

## 0.8 $\mu\text{m}$ ルールで製作された MOS-LSI 試料の 電子線音波顕微鏡による非破壊・内部観察

竹野下 寛

長崎大学 教育学部  
(平成 8 年10月31日受理)

### Nondestructive Internal Observation of MOS-LSI Designed by 0.8 $\mu\text{m}$ Rule as a Specimen Using Electron-Acoustic Microscopy

Hiroshi TAKENOSHITA

Faculty of Education, Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan  
(Received Oct. 31, 1996)

電子線超音波顕微鏡 (EAM) を用いて, MOS (metal-oxide-semiconductor)-LSI 試料の非破壊・内部観察を行った。試料 LSI チップは0.8 $\mu\text{m}$ ルールで製作された MOS 型素子で構成された TEG である。セラミック・パッケージ (50 $\times$ 50 $\times$ 5mm<sup>3</sup>) の金属カバーを取り外し, チップはパッケージにマウントされたまま, チップ表面のパッシベイト・フィルムをドライ・エッチ法で除去した。試料 LSI チップの直下で, 厚さ 5 mm のセラミック・パッケージを介した裏面に PZT 検出器を取り付け音波信号を検出した。このように試料を準備することにより, SEM モード像, EAM モード像に加え, LSI の電気特性の測定も可能である。

実験の結果, 以下のことが分かった。(A) 1 画面内で同一場所で EAM 像と電子線励起電流 (EBIC) 像とが異なり, EA 信号と EBIC 信号が異なるものであることが分かった。(B) EBIC 像と EAM 観察とを併用する事で, デバイスの内部構造に関する新たな知見が非破壊で得られる。(C) 観察可能深さ (tx) はエレクトロンレンジ (Re) に比例している。

#### Abstract

Nondestructive internal observation of a MOS (metal-oxide-semiconductor) LSI chip designed by 0.8 $\mu\text{m}$  rule was carried out by electron-acoustic microscopy (EAM). The LSI chip as a specimen was uncovered and the passivated film on the chip was etched off by a dry etching method, keeping the chip mounted on a ceramic package (50 $\times$ 50 $\times$ 5mm<sup>3</sup>). The EA signal generated by irradiation of a chopped electron beam was picked up by a

PZT detector attached, interposed by the package, to the back of the LSI chip specimen and was amplified using a lock-in amplifier. Thus sample prepared can be measured SEM mode images, EAM mode images and electrical properties of the device, nondestructively.

The results were under: (A) The EBIC (electron beam induced current) images and the SEM images are not the same from images of one flame scan, (B) new findings of internal structure of the chip are obtained from the both images. (C) The observable depth (tx) was proportionally related to the electron range (Re).

## 1. はじめに

電子線超音波顕微鏡 [electron acoustic microscopy] (EAM) は断続電子線照射で励起した音波を使い、非破壊で試料内部が観察可能な方法として、1980年に Cargill<sup>1)</sup> 及び Brandis and Rosencwaig<sup>2)</sup> によって提案された EAM は通常の走査型電子顕微鏡 (SEM) に、電子線断続装置、超音波の検出器、信号増幅装置を付加することで構成される。<sup>1-11)</sup> このように構成した EAM を用いれば、まず、SEM モードを使い各種の表面情報から観察場所を選択した後に、EAM モードに切り替え、SEM モードで選択した同一場所の非破壊・内部情報を取得できる。<sup>3-11)</sup> 即ち、通常の SEM モードから EAM モードへモード切り替え操作のみで、試料の移動を伴わずに SEM モードで選択した特定場所を、表面 (SEMモード) と内部 (EAM モード) の両方の情報を非破壊で得ることが可能な手法である。

最近の VLSI は  $0.8\mu\text{m}$  ルールから  $0.3\mu\text{m}$  ルールへと更に微細化と高集積化が進んでいる。また、次世代の VLSI や ULSI は  $0.1\mu\text{m}$  ルールへと更なる微細・高集積化へと向かっている。これらの VLSI について動作解析、設計、故障解析などを迅速・有効に実施するには、選択場所の非破壊・内部観察による情報取得が不可欠である。そこで EAM を用いると、前述の様に SEM モードの像で選択した特定の場所を、両者は同一装置で構成できるので試料の移動を伴わずに、SEM モードから EAM モードへとモード切り替えのみの操作で非破壊・内部観察が可能となる。この様に EAM は VLSI、ひいては、更に集積度が高く、微細なパターンの ULSI の非破壊・内部観察には最適な手法であると言える。しかしながら、現状では EAM 装置の解像度 ( $r$ ) が低いために VLSI 観察への適用例は殆ど無い。

EAM は断続電子線の照射によって発生させた音波 (EA 信号) を用いている。信号発生にはエネルギー変換を伴うために EA 信号発生の効率性は低い。それ故、大きな電子線電力で励起するのが望ましい。他方、MOS (metal-oxide-semiconductor) 型デバイス試料では照射電子線によりデバイスの電気的特性を破壊してしまう可能性が有る。<sup>8,9)</sup> そこで、検出した EA 信号の増幅系を部分的ではあるが改良することにより、EA 信号を発生させるための照射電子線電力 ( $p$ ) — 特に吸収電流 — を SEM モードで観察する場合と略同じ  $p$  の値にまで減少させ、従来報告<sup>3-8)</sup> と同等かそれ以上の EAM 像の画質で観察可能なまでに改善してきた。<sup>10-11)</sup> 更に、信号増幅系に電源ラインから混入するノイズの軽減などにも努めてきた。これらの準備を経て、MOS-LSI 試料の EAM 観察を行った。その結果、一般の SEM 観察の場合と略同値の  $p$  で、試料 MOS-LSI チップの電気

特性を劣化させることなく、EAM 像が得られることが分かった。<sup>10-11)</sup>

また、試料はセラミック・パッケージの金属カバーを取り外し、パッケージにマウントされたまま、チップ表面のパッシベイト・フィルムをドライ・エッチ法で除去し、厚さ 5 mm のセラミック・パッケージを介した裏面に PZT 検出器を取り付けた。チップ表面を断続電子線で照射して励起し、発生させた音波信号 (EA 信号) は、試料 LSI チップをマウントしたセラミック・パッケージの裏面に取り付けた PZT 検出器で電気信号として検出し、ロックインアンプで増幅した後に、SEM の機構を使って CRT に画かせて電子線超音波像 (EAI) を得ている。この様な試料準備方法は、(a) SEM で観察場所を選択し、(b) 選択場所を非破壊・内部観察し、(c) 電気特性の測定も可能で、これを (d) 繰り返し観察可能という利点を持っている。

今回は、電子線励起電流 (electron beam induced current, EBIC) 像と EAM 像 (EAI) を同一場所について観察した。これは、LSI の評価に実用されている EBIC 像と EAI とを比較することで、非破壊・内部観察の情報が加わり、新しい知見が得られることを目的とした。

## 2. 実験方法

観察に用いた試料は 0.8 $\mu$ m ルールで製作された MOS-LSI の TEG (test element group) である。LSI チップはセラミック・パッケージ (外形約 50 $\times$ 50 $\times$ 5mm<sup>3</sup>) にマウントしたままの状態 で用いる。即ち、(1) パッケージにマウントされたまま、(2) パッケージの金属カバーは取り外し、(3) LSI チップのパッシベイト・フィルムのみドライ・エッチ法で除去し、(4) チップのシリコン基板電極を接地して外部電場に対してデバイスの電気特性の劣化が生じ易い MOS 型デバイスに対処する。(5) LSI チップの直下のセラミック・パッケージの裏面に圧電性検出器 (PZT 素子) を取り付け (図 1 (a)), EAM 鏡体内にセットした。試料をこのように準備すれば、(A) SEM 像で選択した特定の場所を、(B) 非破壊・内部観察が可能で、しかも、(C) LSI の電気特性の測定を行うことができ、(D) これらの測定を繰り返し実施可能である。

この様にして準備した試料を用い、EBIC 像と EAI を観察し、比較した。なお、EBIC 測定中は電子線は断続しておらず、SEM モードでの測定法に全く同じである。

更に、増幅系に電源ラインから混入するノイズ軽減の為に、(6) ノイズ・フィルターを製作して、中心周波数の異なるバンド・エリミネイト・フィルターを 2 段直列接続して使用することで電源ラインからのノイズを軽減させた。

以上の準備を経て、MOS-LSI 試料の EAM 観察を行った。EAM の動作条件は電子線断続周波数 ( $f$ ) = 1 MHz 一定、加速電圧 (HV) = 16, 18kV の 2 条件でもって各条件毎に観察し比較した。

## 3. 実験結果

図 1 (b) には SEM モードによる反射電子像 (BEI) を示す。この画面が選択場所で、図 1 (b) と同一場所を SEM モードの EBIC 像と EAM モードの EAI とで観察し、これ

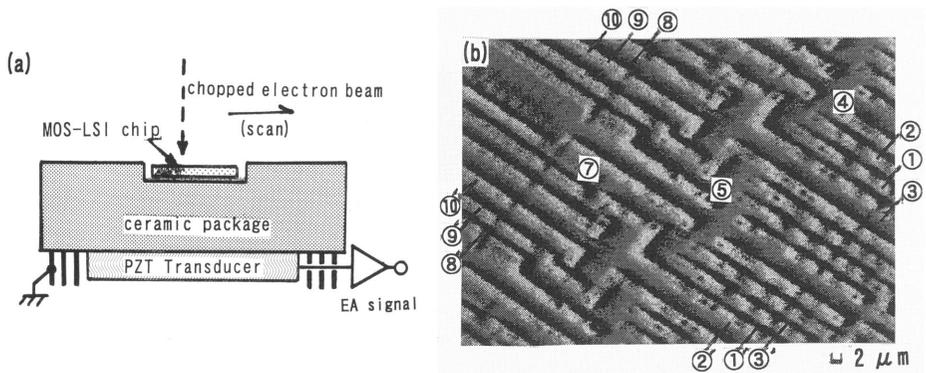


図1 試料断面略図と表面観察像

(a) 試料断面略図

(b) 反射電子像 (SEM モード)

記号①, . . . . . , ⑩は各図の同一場所を示す。

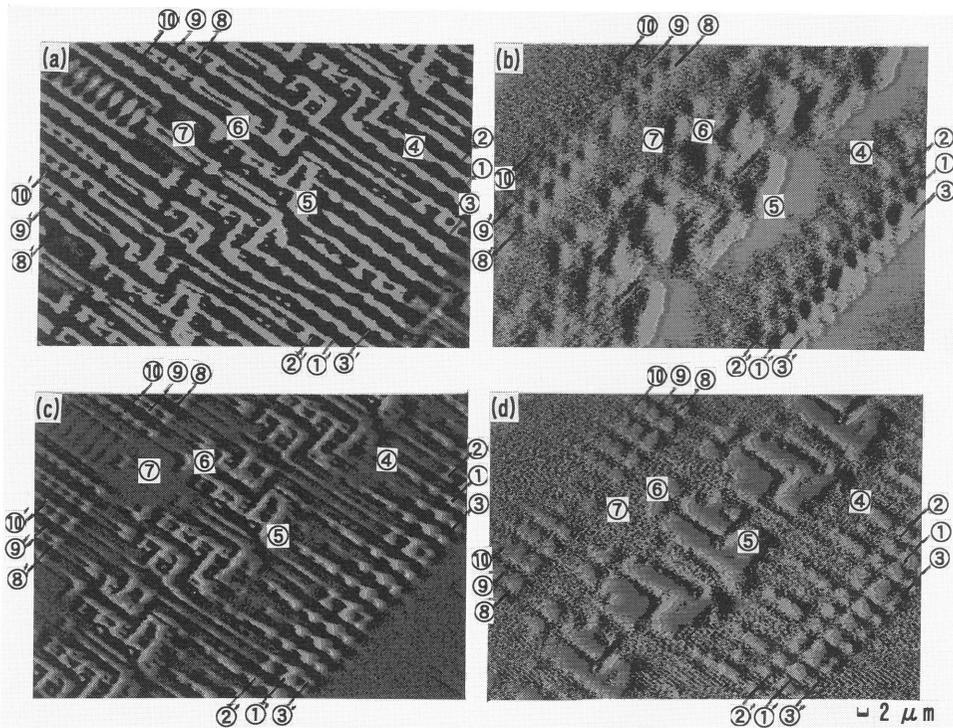


図2 SEM と EAM 観察像

(a) EBIC 像, HV=16kV,

(b) EAI, HV=16kV

(c) EBIC 像, HV=18kV,

(d) EAI, HV=18kV

記号①, . . . . . , ⑩は各図の同一場所を示す。

を図2に示した。図2の左側にはEBIC像を、右側にはEAIを、上段にはHV=18kV、下段にHV=16kVの各像を示している。

図2において、HV=16kV(図2(d))では全面でEAIが得られている。HV=16kVか

ら加速電圧を上昇させ、18kV (図 2 (b)) では、EA 信号が大きく検出・増幅器系の飽和から微細部分の像は失われている。EAI は HV の上昇と共に EAI は鮮明になり、且つ、試料チップのより内部像が観察されている。観察可能深さ (tx) が HV=18kV (図 2 (b)) が HV=16kV (図 2 (d)) の場合よりも大きいことが分かる。これは、MOS-LSI 試料の場合もバイポーラ・トランジスタ試料の場合と同様に、tx はエレクトロン・レンジ (Re)<sup>12)</sup> と比例関係を持っており、我々の既報に一致するものである。<sup>3, 4, 6)</sup>

HV=18kV での、EBIC 像 (図 2 (a)) は BEI (図 1 (b)) に近い像が得られている。他方 EAI (図 2 (b)) では、EA 信号が大きく増幅器の飽和が生じて、その詳細なパターンは得られていない。しかし、EBIC 像と同一ではない。即ち、図中の①-①' はむしろ EA 信号が小さく EBIC 信号が大きい。他方、③-③' では EA 信号が大きくなっている。また、⑧-⑧' では EA 信号の強度変化はみられず、EBIC 像、BEI で観察されるような微細構造は見いだせない。しかし、SEM モードの表面情報 (図 1 (b)) でなく、EAI (図 2 (b)) は内部情報であるので両者の像を単純に比較・評価できない。この様な像の変化は LSI の内部構造と関連していると推定され、この部分の内部構造を問い合わせ中である。

加速電圧を低下させ、HV=16kV の場合の EBIC 像 (図 2 (c)) からは信号の大きい①-①' を中心にして両側にやや小さい②-②', ③-③' の信号がみられる。④, ⑤, ⑥, ⑦, も同様である。しかし、写真左上の⑧-⑧', ⑨-⑨', ⑩-⑩' の位置以外にも等間隔で多数検出されている。EAI (図 2 (d)) では⑧-⑧', ⑨-⑨', ⑩-⑩' の 3 本だけ観察されている。他方、EBIC 像 (図 2 (c)) ではこの 3 本だけの強度が大きいということだけでなく、これ以外にも等間隔で前記の 3 本に平行な多数の強信号の線が多数観察されており、EBIC 像と EAI は一致していない。この状況は HV=18kV の場合 (図 2 (a)) と同様である。

以上の観察結果から 1 画面内で EBIC 信号と EA 信号が一致していない場所の存在することが分かった。このことは、従来からデバイス解析に用いられている EBIC 像と EAM 観察とを併用すれば、デバイスの内部構造に関する新たな知見が非破壊で得られることを示している。

## 4. 検 討

バイポーラ・トランジスタ試料を用い、EBIC 信号と EA 信号は関連しているものの、別な信号であることを両者の信号チャート図で示し報告した。<sup>3, 4)</sup> 今回の実験では、1 画面内で EBIC 信号と EA 信号が一致していない場所を指摘した。この様な像の変化は LSI の内部構造と関連している。更に、従来からデバイス解析に用いられている EBIC 像と EAM 観察を併用する事でデバイスの内部構造に関する新たな知見が非破壊で得られることを示している。これは、EAM 法の発展する新たな方向と考えられる。

今回の実験では MOS-LSI 試料の劣化防止の為に照射電子線電力 p を減少させて実験している。この結果、発生する EA 信号量が小さくなる。他方、EA 信号が試料内を伝播し、EA 信号の検出器に到達するまでの吸収・散乱されるなどによる EA 信号の減衰量は変わらない。このため観察できたと判断する深さ — 観察可能深さ tx — 近傍での EA 信号が小さくなる。他方、ノイズレベルは変化しない為に、EA 信号はノイズに埋もれてしまい S/N が得られないことになる。その結果、tx を浅く判定してしまうと考えている。

そこで、ノイズを減少させるために、中心周波数の異なるノイズフィルターを製作し、2段直列接続して使用することで電源ノイズを軽減させた。この結果、EA信号の検出器、信号増幅系のS/Nの向上で、更に解像度の改善が見込め、txもバイポーラ・トランジスタの場合に近い値に出来ることが分かった。

使用した我々の装置は解像度は $0.4\mu\text{m}$ であると報告した。<sup>10)</sup>今回得た像は前回報告の結果<sup>10,11)</sup>と同等の像が得られている。

## 5. 結 論

EAMを使って、MOS-LSI試料の非破壊・内部観察を行った。試料LSIチップは $0.8\mu\text{m}$ ルールで製作されたMOS型素子によるTEGである。セラミック・パッケージにマウントされたまま、チップ表面のパッシブ・フィルムをドライ・エッチ法で除去し、厚さ5mmのセラミック・パッケージを介した裏面にPZT検出器を取り付けてEAM観察を行った。このように試料を準備することで、SEMモード像とEAMモード像に加え、LSIの電気特性の測定が繰り返し観察可能となる。

1画面内でEAIとEBIC像とが異なる場所が見いだされた。これは、EA信号とEBIC信号が異なるものであることを示している。これは我々の既報を裏づけるものである。又、従来からデバイス解析に用いられているEBIC像とEAM観察とを併用する事で、デバイスの内部構造に関する新たな知見が非破壊で得られることが分かった。

実験の結果以下のことがわかった。(A) 1画面内でEAM像とEBIC像とが異なる場所が見いだされ、EA信号とEBIC信号が異なるものである。(B) EBIC像とEAM観察とを併用する事で、デバイスの内部構造に関する新たな情報が非破壊で得られる。(C) 観察可能深さ(tx)はReに比例している。(D) S/Nの向上でさらに解像度の向上が見込める。

## References

- 1) G. S. Cargill III: *Nature* **286** (1980) 691.
- 2) E. B. Brandis and A. Rosencwaig: *Appl. Phys. Lett.* **34** (1980) 98.
- 3) H. Takenoshita: *Scann. Microsc.* **1987** (1987) suppl. 1. p. 211.
- 4) H. Takenoshita: *IEEE 1990 Ultrasonics Symposium Proceedings, ed. B. R. McAvoy*, Vol. 3, (1991) p. 1229.
- 5) H. Takenoshita and M. Kobayashi: *J. Electron Microscopy* **40** (1991) 369.
- 6) H. Takenoshita and M. Managaki: *Proc. 12th Sympo. Ultrasonic Electronics. Tokyo, 1991.* *Jpn. J. Appl. Phys.* **31** (1992) suppl. 31-1, p. 99.
- 7) H. Takenoshita and M. Tabuchi: *Jpn. J. Appl. Phys.* **32** (1993) 2521.
- 8) M. Kobayashi and H. Takenoshita: *Jpn. J. Appl. Phys.* **33** (1994) 6403.
- 9) M. Kobayashi: *Jpn. J. Appl. Phys.* **34** (1995) 4020.
- 10) H. Takenoshita and M. Kobayashi: *Science Bulletin of the Education, Nagasaki Univ.* No. 53(1995)11.
- 11) M. Kobayashi, H. Takenoshita and M. Okuda: *Bulletin of University of Osaka Prefecture, Series A*, **44** (1995) 79.
- 12) R. Castaing: *Advances in Electric and Electron Physics, Vol. 13. ed. C. Morton (Academic Press, New York, 1960)* p. 317.