

レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡を用いた LSI 故障解析手法の開発

山下将嗣、大谷知行

背景と目的

半導体 LSI の高速化、省電力化、及び高機能化は、トランジスタサイズの微細化によって実現されている。しかしながら、LSI の微細化は故障率の増大や故障耐性の低下を伴う。LSI は基盤技術として社会のあらゆる場面で用いられるようになっており、近年その品質や信頼性向上に対する要求が増大している。LSI の不良や故障は、しばしばナノスケールあるいはアトミックスケールの欠陥が原因で発生する。これらの欠陥を透過型電子顕微鏡等の物理解析ツールによって LSI チップの中から直接見つけることは不可能なため、LSI の故障解析では非破壊で欠陥位置をマイクロメートル程度の領域まで絞り込む技術が重要である。しかしながら、実用化された技術は少なく、様々な故障に対応できないのが実情である。また、従来技術は電圧印加や信号読み出しのために、LSI チップと外部検査装置間で電気的コンタクトをとった測定が必要であり、数百ピン以上の多ピン接続やプロセス途中のチップの解析に制約が伴うなど、使用上多くの問題点を抱えている。

本研究では、レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡 (Laser THz emission microscope :LTEM) を用いた、LSI チップとの電気的コンタクトが不要かつ非破壊で故障個所の絞り込みが可能な新手法を開発する。さらに、LSI 故障解析用ツールとしての実用化を目指して LTEM プロトタイプ機の開発及び性能評価を目的とする。

成果

我々は、LTEM を用いた新たな LSI 配線欠陥の非破壊検査技術を提案を行った[1,2]。図 1 にその原理を示す。MOS トランジスタ内の p-n 接合に近赤外フェムト秒レーザーパルスを照射すると、過渡的な光電流が配線に流れ THz 波が空間に放射される。このとき、配線はその長さに近い波長の電磁波と共振するため、THz 波の放射アンテナとして作用する。配線に光電流経路を変えるような電気的欠陥が存在した場合、空間に放射される THz 波の信号が変化すると考えられる。したがって、フェムト秒レーザーで LSI チップを走査し放射される THz を検出することで得られる LTEM 像を良品チップと不良チップで比較することによって、欠陥が存在する配線に接続した p-n 接合の位置を非接触で絞り込むことが可能となる。図 2 は、MOS トランジスタの断線を LTEM で観察した結果である[2]。

図 2 中、白矢印で示した箇所に断線した MOSFET が存在しており、良品と不良品の LTEM 像を比較すると白矢印で示した箇所

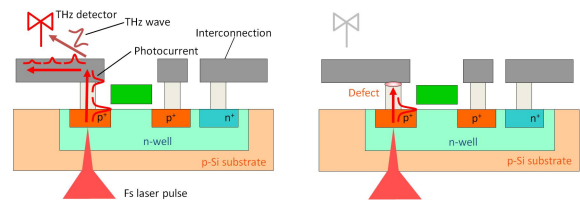


図 1 LTEM による LSI 検査の原理

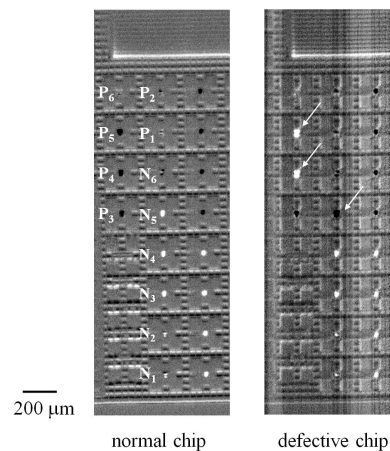


図 2 断線 MOS トランジスタの検出

THz 波信号のコントラストが反転している。この結果は断線に伴い配線中の光電流経路が変化し、THz 波の振幅が反転したことを示しており、LTEM による非接触 LSI 検査の原理検証が成功したことを示している。

次に我々は LSI の LTEM 像を高速にかつ高精度に測定するために、プロトタイプ機の開発を行った。図 3 にその概略図を示す。多層配線 LSI チップを裏面から観測できるように、励起レーザーには波長 $1.06\mu\text{m}$ のモード同期 Nd:glass レーザーを用いている[3]。ガルバノスキャナを用い、高速な LSI チップのレーザー走査を実現した。レーザー走査像 (512×512 画素、 $770 \times 770\mu\text{m}^2$) を約 1.5 秒、LTEM 像 (同) を約 5 分で取得できる。また、LSI チップの位置決め精度は 100nm であり、レーザー走査顕微鏡としての空間分解能は固浸レンズと共焦点光学系の導入により、波長以下の $0.7\mu\text{m}$ を実現した。

プロトタイプ機を用いて ISCAS'85 ベンチマーク回路 C7552 に断線および短絡欠陥を作り込み LTEM で不良個所を観察した結果を図 4 に示す。図 4 において、良品チップと不良チップの LTEM 像を比較すると、それぞれ矢印で示した箇所で瞭な差異が観測された。回路の CAD レイアウトと比較した結果、欠陥を作り込んだ配線と拡散層のコンタクト領域で差異が生じていることが判明した。さらに、断線欠陥の位置を変えたチップを製作し、放射される THz 波時間波形を観測・比較した結果、断線位置に依存して THz 波時間波形が変化する結果が得られた。これらの結果は、LTEM により非破壊で欠陥配線に接続した拡散層領域の特定が可能であること、さらに THz 波時間波形が配線中の欠陥位置を推定するために重要な情報となり得ることを示している。以上のように故障個所作り込みチップにおいて、LTEM の欠陥検出ツールとしての有用性を確認した。

参考文献

- [1] M. Yamashita, C. Otani, K. Kawase, K. Nikawa, M. Tonouchi, Appl. Phys. Lett. vol. 93, 041117 (2008).
- [2] M. Yamashita, C. Otani, S. Kim, H. Murakami, M. Tonouchi, T. Matsumoto, Y. Midoh, K. Miura, K. Nakamae, K. Nikawa, Microelectronics Reliability, vol. 49, pp. 1116-1126 (2009)
- [3] M. Yamashita, C. Otani, K. Kawase, T. Matsumoto, K. Nikawa, S. Kim, H. Murakami, M. Tonouchi, Appl. Phys. Lett. Vol. 94, 191104 (2009)

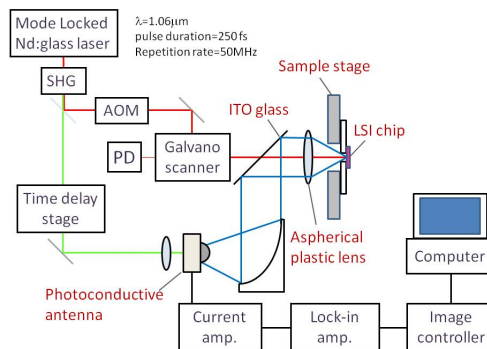


図 3 LTEM プロトタイプ機の概略図

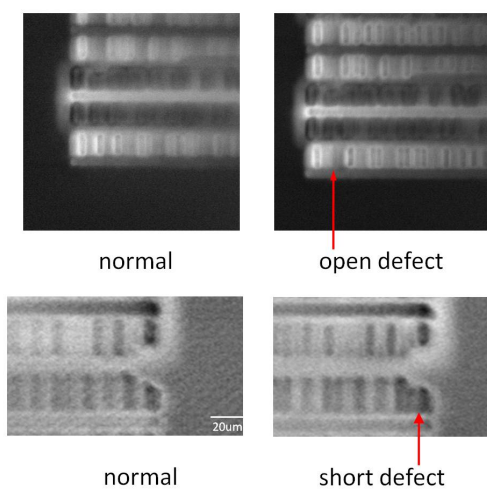


図 4 LTEM による配線欠陥を作り込んだ LSI の観察結果