

LSI の評価・解析を通じた大学と企業間の交流 － 学生への品質意識向上の試み－

眞田 克

高知工科大学 工学部
〒 782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

E-mail: sanada.masaru@kochi-tech.ac.jp

要約：大学にて学生への品質意識をどこまで向上させることができるか試行錯誤している。当研究室は LSI の故障解析・診断技術を中心とした研究開発を行っている。漠然とした研究は実社会から孤立する。そのため、企業においてトラブルが発覚した LSI に対して解析の手伝いをさせて頂いている。さらに単なる解析だけではなく、企業からその発生状態を同時に報告してもらい解析結果との対応を勉強させて頂いている。そして、研究室において解析結果と発生の因果関係を議論しながら故障の認識を行なっている。この勉強は俄然、学生に社会に貢献しているのだという意識を持たせ、ひいては品質をより身近に感じてもらう動機付けになっている。

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?」: この目的は、学生に講義ではえられない「品質に対する緊張感」を通して LSI の故障を考えさせることである。そして、この体験を通して「品質」という認識をもって各人の卒論や修論のテーマを決め、研究を行なってもらうことを目的としている。

「そんな簡単に解析ができるのか?」: 幸いに対応する LSI に先端 (DSM) デバイスは少なく、ほとんどが市場に流通している簡単な回路である。又、配線も 3 層ぐらいであり、比較的容易に対応がとれる。そして、電源電流という強力な情報を利用できるためある程度回路が判らなくても故障箇所を検出できる。

「企業がこのような解析に応じてくれる理由は何か?」: 故障品に対して LSI 製造メーカー側が丁寧な対応をとってくれない状況 (特に海外メーカー) と解析専門会社へ頼んだときの価格の高さにある。LSI を購入した会社はそのトラブル原因が判らねば信頼性に大きな問題を抱えることになる。今後トラブルが発生しないように早急に対策する必要があるためである。

以上の背景のもとに地域企業と研究室間の考えが一致し社会貢献の 1 つとして「LSI の故障解析」と

いう試みを行なうに到った¹⁾。図 1 は大学 (当研究室) と企業との関係図である。企業側で発生したトラブル LSI に対して、LSI のカタログと装置内のデバイス配置図及び、トラブル発生または発覚時の様子を報告頂く (図中①)。当研究室ではこれらの情報をもとにどのように解析を行ない、故障箇所を絞り込むか議論しスケジュールを立てる。このような対応をするためには、事前に講義やセミナーを設定したり (図中②)、又できる範囲での機材を準備する必要がある (図中③)。そして解析の経験を積みながら何が自分の研究テーマに相応しいか選択する (図中④)。以上を通して品質と関係つけながら卒論や修論を遂行していく (図中⑤)。

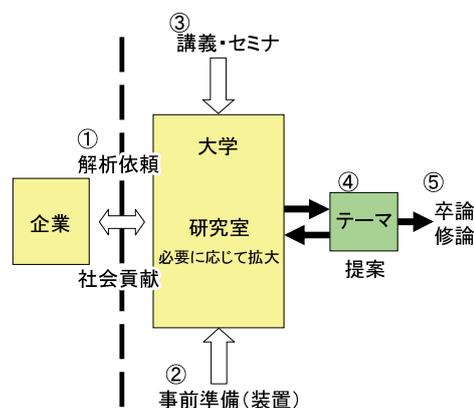


図 1 大学研究室と企業との関係

本報告は2章にてLSI評価方式としての電源電流に関して述べる。3章にて解析のための基本作業である開封加工とそれに付随する薬品管理に関して述べる。4章にて依頼されたLSIの解析事例を述べる。次に、5章にて品質を認識させるための講義やセミナー内容と、これまでに扱ってきた研究テーマに関して報告する。そして最後のまとめを行なう。

2. 情報としての電源電流

故障箇所の特定にあたり用いる技術は電源電流である。電源電流は体内を流れる血液と同じである。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る。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う。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っている。

ところで、CMOS_LSIにおいて、論理が安定した状態での電源電流を I_{DDQ} (Power supply voltage)と呼ぶ。LSI内部に異常があれば I_{DDQ} は正常に比べ大きな値となる。これを I_{DDQ} 異常と呼ぶ。図2は従来から広く使われている論理情報と I_{DDQ} 情報によるLSI評価方法(テスト・解析・診断)を示す図である。ほぼ同じ評価手法で対比できるが I_{DDQ} 情報は論理情報に比べて検出感度が高い、また扱いが簡単という大きな特徴を有している²⁾。

そのため、回路や動作内容に不備があっても、 I_{DDQ} で補うことができる。

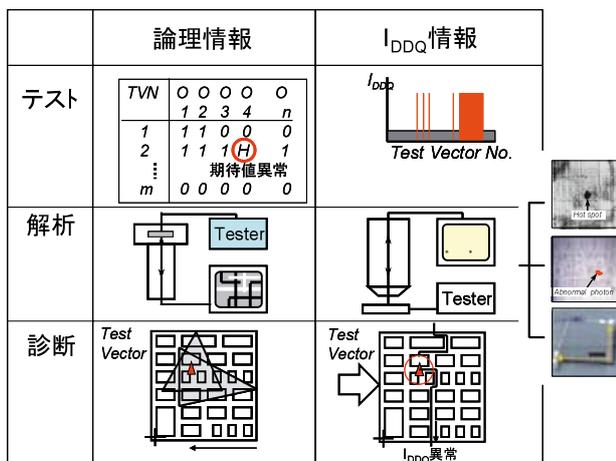


図2 論理情報と I_{DDQ} 情報によるLSI評価方法

3. LSIの開封作業のための基本

LSIを解析するにあたり、前処理としてのパッケージ(PKG)開封作業は必須である。この作業は化学薬品を使用するため、取扱い上の注意と廃棄処理の厳格化を図らねばならない。当学科では学生への安全講習と労働基準で規定されている廃棄処理システムを導入している。この取り組みは品質管理の観点から最も重視しなければならない事項である。

<薬品処理>

LSI解析を実施するにあたり前加工である開封作業がある。この作業は化学処理を伴うため、化学薬品の取扱い管理規定を制定し、企業並みの体制をとっている。この理由は、実社会で問題となる水質汚染や土壌汚染を防止するためである。また、LSI工場などでしばしば発生する火災やボヤ事件の原因が薬品の取扱い不備によるものが多いためである。この管理体制は他研究室での薬品作業とも合致するため、学科全体(大学全体には到っていない)で購入-薬品-廃液保管-廃棄に到る一元管理としている。

管理内容は

- ①薬品取り扱い講習の受講の義務
講習参加者の名簿作成と、参加者以外の化学薬品の使用の禁止を規定する。
- ②薬品のIN-OUT管理
購入量と保存・廃液量の台帳記入とIN-OUT量の一致を定期的に点検する。
- ③廃液処理方法の規定
使用済みの廃液処理手順、使用ビーカーなどの洗浄液の1次及び、2次希釈液手順および、廃液保存方法を規定する。
- ④廃棄処理の規定
産業廃棄物として選定した業者に対して定期的に処理依頼している。マニフェストをすべて保存することでトレースを記録する。

以上は品質の観点から大変重要なアイテムである。図3に薬品処理のフローを示す。

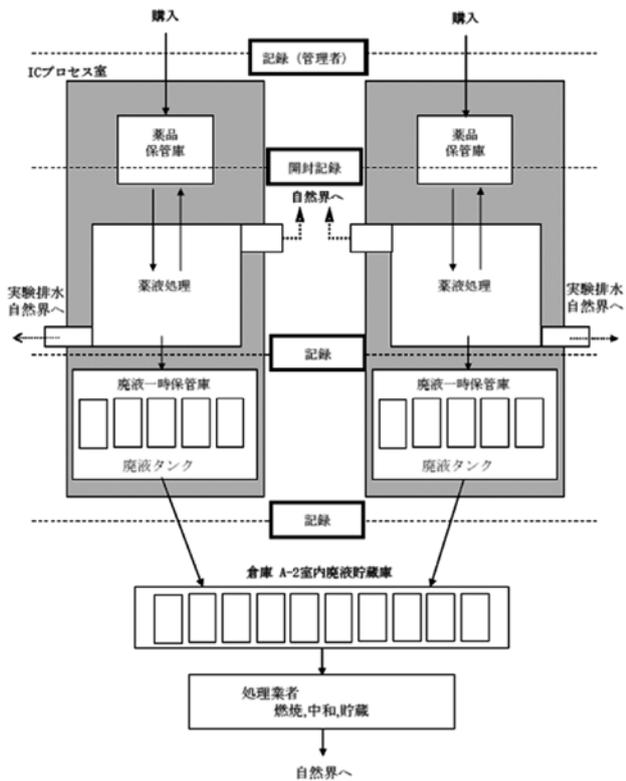


図3 薬品処理フロー

<開封作業>

電気的特性を破壊せずに LSI モールドパッケージ (PKG) を開封する作業は基本である。開封装置がないため、開孔箇所の周りを耐酸性シートで被い、発煙硝酸にて溶かす。この訓練は研究室の学生全員にさせている。この処理過程において、学生らは独自に開封の精度向上のためのドリルを用いた前加工法をみだした(図4)。現在、形状 1mm 以下の PKG の開封に成功している。図5は開封前後の像である。



図4 ドリルを用いた前加工

いずれも実社会での作業を念頭に少ないサンプルを正確に大切に扱わねばならないことを念頭に処理を行わせている。

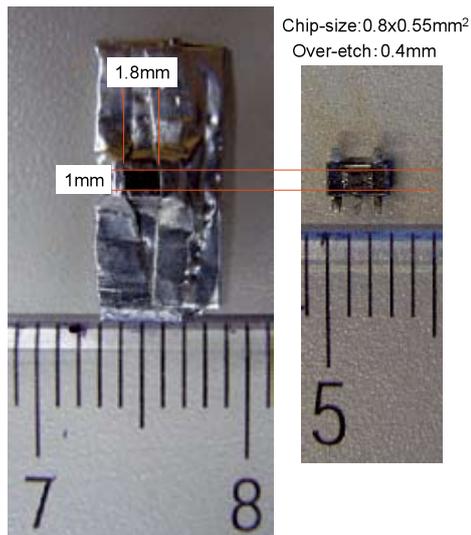


図5 PKG 開封前後の像

4. これまでの解析事例

解析において故障の発生状況と故障 LSI を企業から頂き、品質を念頭にした電気的現象と理論との対応付けを行っている。これまでの依頼されたトラブル品の解析結果は 75% が入力回路部の ESD による破壊であった。図6にこれらの事例を紹介する。外観で破壊箇所の検出できないものは液晶を用いた発熱解析(図7)や発光解析(図8)から故障箇所の特定を行っている。

これらの事例を通して品質を考えた時、ではなぜこのような現象が起きるのか、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³⁾。

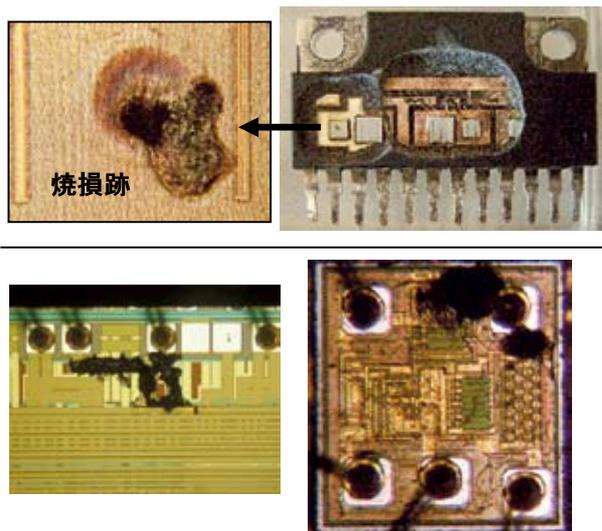


図6 ESD による破壊箇所

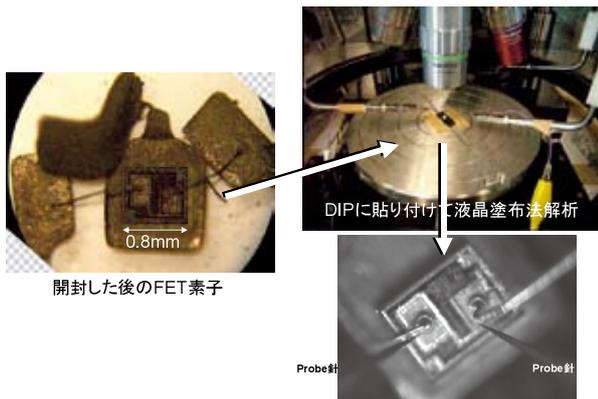


図7 液晶を用いた発熱解析

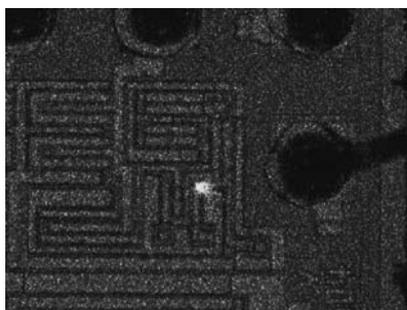


図8 発光解析(冷却 CCD を用いた検出)

<品質の観点からの再現実験>

LSIの故障を作り込もうとしても思うように壊れない。一方で企業からの故障 LSI は簡単に壊れる。そのため、故障を作り込んだ LSI により故障現象の評価を行なっている。作り込みは

- ①正常 LSI に故障を作成する。手法の1つは RIE 加工後の配線上にプローバ針を当てることで故障の作り込みであり、もう1つはレーザー(YAG: 1064nm or 532nm)照射による断線箇所の作成である(図9に加工例を示す)⁴⁾。

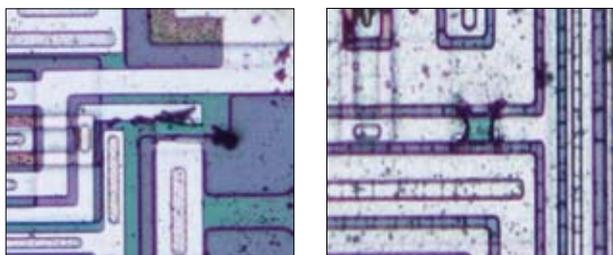


図9 故障の作り込みのための加工

- ② VDEC 利用による故障を作りこんだ LSI の設計である(図10にオープン故障とショート故障の回路例を示す)

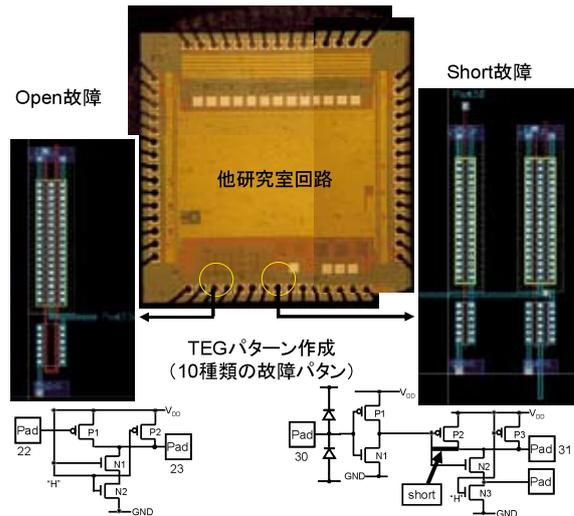


図10 VDEC 利用による故障回路設計

5. 品質関連の講義やセミナーと研究内容

どのようにして品質への意識を高めていくか、どうしたらこのような故障を予防できるかを研究室独自のカリキュラムにより試行している。図11はそのカリキュラムであり、横軸は時間 縦軸は品質に対する意識向上を示しており、ステップ毎の目標を記載したグラフである。

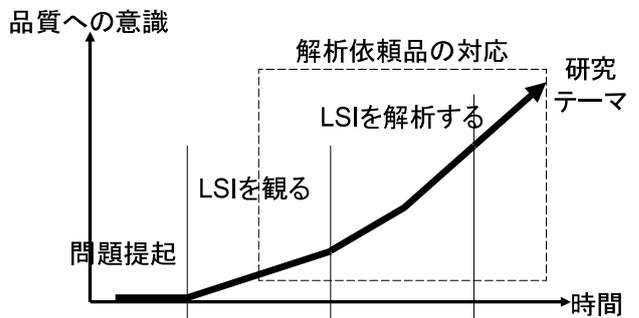


図11 品質意識の向上へのカリキュラム

ステップは5段階あり、まず品質を意識した問題提起、次に LSI を理解するための理論と観察の徹底である。次に、故障現象を理解するための簡単な解析を体験させ、その後、研究テーマを選ばせる。また、この段階で企業から依頼された故障品の解析を行わせる。以上のステップを通して品質の意識を向上させていく。

【問題提起】

形あるものは壊れる、LSI も同じ…なぜか? といった調査テーマを自からの考えでまとめさせ発表させている。この内容は Web にてほとんど検索できないため面白い内容が報告されている。

【LSI を観る】

まず、実験を行う上で厳守すべき、化学薬品取扱い(IN-OUT、廃棄)とレーザ取扱いを集合教育する。薬品は登録者以外使用できない。その後、市販品 LSI(規模は約 50Tr ぐらい)を開封し LSI パターンから回路(Tr レベル)を識別させる実験と、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を行う。

【LSI を解析する】

主に I_{DDQ} 異常がもたらす物理現象(発熱、発光)を理解させ、これらの現象を実験させることで電源電流の面白さを体験させる。さらに故障の作り込みを行なわせる。レーザやプローバ針による断線及び、酸化膜へのダメージ、さらにはプローバ針によるショート故障の作成で故障を作る。そして電気的特性と物理解析でこれらの因果関係をまとめる。さらに、品質の観点からこのような現象が LSI 内部では何らかの原因で作り込まれることの原因、そしてこの予防に関して議論し合う。

【研究テーマ】⁴⁾

卒業研究にあたり 5 つ大きなテーマから選択させている。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 である。

これらの実験研究をアシストするために、故障物理、数理統計、故障モデルに関するセミナーおよび、DSM 化に伴う問題点とその技術開発動向を講義している。

－装置の自作－

①冷却 CCD を用いた発光解析装置② ESD 試験器の作成(3つのモデル: CDM / MM / HBM)③簡易テスト装置(FPGA 利用のテスト)

①に関して図 12 は研究室で開発した微小発光を検出する簡易装置である。発光感度の向上のための水冷 CCD($\lambda_{max}=1100\mu m$)を用いたノイズ低減策と波長帯域をカバーするレンズの購入及び、LSI 内部の任意箇所に入力するためのプロービング装置を組み合わせたシステムであり、シールドした木箱で全体を覆うことで微小光検出の工夫を行っている⁵⁾。

②の ESD 試験器に関しては 3 つのモデル(MM、HBM、CDM)によるパルス印加が可能な装置を開

発した²⁾。図 13 に試作した ESD 試験器を示す。



図 12 微小発光を検出する簡易装置



図 13 ESD 試験器

－物理現象の研究－

①故障がもたらす異常発熱現象 ②異常発光現象の解析 である。

以上は電子や光をベースに前述した装置の作成や工夫により実施している。また、効率的な観察のためにソフトウェアの導入を図っている。

－母体品質の推定－

①電子部品(コンデンサー)の母体品質の推定

本件は市販のタンタルコンデンサーに関してサンプリングから母体の品質の推定を試みた研究である。温度加速によるリークから劣化を推定した。形状パラメータは $m < 1$ となり、電流のモニターで劣化に到る傾向はつかめなかった(図 14 参照)。品質や信頼性の点で今後も計画する予定である。図 14.1 は実験器であり、加熱装置はホットプレートであり、デジタル温度計測器を装着した状態でリーク電流値 +10% 以上を異常とした判定による時間測定を行なった。図 14.2 はワイブルプロット図である。



図 14.1 実験状況

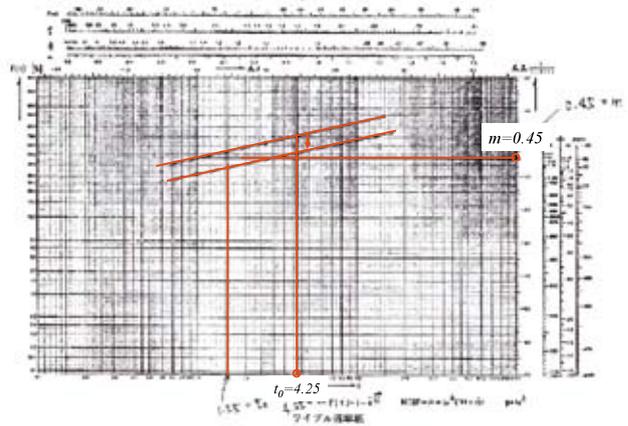


図 14.2 ワイブルプロット

図 14 タンタルコンデンサの母体品質の推定

ー診断シミュレーションー

①電源電流を用いた故障箇所特定方式②DSM化に伴う電源電流を用いた故障LSIに識別方法③LSI断面構造シミュレーションと故障発生要因の対応研究④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 である。

①に関して特にショート故障箇所の特定を行っている。異なった信号が印加した配線間でのショート故障は入力論理に同期した配線毎の論理の組合せで識別が可能である。VBAを用いたソフトウェアで故障候補の特定を行っている。

②に関しては正常なスタンバイ電流値は大きいため故障起因電流の識別を困難にする。そのためフーリエ解析により電流波形の変化を識別することで、識別限界を検討している。

③に関しては断面構造と故障や歩留まりバラツキの検証を行っている。この研究はレイアウトパターンを用いてシミュレーションすることで取り出したデバイスの断面構造により、製造パタンの位置ずれによる素子形状の変化具合や電気的特性への影響を調べる研究であり、特にプロセスのワースト状態(3 σ)に偏在したときの構造がどのように変化するか、またその許容範囲をどこまで見積もるかを検証している(図15に検証例を示す)⁶⁾。

④に関してはLSIの増大と共に大きくなるセル回路内の故障をトランジスタレベルで解析する方式を研究している。従来のアナログ解析として一般的なSPICEシミュレーションに比べて、同じ診断精度ながら、約1/500～1/1000という診断時間と簡易な操作で検証できるソフトウェアの研究である^{7,8)}。

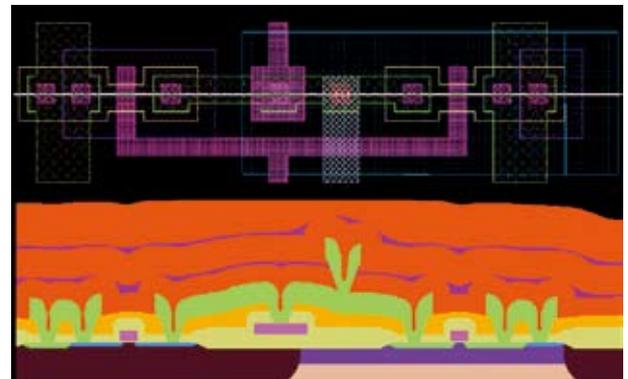


図 15 レイアウトより取り出したデバイスの断面構造

ー故障現象の研究ー

①CMOS・LSIのオープン故障の特性解析実験と識別方法の研究②画像表示によるLSI動作解析のための研究 である。

①に関しては多層配線構造化と共に故障の割合が増大してきているオープン故障に関して、電氣的にどのような特徴をもたらすかの基礎研究を行っている。モデル化を目指しており、故障診断の統合化システムを計画している。

②に関してはLSI上の電位情報をVisualに観察する簡易な方式を研究している。

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。

【解析依頼品への対応】

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なっていく。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、そして、問題点を改良し又は、後輩に改善依頼を行ないながら研究内容を充実していく。

今後の計画としては「解析事例のデータベース化」である。これは研究室でのエキスパートシステムを構築すべく検討中である。このデータには品質としての考え方が含まれる。

6. まとめ

研究室を立ち上げて4年弱であり、本テーマの主旨に沿ったLSI評価にまだまだ遠い位置にいる。現在、研究室では高価な装置類は可能な範囲で自作し、テーマに沿ったソフトウェアを自作することで研究室の環境を整えている。そして目標は診断と解析を組み合わせた効率的なシステムの構築であり、その過程に品質のKeywordを取り込んでいく。そのために地域企業殿から故障LSIを分けて頂き、そのトラブル内容をベースにしなが解析し、その結果を品質の観点から考察する。

この効果の1つは、品質は大変な努力の上に構築されるということ、もう1つはこれらを遂行する上でサンプルを丁寧、慎重に扱い、他人に認めてもらう報告書を書く教育にある。物と人の品質を向上させながら研究を進める態度は学生を社会へ送り出す大学の義務と考える。

謝辞

協力頂きました高知県内企業の方々及び、このようなシステムに対してフォローいただいた当大学研究支援部の皆様にお礼申し上げます。研究室の卒業生や在学生はこれらの主旨を理解し、研究と故障解析を両立して頂いた、もしくは頂いていることに感謝します。

文献

- 1) 眞田克 “LSIの評価・解析を通じた品質意識の向上－大学での試み”、信学技報 R2008-19、pp.25-29、2008。
- 2) 眞田克 “ I_{DDQ} を用いたCMOS-LSIのテストイング・故障解析・故障診断”、REAJ、Vol.24、No.8、pp.711-729、2002。
- 3) 山崎規雄、眞田克 “簡易ESD装置の開発とその適用検討－ESD破壊現象の特定－”、信学技報 R2007-59、EMD2007-114、pp.1-5、2007。
- 4) 高知工科大学 電子・光システム工学科、学士論文：2006、2007、2008年度。
- 5) 有田竜一、橋田啓示、眞田克 “故障LSIのための簡易発光検出装置の開発”、平成19年度電気関係学会四国支部連合大会 9-1。
- 6) 妹尾政憲、眞田克 “LSIの断面構造シミュレーション”、平成20年度電気関係学会四国支部連合大会 9-19。
- 7) 眞田克 “トランジスタの動作点解析による故障箇所の特定制定－リーク故障が論理動作に与える影響－”、信学技報 Vol.106、No.377、R2006-31、2006。
- 8) 眞田克、中村朋矢、橋田啓示 “トランジスタ動作点解析による故障論理の追跡－フィードバック故障による発振現象の取得－”、信学技報 Vol.107、No.213、R2007-30、2007。

Relationship between Industrial Societies and University through LSI Evaluation and Analysis — Motivation of Quality Awareness to Students —

Masaru Sanada

Faculty of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami city, Kochi 782-8502 JAPAN

E-mail: sanada.masaru@kochi-tech.ac.jp

Abstract: At the university, I have executed the trial to improve of quality awareness to the student. My laboratory has treated an evaluation study mainly of analysis and diagnosis technology on the LSI, but the vague study is isolated from the real world. The fault LSI and letters of trouble detection are therefore provided from the industry companies for study. The LSI is analyzed and detected the fault portions, following which the trouble causation is discussed in the laboratory members. This idea gives the awareness to contribute to the society, and the motivation to feel a quality to them.