
簡易エミッション顕微鏡解析装置開発

Effortless Emission Microscopy for Semiconductors Users

寺山 正伸* 門田 靖**

Masanobu TERAYAMA Yasushi KADOTA

要 旨

近年、LSIを中心とした半導体デバイスの品質、信頼性は大幅に向上している。これは、半導体メーカーでの信頼性技術の向上が大きく寄与していることは言うまでもない。一方、市場において半導体の故障が無くなったかという点、決してそうではない。ESD (Electro Static Discharge) /EOS (Electro OverStores) という言葉にひと括りされてしまうが、モータドライバを含むパワーデバイスや光学センサ、入出力をつかさどる汎用デバイス類などは、ユーザのアプリケーション依存性も大きく、回路設計によっては、ユーザ側での工程や市場で故障を発生させる可能性を秘めている。

一方、LSIの故障解析に使われているエミッション解析装置は、LSIの故障部分を検出する方法として完全に日常のラインに組み込まれている。この装置は、近年微細化の進んだ、LSIの内部回路の不良を検出することを主目的としている為、非常に光検出感度が高く、かつそれに対して効果的である為、半導体メーカーでは投資効果に見合うものであるが、一般の半導体ユーザには対投資効果が見合わないばかりか、感度もニーズに対して高すぎる。

しかし、前述の様に回路設計上対象とするデバイスの各種電気ストレスに対する破壊箇所、パターン、動作を評価・解析する為にエミッション解析装置が必要なケースも少なくない。そこで、本来生物用途で微弱な蛍光を観察することを主目的として開発された顕微鏡用高感度CCDカメラを、エミッション発光観察用途に適用してみたところ、半導体ユーザが回路検証、ESD/EOSの評価・解析に使用するには十分な性能であることが明らかになったので報告する。

ABSTRACT

It is equipped to evaluate in routine inspection line as, the method that the emission analysis device that is used in the failure analysis of LSI detects the defective position of LSI.

The device to the investment effect in LSI manufactures, because light detection is effective and very high sensitivity. Unfortunately the investment effects are too high to a general semiconductor user, and also the sensitivity of the light detection is too high to the user's needs. However, there is the need of this device for the evaluation and analysis of the stress regarding the design of the electronics circuit. We tried to apply the high sensitivity TV camera for the biology microscope, which is introduced for the inspection of a very weak fluorescence light in the biology application mainly. We report, because it became clear that it is sufficient to this TV camera uses for the analysis of the circuit inspection, ESD/EOS of the semiconductor user as the result.

* 画像システム事業本部 QAセンター

Quality Assurance Center, Imaging Systeme Business Group

** 経営品質管理本部 信頼性技術室

Reliability Engineering Office, CSM-Division.

1. 背景と目的

近年、LSIを中心とした半導体デバイスの品質、信頼性は大幅に向上している。これは、半導体メーカーでの信頼性技術の向上が大きく寄与していることは言うまでもない。一方、市場において半導体の故障が無くなったかという点、決してそうではない。ESD（Electro Static Discharge）/EOS（Electro Over Stores）という言葉にひと括りされてしまうが、モータドライバを含むパワーデバイスや光学センサ、入出力をつかさどる汎用デバイス類などは、ユーザのアプリケーション依存性も大きく、回路設計によっては、ユーザ側での工程や市場で故障を発生させる可能性を秘めている。

一方、LSIの故障解析に使われているエミッション解析装置は、LSIの故障部分を検出する方法として完全に日常のラインに組み込まれている。この装置は、近年微細化の進んだ、LSIの内部回路の不良を検出することを主目的としているが、非常に光検出感度が高く、かつそれに対して効果的であるが、半導体メーカーでは投資効果に見合うものであるが、一般の半導体ユーザには対投資効果が見合わないばかりか、感度もニーズに対して高すぎる。

しかし、前述の様に回路設計上対象とするデバイスの各種電気ストレスに対する破壊箇所、パターン、動作を評価・解析する為にエミッション解析装置が必要なケースも少なくない。

そこで、本来生物用途で微弱な蛍光を観察することを主目的として開発された顕微鏡用高感度CCDカメラを、エミッション発光観察用途に適用してみたところ、半導体ユーザが回路検証、ESD/EOSの評価・解析に使用するには十分な性能であることが明らかになったので報告する。

2. 蛍光観察用高感度CCDカメラ

2-1 仕様と特徴

近年、生物研究用途として主に蛍光観察を目的として、各社から高感度の顕微鏡用CCDカメラが開発、販売されている。その一つに、米国Optronics社製MagnaFireがある。

このカメラの特徴的な特性としては、以下の4項目が挙げられる。

- ① CCDをペリチェ素子で冷却している為、SN比が良い。
- ② 蛍光観察用に開発された為、色再現性が良い。
- ③ 300～1100nmの広い波長域の発光を高感度に検出可能。
- ④ R, G, B, IR Cut, Clear, Blackの6つのフィルタを備え、自動フィルタ変更機能がついている為、簡単な分光解析が可能。
- ⑤ 露光時間の調整により、高速の像から、微弱光を積算してとる事で幅広く活用が可能。

①、②及び③に関しては、他社高感度CCDカメラでも同等の仕様を有するものが数多く存在しているが、本CCDカメラの大きな特徴としてあげている④と⑤を有している高感度CCDカメラはMagnaFireのみであり、この仕様が半導体での微弱光検出を可能としている。

このカメラの主な仕様をTable 1に、システム構成をFig.1に、CCDの波長感度をFig.2に示す。

Table 1 Specifications of MagnaFire system.

項目	スペック
撮影素子	2/3"インターライン転送CCD (Sony CX085L)
ピクセル数	1300×1030画素 6.7μm×6.7μm
ダイナミックレンジ	60dB
S/N比	60dB
露出制御	全自動/手動 ノーマルモード: 0.00017秒～26分 ターボモード: 0.00017秒～2分
取り込み画像サイズ	1280×1024ピクセル 24,32,48bit(カラー)、8,16bit(モノクロ)
カラー画像構築	ダイクロイックカラーフィルターによる多重露光 6穴フィルタホイール(R,G,B,IR cut,Clear,Black)
シャッタ	電子シャッタ、ソフトウェア制御
PCインターフェース	IEEE1394 FireWire, 400bit/Sec

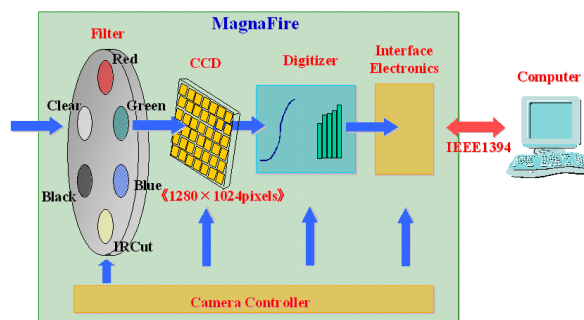


Fig.1 Structure of MagnaFire system.

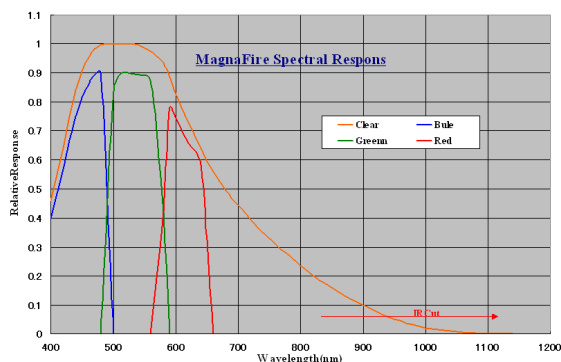


Fig.2 Response of CCD-wavelength.

2-2 蛍光観察例

近年、生きた細胞内でのタンパク質の機能解析やダイナミズムの研究が飛躍的に進んでおり、そのため顕微鏡下で生細胞の蛍光を記録・解析する装置として、本高感度CCDカメラが開発された。

蛍光を高感度検出することが可能な為、励起光の強度を抑えて観察することができるのが特徴である。(Fig.3参照)

また、電子・電気部品系の故障解析における蛍光観察にも適用でき、半導体チップ上の不純物の付着や基板の半田フラックス検出等に活用できる。(Fig.4参照)

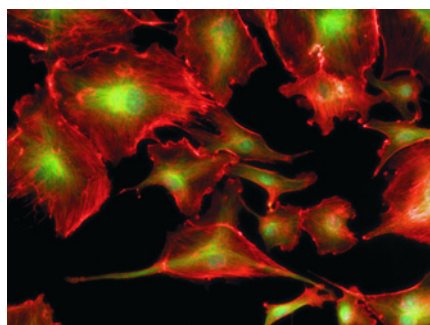


Fig.3 Image of ecological cell.

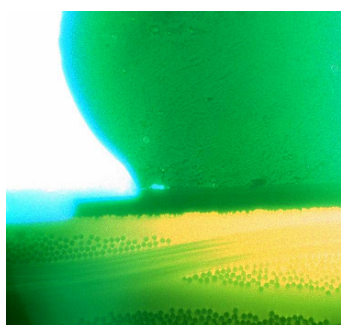


Fig.4 Image of soldering flux.

3. 簡易エミッション顕微鏡

簡易エミッション顕微鏡は、高感度CCDカメラ、金属顕微鏡、カメラ制御、画像処理、GPIB制御用PC、直流電圧/電流源、遮光用顕微鏡アタッチメント（簡易暗室）で構成されており、アタッチメント以外は全て市販機器、ソフトを活用する。(Fig.5参照)

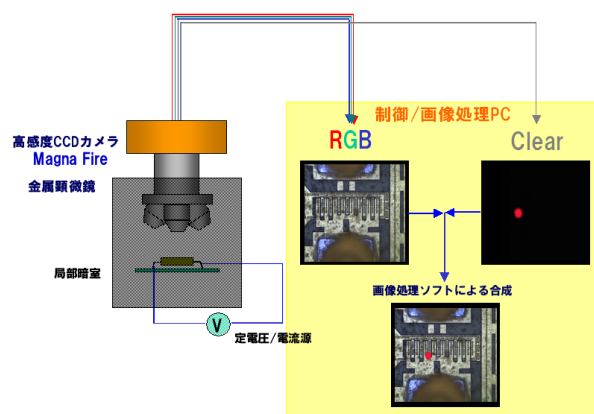


Fig.5 Diagram of Effortless Emission Microscope.

本システムでの半導体欠陥特定の手順は、

- ① まず、通常所有する金属顕微鏡に高感度CCDカメラ(MagnaFire)を装着する。
- ② 試料(半導体)表面の画像をRGB像として撮影する。
- ③ 次にバイアスを試料に印加し顕微鏡のハロゲンランプを切った状態で試料と接眼部を局部暗室の状態とする。
- ④ 試料欠陥部から発生するエミッション発光を撮影する。
- ⑤ 最後にRGB像とエミッション発光像を画像処理ソフトにより合成し、欠陥場所を特定する。

1試料にかかる解析時間は、発光強度の問題もあるが、5分～30分程度となる。

4. 簡易エミッション顕微鏡活用事例

4-1 ESD/EOS評価適用事例

デバイスの種類、使用用途(アプリケーション)、アッセンブリ環境等により、デバイスの静電気破壊パターンは異なり、一概に半導体メーカーの試験データ(大半は、耐量デー

タ) だけでは、そのデバイスの実力を把握することができない。

そこで、デバイスのESD/EOSに対する実力を把握する為にMM, HBM, CDMといった各種静電気試験により耐量及びチップ上での破壊箇所、パターンを確認しておく必要がある。このような評価データがアプリケーションでの信頼性設計やアセンブリ工程、市場での不良解析において非常に有益なデータとなり得る。

ここでは、あるインテリジェントパワーデバイスのロジック入力部における各種静電気試験による電気特性測定結果と簡易エミッション顕微鏡を使用しての破壊箇所、パターンを評価した事例を紹介する。

Fig.6は、評価対象としたインテリジェントパワーデバイスの入力部等価回路である。今、Input-GND間にMM, HBM, CDMといった各種静電気試験を実施した時の端子間V-I特性をFig.7に示す。

それぞれ、逆方向耐圧不良で、印加電圧が0～2.0V間でリーク電流が数十～数百 μ A増加しており、電気特性面からの不良モードは一致している。

しかし、デバイス開封後、表面を金属顕微鏡にて観察すると、HBM及びMMでは、入力部にシリアルに挿入されている抵抗部でアルミ配線の溶融が確認できるが（Fig.8参照）、CDMでの不良ではこれが確認できなかった。

そこで、簡易エミッション顕微鏡を使用して発光の有無を確認したところ、インバータ回路のP-MOS, N-MOSのゲート部での発光が確認された。（Fig.9参照）

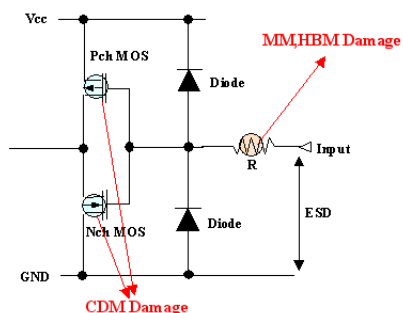


Fig.6 Diagram of input and its damages.

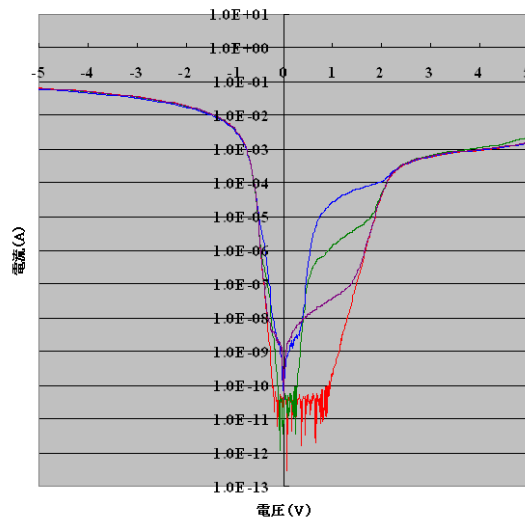


Fig.7 Electric property from various electrostatic tests.

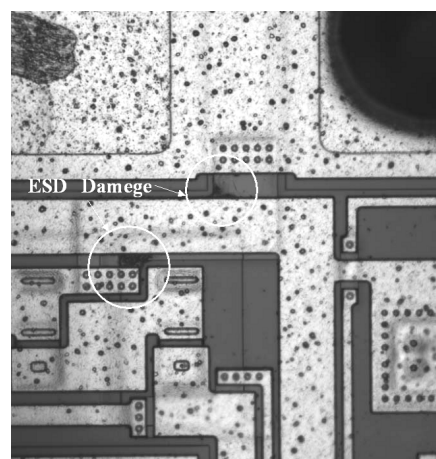


Fig.8 Damages of MM, HBM (Metal Microscope).

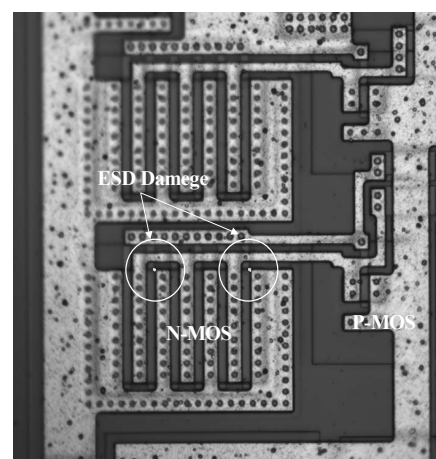


Fig.9 Image of damage in the CDM.

4-2 入力保護ダイオード動作解析事例

アプリケーション回路上でのデバイス不良再現において、試験等で擬似的に電氣的ストレスを印加し不良を再現させようとするが、印加ストレスがオシロスコープ等での確認では同じであるにもかかわらず、実際の内部素子の動作やストレスの経路がことなるといったことが良くある。

試験の妥当性を見極める上でもデバイス上の素子のアクションを比較する技術を有していると、その後の試験も効率的に実施することが可能となる。

ここでは、ある発振回路の入力部での実回路と確認試験回路での入力保護回路動作の違いを簡易エミッション顕微鏡を使用し、比較した事例を紹介する。

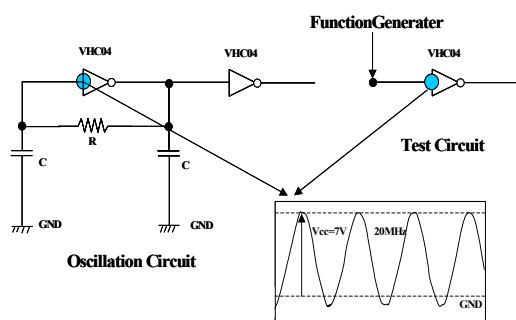


Fig.10 Comparison of circuit.

Fig.10は、汎用のC-MOSであるVHC04を使用した発振回路であり、矢印で示す点でのオシロスコープでの電圧波形は $-0.6\sim 7.0\text{V}$ の20MHzの振幅波形となっている。試験回路では、ファンクションジェネレータにてこの波形と同様の振幅電圧を入力している。この発振回路と試験回路でのVHC04の入力部での動作の違いが、この解析により明らかになったのがFig.12及びFig.13である。

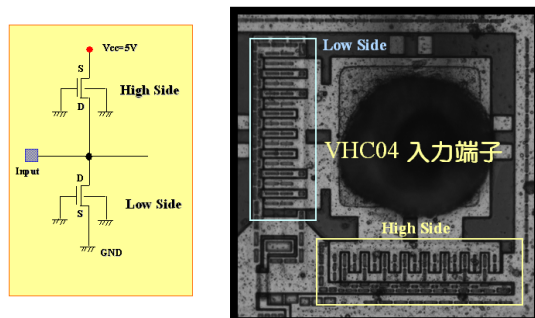


Fig.11 Input conservation circuit and fluorescence image.

実回路が、LowSide及びHighSideの両保護ダイオードがアクションしているのに対して、試験回路ではHighSideのダイオードしかアクションしていない。

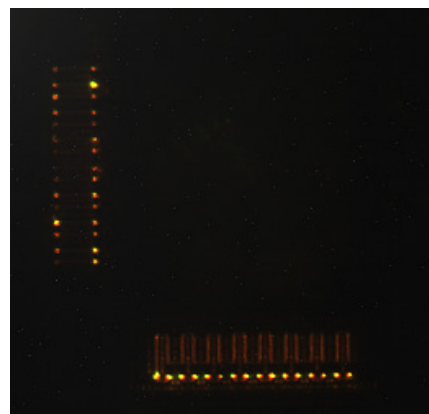


Fig.12 Image in an oscillation true circuit.



Fig.13 Image in a test circuit.

4-3 ラッチアップ解析事例

集積回路デバイスでは、内部に形成した設計回路以外に、そのデバイス構造によって構成される寄生トランジスタがサージ電圧によりターンオンし、過大な電流が流れるラッチアップ現象がある。近年のデバイスでは、デバイス信頼性設計においてルール化されている為、このような現象で不良が発生することはまれであるが、旧プロセスやメーカ技術のレベルによっては、不具合が発生する可能性を持っている。

ここで紹介する事例は、オプティカルICでのラッチアップ時の発光を簡易エミッション顕微鏡により検出したものであり (Fig.14参照)、回路及び素子構造上で寄生サイリスタが形成されたことが明確にされたものである。(Fig.15参

照)

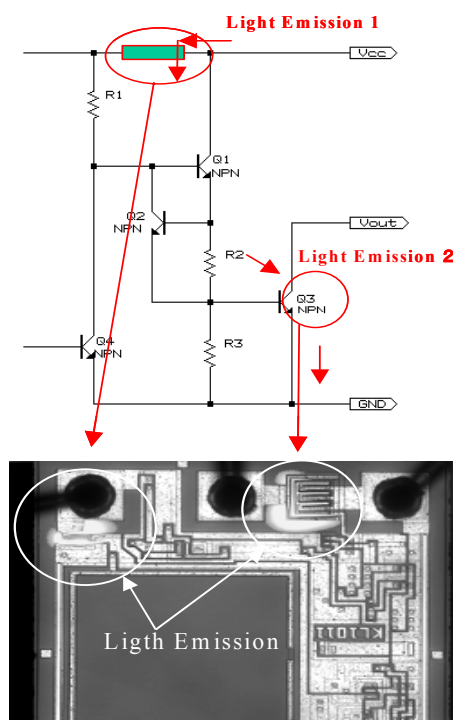


Fig.14 Figure of input and its damage point.

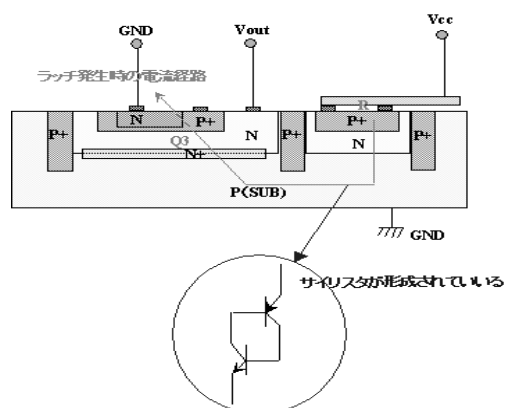


Fig.15 Estimate of a thyristor formation point from an emission of light point.

5. エミッション解析装置との比較

現在、半導体メーカで使用されているエミッション解析装置は、高付加価値化しておりデバイス表面のエミッション解析以外に、裏面からのIRエミッション、発光の波長分光解析、OBIRCH解析といったオプションも備えており、微細プロセスの信頼性評価、解析をターゲットにした仕様と

なっており、半導体ユーザが容易に購入できるものではなくなっている。

それに対して、今回紹介している簡易エミッション顕微鏡は生物用途を主として開発された高感度CCDカメラと通常所有する顕微鏡との組み合わせにより実現可能なものである為、専用解析装置を購入するよりも容易であり、更にユーザ側で要求される感度を満足し得るものとなっている。

Fig.16に逆バイアススリークでの発光検出限界（露光時間-電力損失）を簡易エミッション顕微鏡とI.I.カメラを使用したエミッション解析装置で比較したデータを示す。

高感度CCDカメラを使用した簡易エミッション顕微鏡での検出感度は、現状のシステム上の制限もあり、約20分の露光時間で1.0~3.0 μ W程度である。

それに対して、I.I.カメラを使用したエミッション解析装置では露光時間100秒で100~300nWと露光時間、感度とも一桁上の性能を示している。

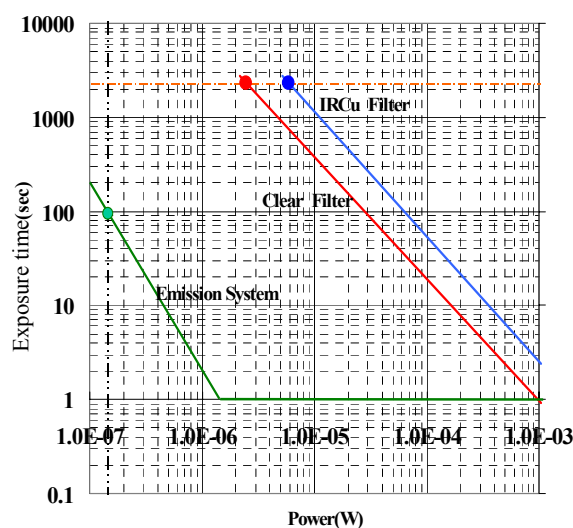


Fig.16 Comparison of light emission search limit.

このデータから簡易エミッション顕微鏡の活用範囲は、近年開発されている低電圧駆動デバイス（構造的には多層配線のデバイス）には活用が難しいが、3.3V以上のロジックIC（バイポーラプロセス、C-MOSプロセス）やモータドライバ、光学系センサといった機能素子に十分適用できるものと考えられる。

6. 結論

蛍光観察用の高感度CCDカメラを用いて、簡易的なエミッション顕微鏡法の試行を実施したところ、主としてESD/EOSに起因する入出力段回路の評価、解析レベルには十分な感度を有していることがわかった。

このことより、半導体のユーザレベルにおいて、本簡易エミッション顕微鏡での各種デバイスの評価、故障解析だけでなく、回路のノイズ検証等に積極的に使用する事ができるとことがわかった。

本簡易エミッション顕微鏡の評価、解析適用範囲をTable 2にまとめた。

Table 2 Evaluation, Analysis use range.

品種	適用範囲
パワー系デバイス	・バイポーラ系パワーデバイスのESD/EOS破壊箇所の特 定 ・HIC等のコントロールIC部破壊箇所特定
オプトデバイス	・OPICのESD/EOS破壊箇所特定 ・ラッチアップ現象確認
汎用デバイス (Bi、CMOS)	・入出力部及び内部回路破壊箇所特定 ・ラッチアップ現象確認
MPU、ASIC	・入出力部のESD/EOS破壊箇所特定 (多層配線では不可)

7. 今後の展開

エミッション顕微鏡法は、半導体を中心としたさまざまな故障解析・評価分野で使われている。今後は以下の点に注力し、応用事例を蓄積していく予定である。

- ① ロジックICやモータドライバ、光学系センサといった機能素子における回路評価、解析に関する応用。
- ② エミッション発光と電気特性との関係。

また、本高感度CCDカメラの特徴であるRed, Green, Blue, IR Cut, Blackの5種類のフィルタを活用した波長分光解析に関しても検討していく。

8. 参考文献

開発当初の主な発表論文

- 1) 工藤修 他「LSIの微小リーク電流箇所の高感度検出システムの開発」 第21回信頼性・保全性シンポジウム
- 2) 今瀧智雄 他「LSIの微小リーク電流箇所の高感度検出事例」

第21回信頼性・保全性シンポジウム

- 3) Neeraj Khurana et.al"Dynamic Imaging of Current Conduction in Dielectric Films by Emission Microscopy", IEEE/IRPS, pp72-75, 1987
- 4) Neeraj Khurana et.al"Analysis of Product Hot Electron Problems by Gated Emission Microscopy", IEEE/IRPS, pp189-194, 1986
- 5) Optronics社ホームページ
<http://www.optronics.com/biomedical/products.html>

注1) MagnaFireは米国OPTRONICS社の登録商標です。