

2004年1月22日  
独立行政法人 理化学研究所

## テラヘルツ波放射を用いた集積回路診断法の開発

### - LSI の故障箇所が見える方法 -

独立行政法人理化学研究所（野依良治理事長）は、LSI（大規模集積回路）診断技術への応用を目的として、レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡を開発しました。川瀬独立主幹研究ユニット（川瀬晃道独立主幹研究員）の山下将嗣基礎科学特別研究員らによる研究成果です。この研究は、大阪大学超伝導フォトンクス研究センター（辻毅一郎センター長）斗内政吉教授らのグループとの共同研究で進められました。阪大のフェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ発生検出技術を利用して、理研では具体的なLSIイメージングを行い、故障・検査システムとして開発を進めたものです。

LSI の高密度化・複雑化に伴い、その信頼性及び品質に対する要求が急激に高まっており、非破壊・非接触でLSI内の電氣的欠陥や信号伝達経路を診断する技術の開発が望まれています。開発されたレーザーテラヘルツエミッション顕微鏡は、フェムト秒レーザーでLSIを走査し、放射されるテラヘルツ波の振幅強度分布を測定するという新しい原理によって、回路内の電界分布を計測することが可能です。これにより、集積回路の電氣的欠陥や信号伝達経路の診断法としての利用が期待されています。

本研究成果は、1月25日に米国サンノゼで開かれる「国際光工学会（SPIE：The International Society for Optical Engineering）」において発表されます。

## 1. 背景

高品質なLSI（大規模集積回路：Large Scale Integration）の安定生産には、LSIチップの故障解析による故障原因の解明が不可欠です。故障原因の解明には、透過型電子顕微鏡(TEM)などに代表される構造解析法を用いて、故障箇所を原子レベルで観察・成分分析を行います。このような超高分解能の構造解析法は観察可能領域が限定されるため、光学顕微鏡などによる観察では判別出来ない電氣的な故障箇所をあらかじめ特定しておくことが不可欠であり、故障箇所特定技術と呼ばれる技術が重要な役割を担います。

また、LSIに入力された電気信号の伝達経路は、故障解析を行う上で重要な情報であり、電氣的欠陥評価と同時に信号伝達経路の測定が可能なシステムの開発が強く望まれています。

理化学研究所は大阪大学超伝導フォトンクス研究センターと共同で、LSI故障解析への応用を目指し、フェムト(=10<sup>-15</sup>)秒レーザーを用いてLSIからのテラ(=10<sup>12</sup>)ヘルツ(THz)波放射・検出を行うレーザーTHzエミッション顕微鏡(LTEM：Laser Terahertz Emission Microscope)を開発しました。

## 2. 研究手法と成果

電圧印加された半導体表面にフェムト秒レーザーを照射することにより過渡的な光電流を発生させると、その電流を起源として電磁波の放射が起こります。この

とき放射される電磁波はピコ ( $=10^{-12}$ ) 秒オーダーという時間的に非常に短いパルス幅を有しており、数百ギガ ( $=10^9$ ) ヘルツから THz 帯に及ぶ広帯域な周波数成分を含むため、テラヘルツ (THz) 波と呼ばれています。放射される THz 波の振幅強度は、フェムト秒レーザーが照射された領域の局所的な電界強度に比例します。この現象を応用し、モード同期チタンサファイアレーザーからのフェムト秒レーザーパルスを LSI に照射し、放射された THz 波を検出することに成功しました。今回は原理実証が目的であり、測定には低集積度の 8bit マイクロプロセッサを用いました。LSI から放射される THz 波の位置依存性を測定することによって、空間分解能<sup>\*1</sup>  $3\mu\text{m}$  の精度で LSI 内の電界分布を反映した画像を得ることができます (図 1)。電氣的欠陥に由来する電界分布の異常をレーザー THz エミッション顕微鏡により検出することで、配線の断線箇所、MOSFET の pn 接合部<sup>\*2</sup>における欠陥のような、欠陥領域を非破壊・非接触で検出できる可能性があります。我々は、具体的には汎用オペレーションアンプについて故障解析を行い、配線断線の有無によって THz 波の放射分布像に明確な違いが現れること確認しました (図 2)。さらに、オペレーションアンプへ入力された電気信号を起源として放射された THz 波のみを選択的に Lock-in 検出<sup>\*3</sup>することによって、オペレーションアンプ内の信号伝達経路を可視化することに成功しました (図 3)。

### 3. 今後の展開

今回の成果は、比較的低集積度の LSI を用いた基礎実験によって、レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡による LSI 故障診断の原理実証を行ったものですが、今後の展開としては、多層配線デバイス<sup>\*4</sup>への適用方法の開発や空間分解能の向上を図り、LSI の故障解析技術として実用化を目指します。また、用いるフェムト秒レーザーの波長を半導体のエネルギーギャップに応じて選択することにより、シリコンベースの LSI だけでなく、ガリウムヒ素やインジウムリン、シリコンゲルマニウムなどをベースとする種々の高周波デバイスの故障診断法として応用も期待されます。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所

川瀬独立主幹研究ユニット

基礎科学特別研究員

山下 将嗣

Tel : 048-467-4957 / Fax : 048-462-4703

(報道担当)

独立行政法人理化学研究所 広報室

Tel : 048-467-9272 / Fax : 048-467-4715

Mail : koho@riken.jp

## <補足説明>

### ※1 空間分解能

空間的に近接して起こる、2つの現象の空間間隔を測定できる能力のこと。  
レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡では、LSIを励起するフェムト秒レーザーのスポットサイズに空間分解能は依存する。

### ※2 MOSFETのpn接合

MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)は、電界効果トランジスタの一種。電気伝導を担うキャリアが電子の場合にはn型半導体、正孔の場合にはp型半導体と呼ばれ、これらを接合することによってpn接合が形成される。pn接合はダイオードやトランジスタを構成する基本要素となる。

### ※3 Lock-in 検出

入力信号の中からある特定の周波数成分信号を取り出す検出方法。  
通常、微弱信号の検出に用いられる。

### ※4 多層配線デバイス

LSIに一般に用いられるアルミ配線は、4~7層程度の多層になっており、各層をタングステンで埋め込み接続しているデバイス(部品)のこと。

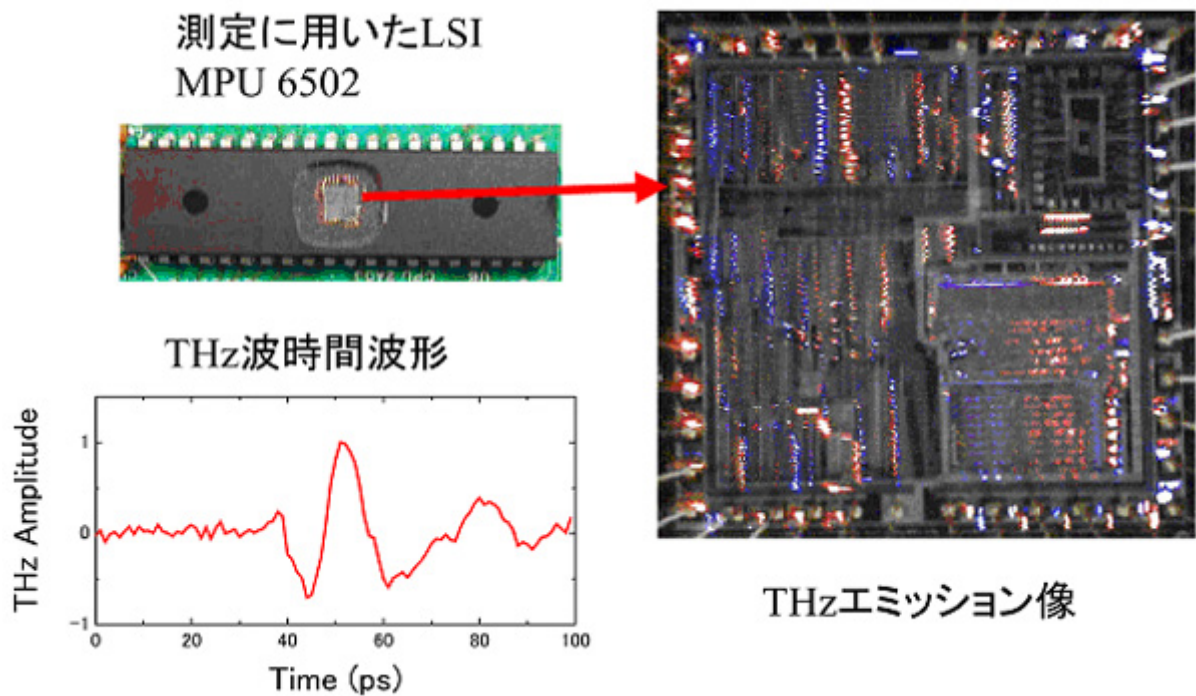


図1 レーザーTHzエミッション顕微鏡によるLSIの測定結果

放射されたTHz波の時間波形とLSIのTHz放射分布像。

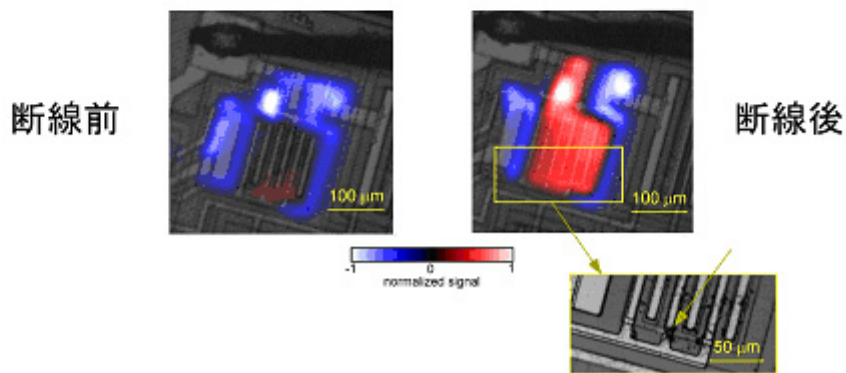
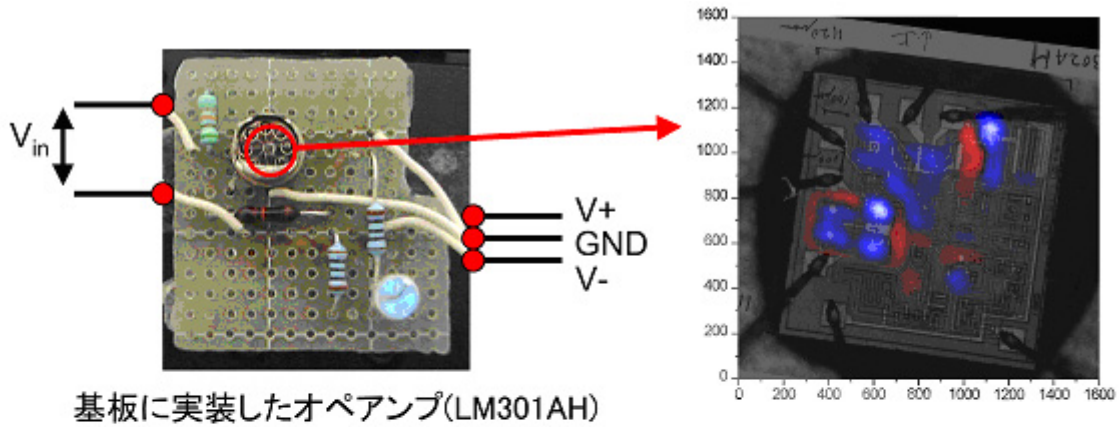


図2 オペレーションアンプの故障解析結果

赤と青で示された領域はそれぞれ、正と負の振幅を有する THz 波が放射されていることを示しており、逆向きの電界が印加されていることをあらわしている。回路の一部を意図的に断線させ、放射された THz 波の振幅分布に変化が現れることを確認した。

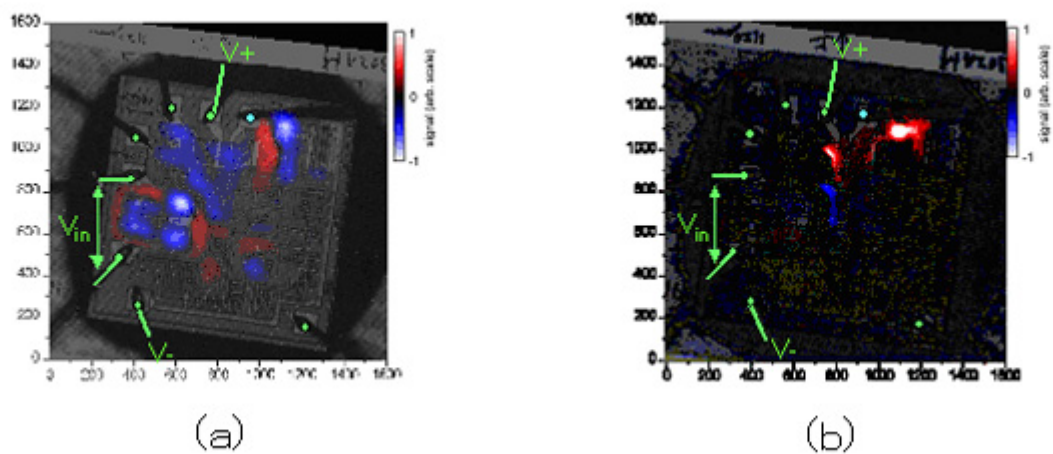


図 3 オペアンプから THz 放射分布

- (a)フェムト秒レーザーの変調に同期した THz 波の放射分布、
- (b)オペアンプに入力された電気信号に同期した THz 波の放射分布。