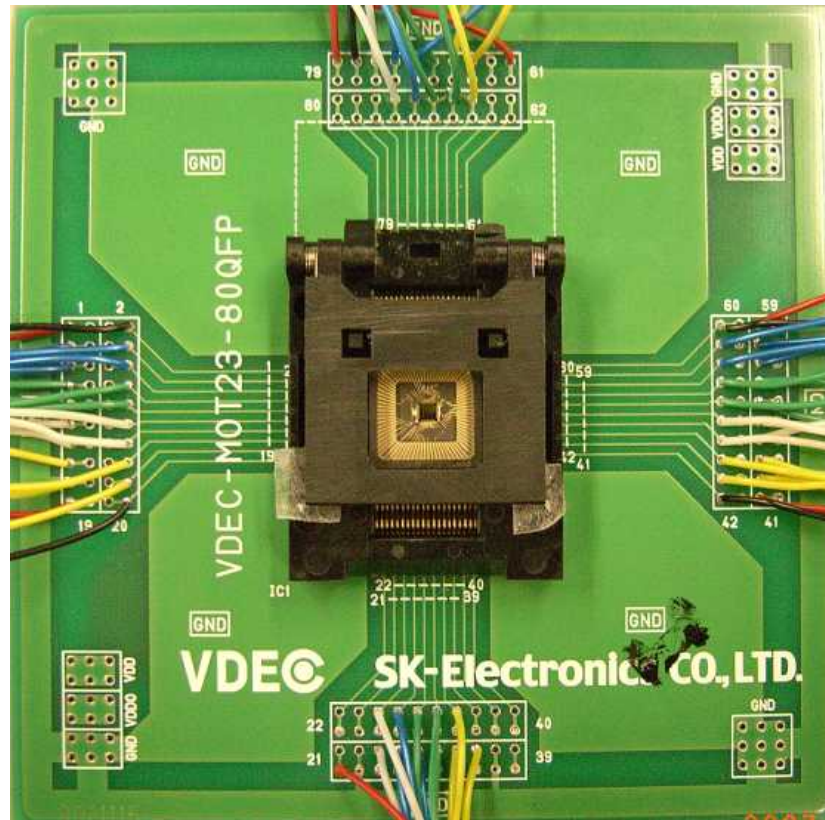


TEGパターン作成  
(10種類の故障パターン)

Short故障



VDEC利用によるオープン故障サンプル作成: 実験中(0.35  $\mu$ mルール)



発光、OBIC解析

2007年度卒論にて報告予定

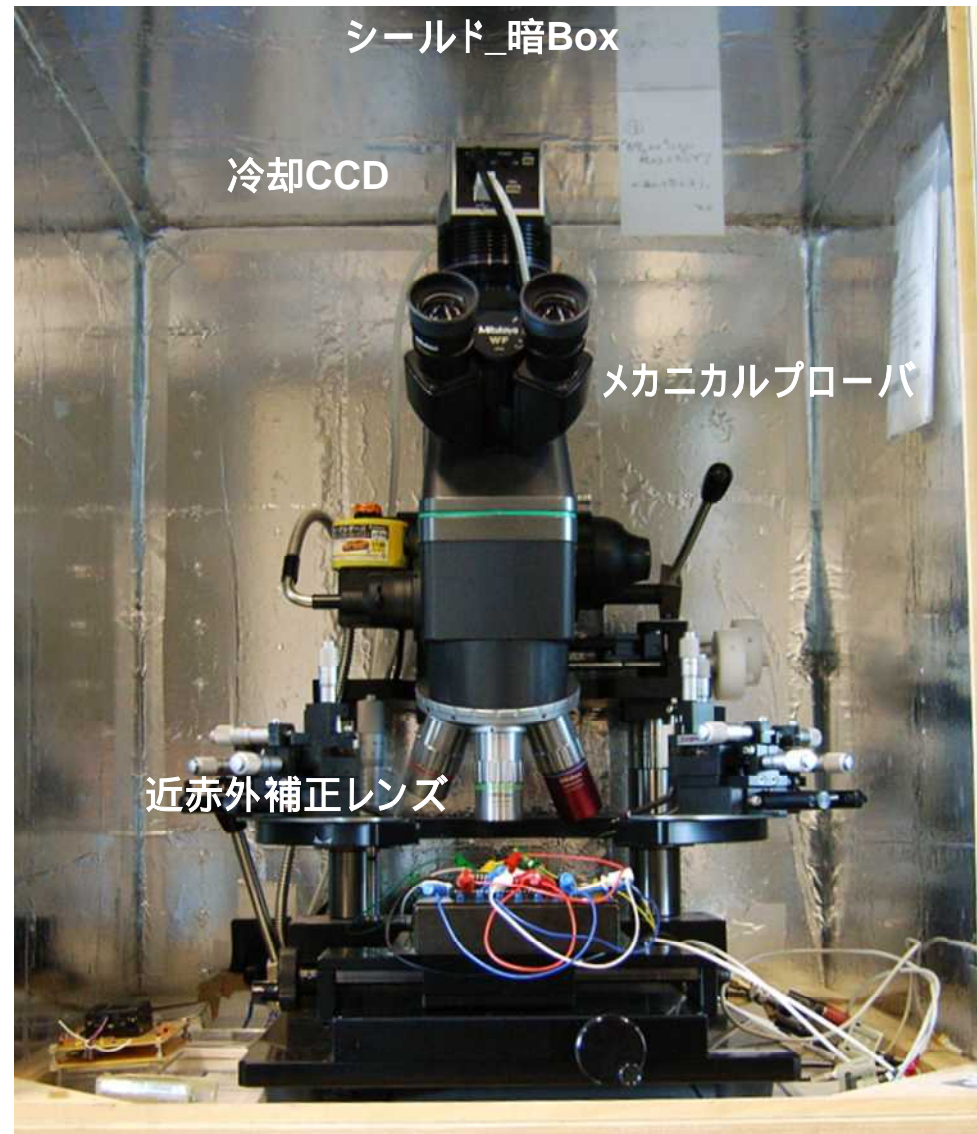
第二回目の設計: (0.18  $\mu$ m)回路検討中

### 微少発光感度の向上システム

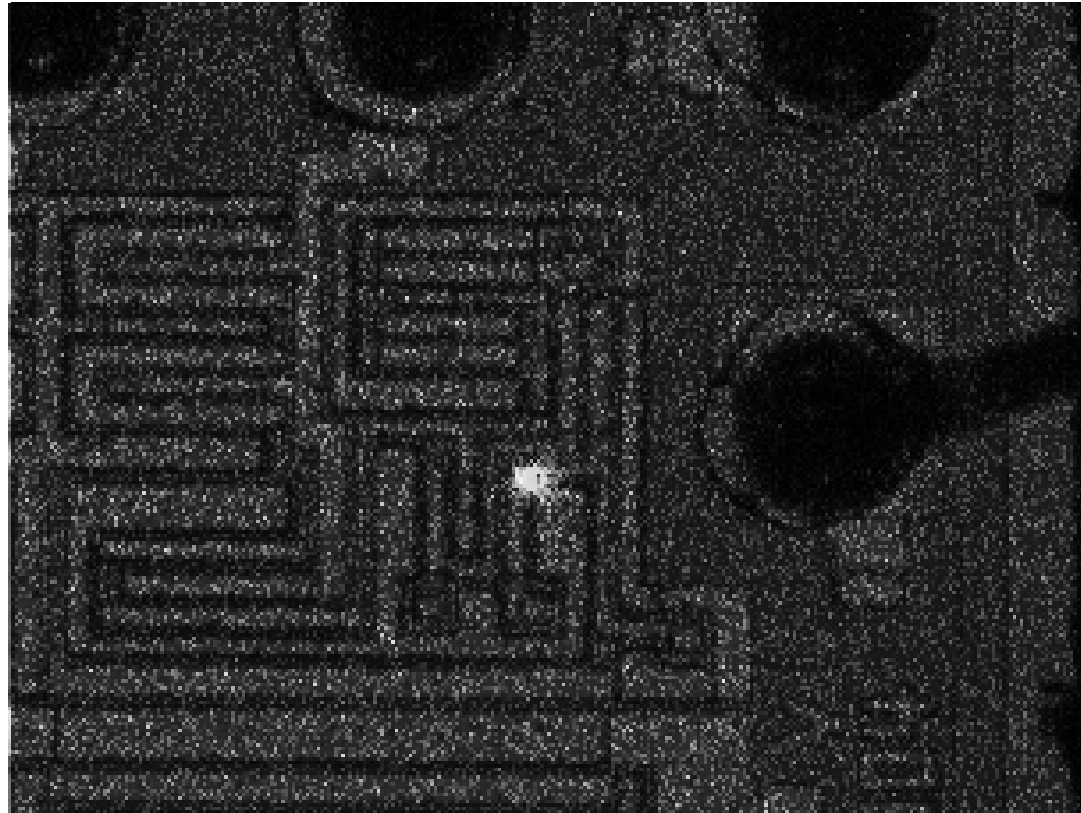
水冷CCD( max=1100  $\mu$ m)  
ノイズ低減策  
波長帯域をカバーするレンズの購入  
任意箇所に信号供給のための  
ブローピング装置

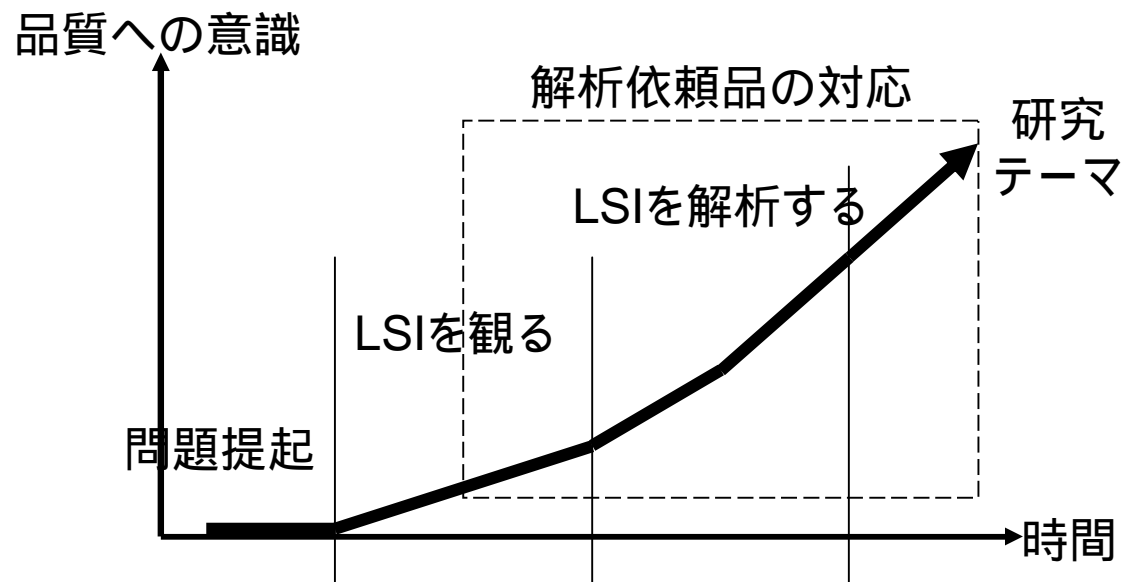
シールドした木箱に設置

の自作

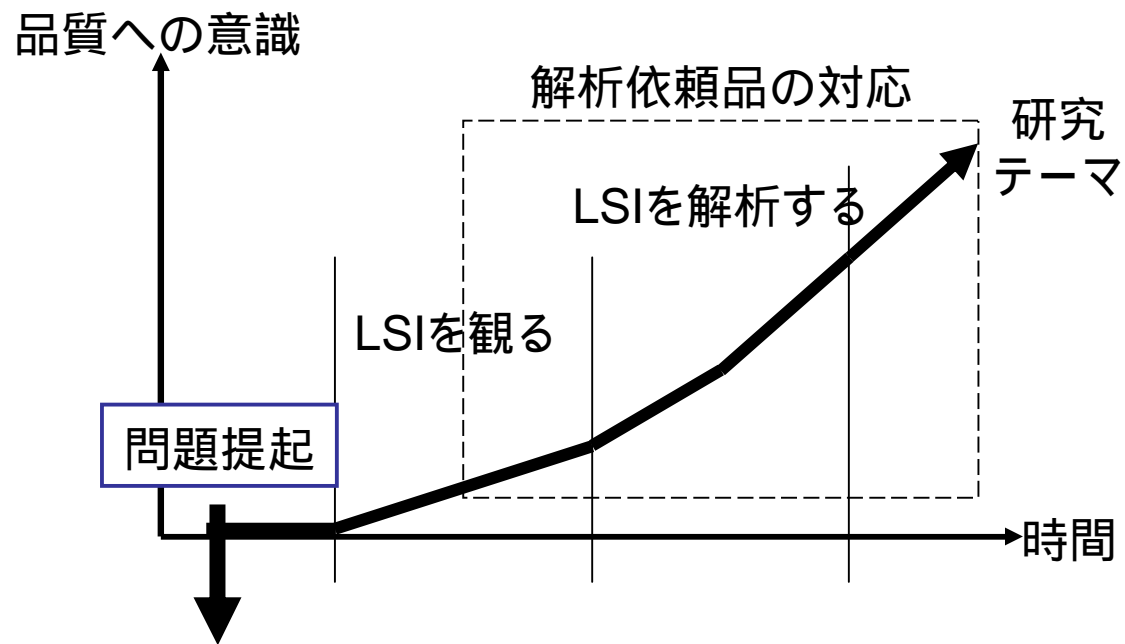


品質を考えるための案 - 3 -

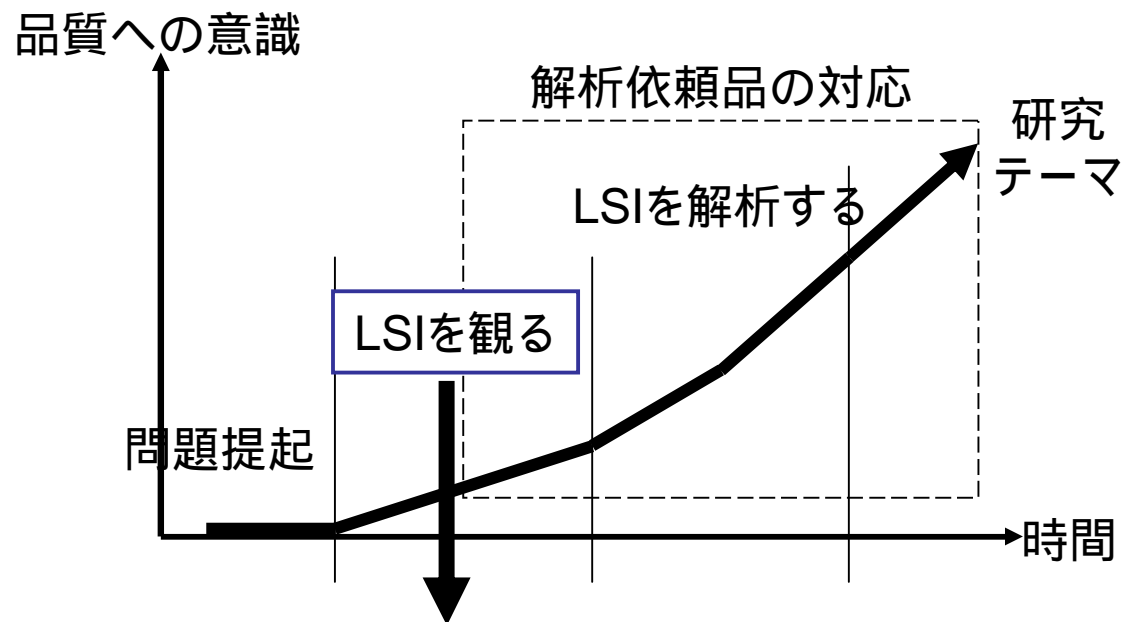






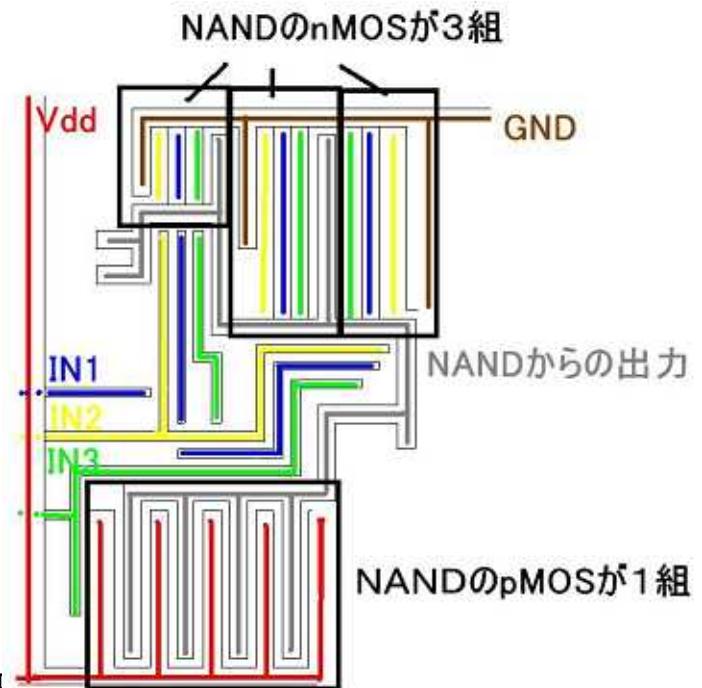
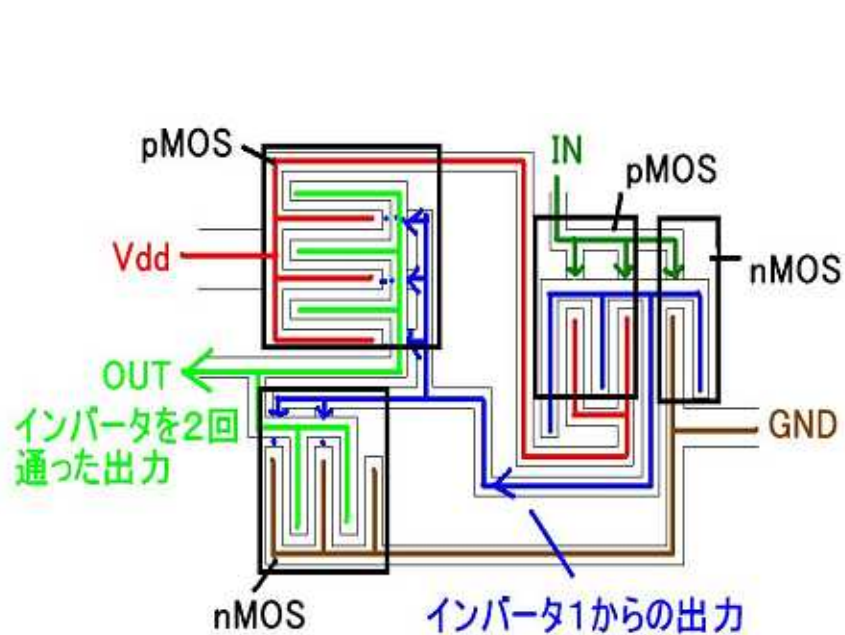
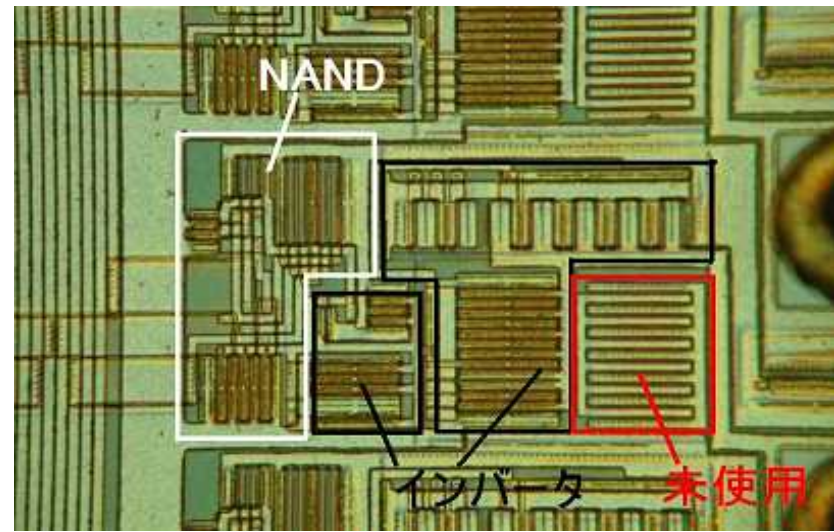
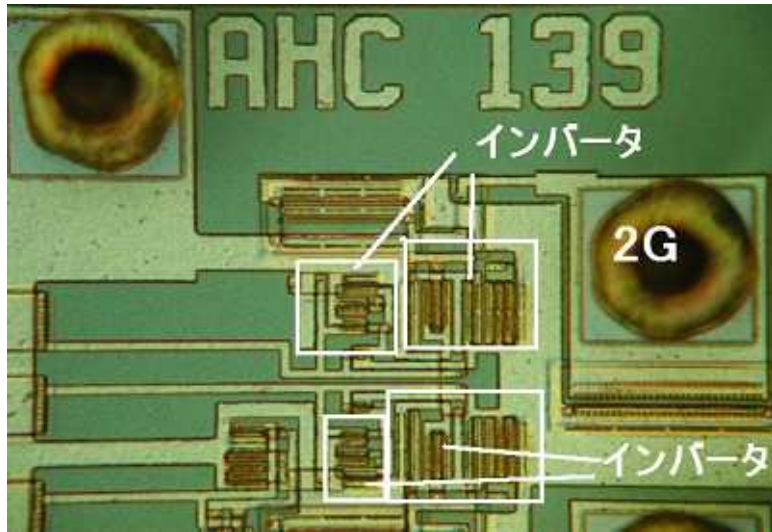


「形あるものは壊れる、LSIも同じ」・・・なぜか？の調査と発表



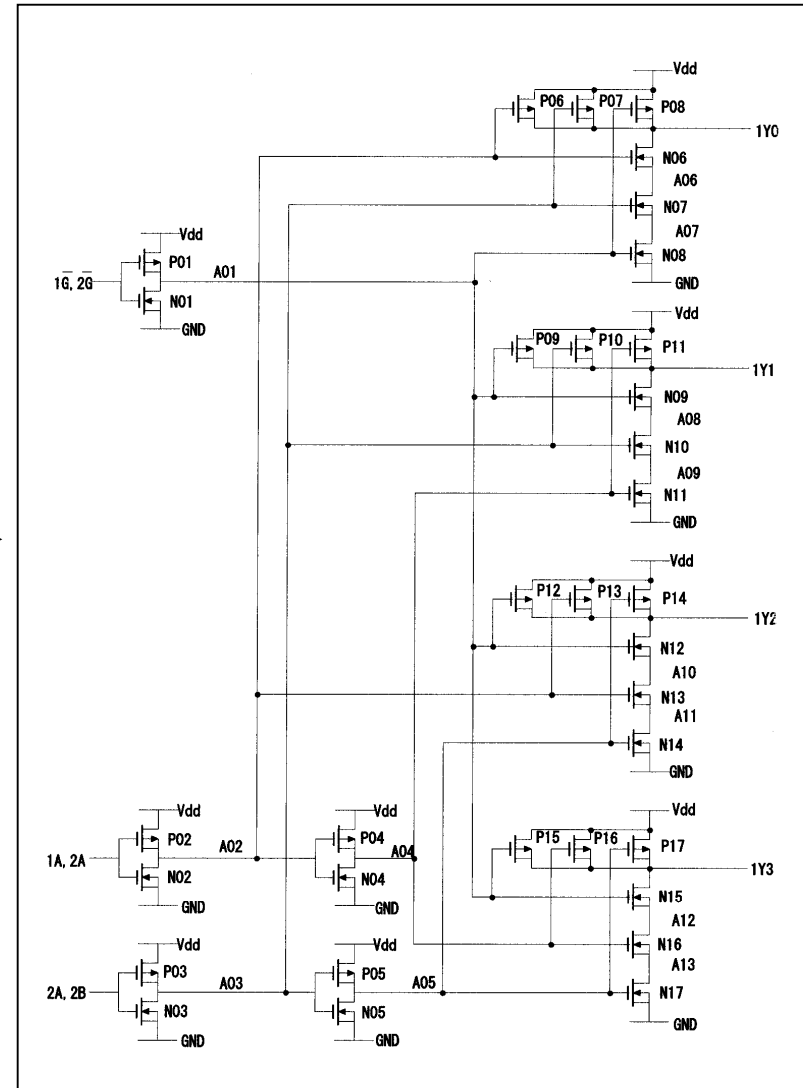
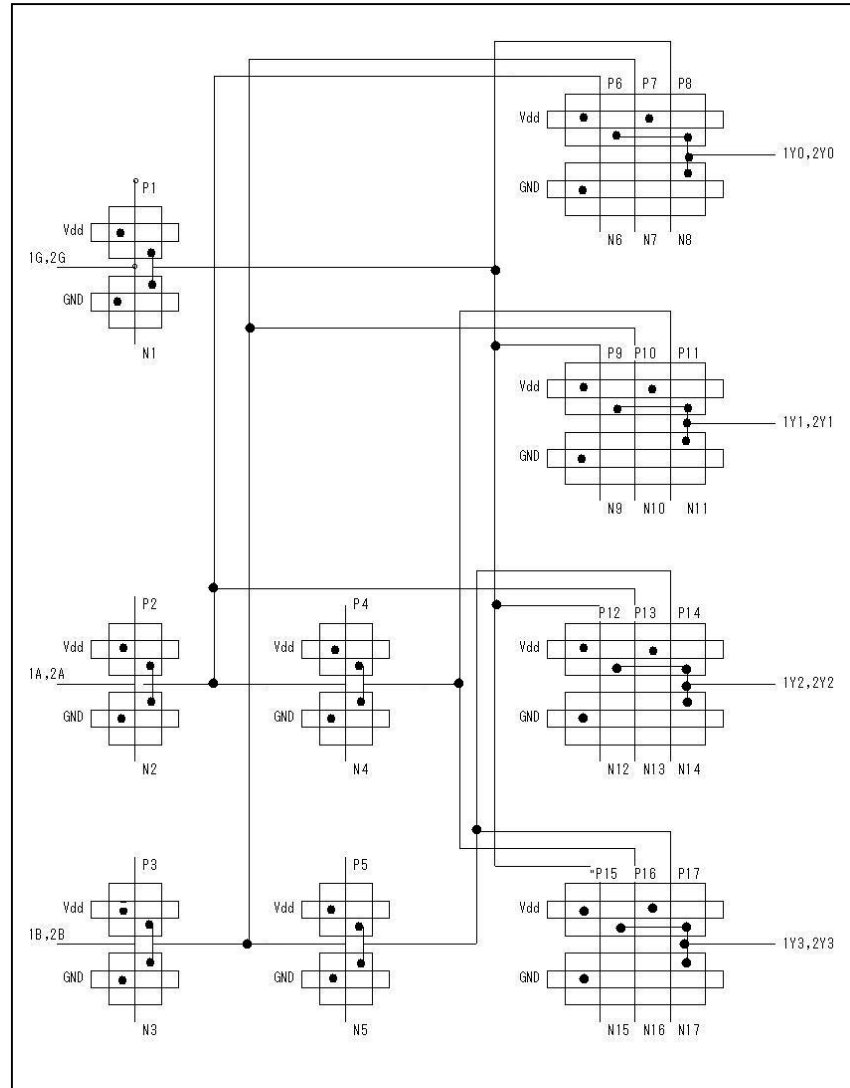
市販品LSIを開封しLSIパタンから回路(Trレベル)を識別させる実験  
 実験故障を作りこんだ回路(Trを基板に組んだ擬似LSI化)に対して実測  
 とシミュレーションの比較評価実験

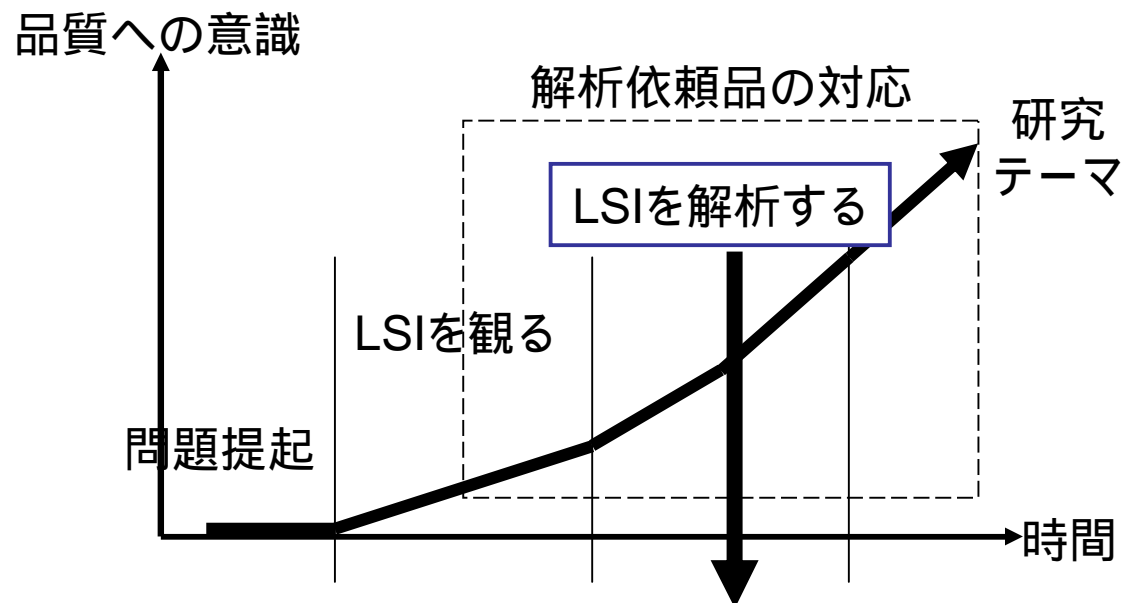
# LSI内のTr構成と回路識別実験



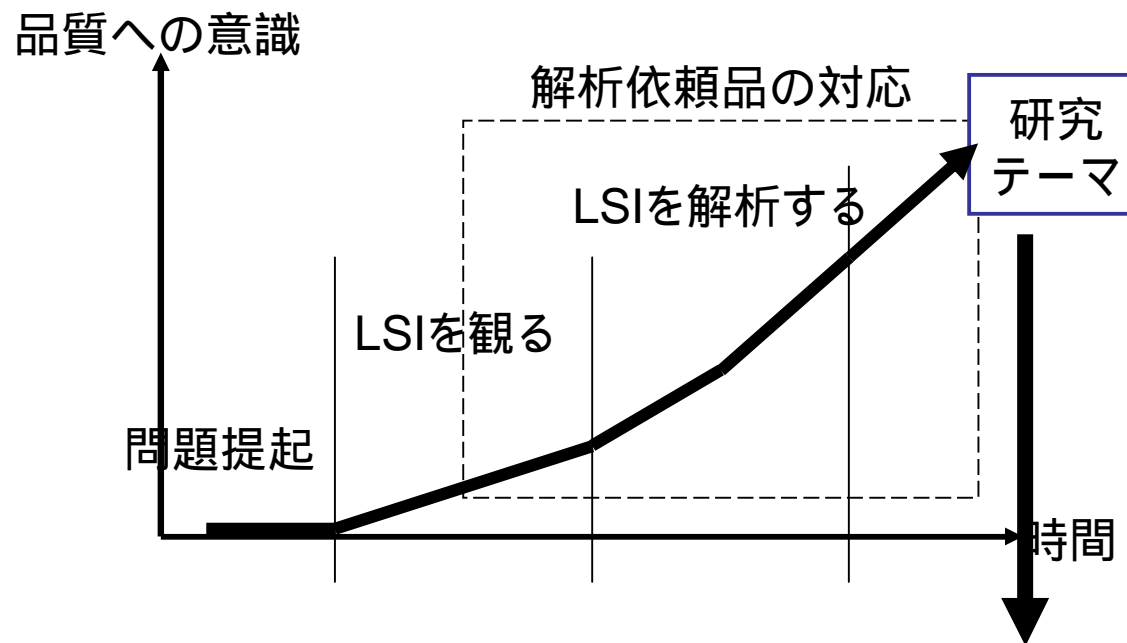
# LSI内のTr構成と回路識別実験

## レイアウトと回路図の整合





IDDQ異常がもたらす物理現象(発熱、発光)の理解・体験  
 故障の作り込み  
 電気的特性と物理解析でこれらの因果関係をまとめる  
 品質の観点からこのような現象の原因と理由、そして予防の議論



テーマ: 解析装置の自作 / 故障に伴う物理現象の研究 / 母体品質の推定  
 / 診断シミュレーション開発 / これらを統合した故障現象の研究  
 セミナー: 故障物理 / 数理統計 / 故障モデル / DSM化に伴う問題点と開発動向

\* 診断シミュレーション:

電源電流を用いた故障箇所特

DSM化に伴う電源電流を用いた故障LSIに識別方法

LSI断面構造シミュレーションと故障発生要因の対応研究

素子レベルでの故障箇所候補の絞込みソフトウェアの開発

\* 故障現象の研究:

CMOS・LSIのオープン故障の特性解析実験と識別方法の研究

画像表示によるLSI動作解析のための研究

以上、品質への意識を持ちながらLSI評価を実施する研究室独自のカリキュラムを紹介した。

\* 母体品質の推定:

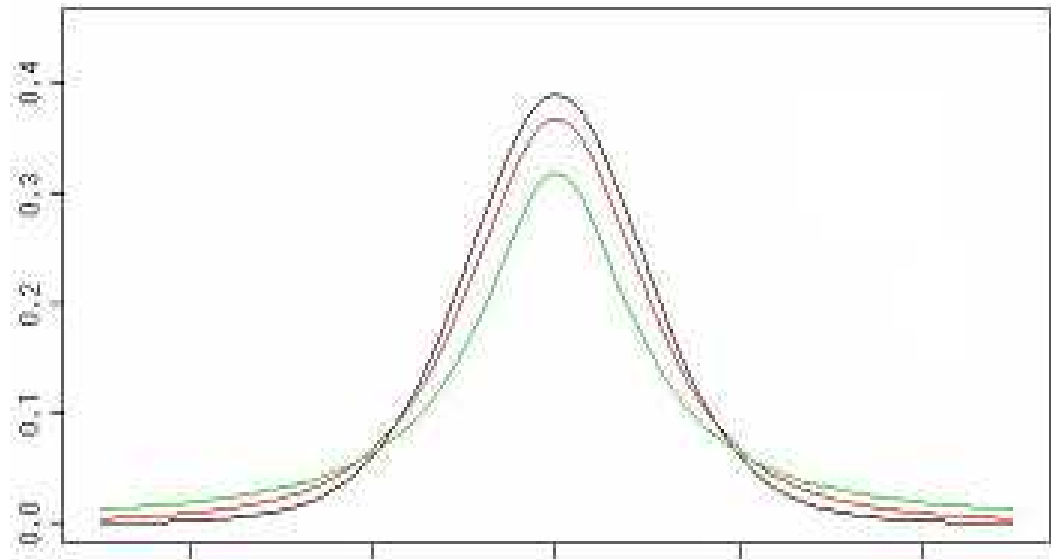
電子部品(コンデンサー)の母体品質の推定

## (t分布)

サンプルの平均寿命  $\bar{x}$

サンプルの数  $n$

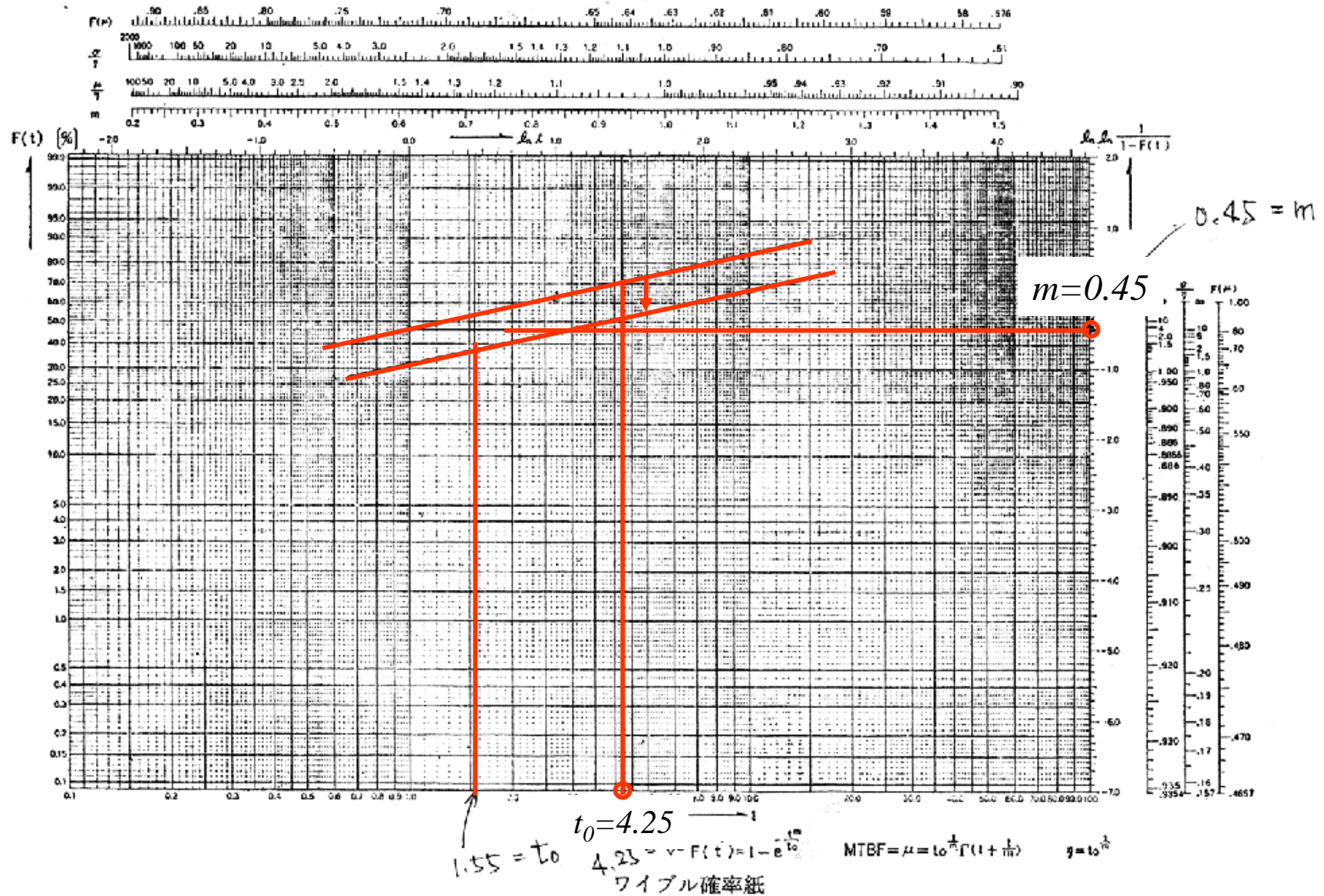
$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_n - \bar{x})^2$$



$$\bar{x} - t_{n-1}(0.025) \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{n-1}(0.025) \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

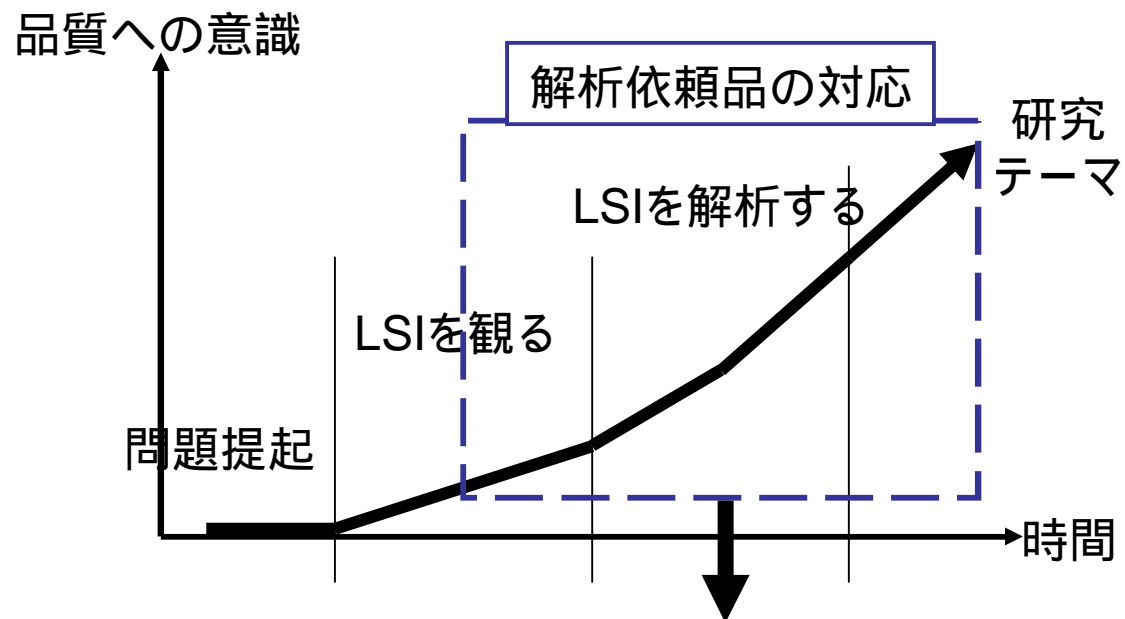


# 母体の品質推定実験 (タンタルコンデンサー)



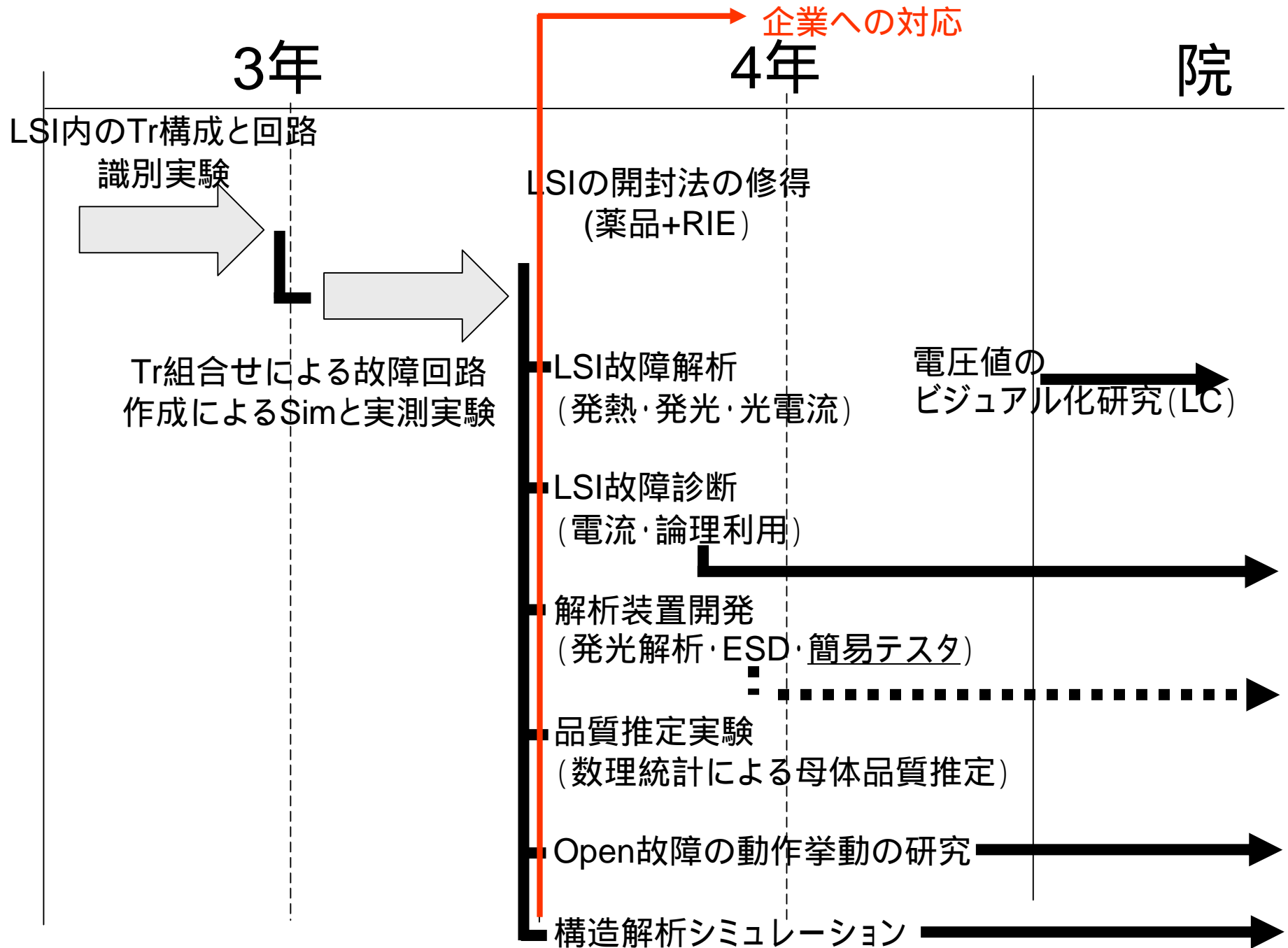
# 母体の品質推定実験(タンタルコンデンサー)





独自の研究テーマをベースに解析依頼されたLSIに対して故障箇所の絞込みを行っていく

研究が実社会に役立つものかを知る上で貴重な経験となる  
問題点の改良で研究内容を充実



## 5. まとめ

研究室を立ち上げて3年弱であり、本テーマの主旨には遠い位置にいる。

### 研究室内の環境

装置類は可能な範囲での自作

ソフトウェアの自作

診断と解析を組み合わせた効率的なシステムの構築

過程に品質のKeywordを取り込んでいく。

地域企業から故障LSIを分けて頂き、そのトラブル内容をベースにしながら解析

その結果を品質の観点から考察する。

### 効果

1. 品質は大変な努力の上に構築されるということの実感
2. (解析に対する)仕事への品質と認めてもらう報告書の品質 : 教育にある。
3. 物と人の品質向上は研究への適用と社会へ送り出す大学の義務である。