

電子線音波顕微鏡像

竹野下 寛

長崎大学 教育学部

(平成12年10月31日受理)

Images of Electron-Acoustic Microscopy

Hiroshi TAKENOSHITA

Faculty of Education, Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received Oct. 31, 2000)

Abstract

電子線超音波顕微鏡 (EAM) を用いて、試料にバイポーラトランジスタを中心に MOS (metal-oxide-semiconductor)-LSI などを用いて半導体素子の非破壊・内部観察を行ってきた。従来から、走査形電子顕微鏡 (SEM) 像と EAM 像 (EAI) とを比較した報告は多い。しかし、それら報告は画面全体で SEM 像とは異なる像としたものである。

我々は EAM 観察を行うに当たって、この問題について当初から重要な課題として取り組んできた。今回、MOS-LSI の TEG を試料に用いて、SEM 像と EAM 像とが同一画面内で部分的に異なる観察写真を得ることに成功した。観察写真から同一画面内で BEI と EBIC 像、および EAI について同一位置の10カ所に番号をつけ、3種類の像の信号強度が同じ位置と、異なる強度を持つ位置とを明示した。選択した10カ所について信号強度を第1表に示し比較している。実験の結果、(A) 一画面内で同一場所で BEI, EBIC 像, EAI はそれぞれ異なった情報を持っていること。(B) BEI, EBIC 像, EAI の3種類の像観察を併用する事でより多くの非破壊・内部情報が得られることが分かった。

We have given the nondestructive internal observation of semiconductor devices to the specimens using bipolar transistors and MOS (metal-oxide-semiconductor)-LSI by an electron acoustic microscopy (EAM). In the previous reports, the SEM microphotograph images and EAM image (EAI), and there are many comparative reports. But those reports, those images are differ as a whole the screen area.

In this time, we use TEG of MOS-LSI as a specimen and succeeded in shooting the photograph that an EAM image differs partially in the same screen area from a SEM images. We obtained the position where 3-kind images (BEI, EBIC image and EAI) have the signal intensity different from the 3 images at the same position where indicated the number of 10 places of the same positions of the photographs.

As a result of our experiment in (A) one frame scan in the same area it understood BEI, EBIC image, EAI that they have each different information.

1. 序

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して構成される電子線超音波顕微鏡(EAM)は、断続電子線を試料に照射して励起した音波(EA)信号を試料内を伝播させた後、試料裏面からEA信号を検出・増幅することで非破壊・試料内部観察が可能な方法である。¹⁻³⁾ これまで、多くの報告がなされてきたが、BEI, EBIC, EAIの3種像を比較して、画面全体で異なる場合がほとんどであって、同一位置についての3種の像比較で同一画面内でEAIの特徴を示した報告は見あたらない。我々も種々試みてきたが十分な結果を得ることができなかった。⁴⁻¹⁴⁾

今回は、EAM装置のS/N比向上を図り、MOS-LSI試料を使い、同一場所について(1)SEMモードの表面像(BEI)、(2)SEMモードの電子線励起電流(EBIC)像と(3)EAMモードの電子線超音波像(EAI)の3種類の像を観察し像同士の比較検討を行った。この方法は、試料の移動が無くても、SEM像とEAM像の両方が得られる手法である。観察試料は0.8 μ mルールで製作されたMOS-LSIのTEGで、セラミック・パッケージにマウントされたままの状態で使用した。¹⁴⁾ LSIチップの直下のパッケージ裏面に取り付けた圧電性検出器(PZT素子)でEA信号を検出し、ロックインアンプで増幅した後にSEM機能を使い映像信号としてCRTに表示させた。このとき今回は、映像信号をSEM機能のCRT表示用とパソコン用に2分割した。パソコンで取り込んだ画像データ(12ビット、1画面分約450kB)^{7,11,13)}は保存後に12ビット信号を信号強度で均等間隔の16に区分し、スペクトルに従い、最大信号区分を赤色、信号が小さくなるに従い赤色から緑色を経て青色へ、最小信号を黒色の16色で表示した。^{7,11,13,15)}これは白黒フィルムによる濃淡よりも、16段階の色表示で、より明確に各部分の信号強度差を表示できるからである。

2. 実験方法

観察試料は0.8 μ mルールで製作されたMOS-LSIのTEGで、セラミック・パッケージ(ハイアルミナ質、外形約50 \times 50 \times 5mm³⁾)にマウントされたまま、パッケージ金属カバー、チップ表面のパッシベイト・フィルムを除去した後、チップ基板電極を接地しMOSデバイスの帯電による電気特性劣化の発生を防止した。LSIチップの直下のパッケージ裏面に取り付けた圧電性検出器でEA信号を検出、ロックインアンプ(自作、周波数1MHz固定、運用条件で200Hzまで復調可能)で増幅した。¹⁴⁾

増幅された映像信号は2分割して、1つはSEM機能を使い映像信号をCRTに表示させる信号と、もう1つはパソコン用の信号でA/Dコンバータを経由してパソコンに取り込み保存した。A/Dコンバータは12ビットで1面分の画像データは約450kBである。取り込んだ12ビット映像信号は強度で均等に16段階に分け、最大信号領域を赤色に割り当て、信号が小さくなるに従って赤色から緑色を経て青色へスペクトルに従って割り振り最小信号は黒色とした16色で表示した(第1図カラーバー参照)。^{7,11,13)}この時、いわゆる画像処理は一切行っていない。これは画像処理を行うこと無く、フィルムによる白黒の濃淡よりも、16段階の色の助けて信号強度差をより明確に表示できると考えたからである。

EAMの動作条件は、水平走査は低走査速度(CRTの12cm幅/約2.4sec)に変更し、垂直

走査は約30分/1フレーム、電子線断続周波数1MHz、加速電圧(HV)は20kV一定の条件で行った。HV以外は従来報告に同じ条件である。⁴⁻¹⁴⁾この運用条件は良質のEAM画像を得るためである。観察は同一場所について(1)SEMモードの表面の像(反射電子像, BEI), (2)SEMモードの電子線励起電流(EBIC)像と(3)EAMモードの電子線超音波像(EAI)の3種の像を取得して比較した。

3. 実験結果

SEM像から観察場所を選択の後、同一場所についての観察像を第1図に示した。SEM像である(a)BEI, (b)EBIC像を撮影する。次に、電子線を断続してEAMモードに切り替え(試料の移動無し), (c)EAIを得ている。撮影した3種類の写真の中に同一位置を示す①から⑩の記号をつけ、信号の強度を比較しようとするものである。①～⑩の記号位置は3種類の像同士で同じ位置を示し、信号強度が色付けされており、各位置の信号強度が比較しやすい。第1図*に示す3種類の像について同一場所—特に①～⑩の記号位置—では、信号強度が同じ強さ(同じ色)の位置と差のある位置が同一画面内に存在するのが観察できる。

第1図の3種類の像について、10箇所の各記号位置の信号強度を第1表の様にまとめてみた。第1表に示したように、概略同じ強度が得られる位置は⑩, ⑤, ③の順である。同一場所について(1)SEMモードのBEI, (2)SEMモードのEBIC像と(3)EAMモードのEAIの3つの像を比較検討した。他方、強度の異なる位置は、①, ②, ④, ⑥, ⑦, ⑨の順に得られている。

4. 検討

我々は、EBIC信号とEAI信号は関連した信号であるが両者は異なる信号であると報告してきた。この報告では、水平走査線1本ごとに映像信号強度をY軸方向にX-Yレコーダで記述する方法を採った(X軸は水平走査に同期)。^{8,9,11)}これは、モノクロ写真の信号強度を数値的に表すことが困難であったからである。しかし、この報告でも、EAI信号にEBIC信号が混入しているのではないかという疑念を完全に払拭する事はできなかった。

特に従来からEBIC信号がEAI像に混入していると指摘されることが多い。そこで、EBIC像とEAIの両者を比較すると、同一強度の位置は⑤, ⑩, ①, ②の順に存在している。他方、強度が異なる位置は⑦, ⑧で顕著にみられ、差は小さくなるが③, ⑥, ⑨でも見られる。このように、3種の像の同一画面内で強度が異なる位置を観察する事ができた。

今回、BEI, EBIC像, EAIの3種類の像について同一場所を、従来よりも2倍以上の高

第1表 第1図で記号をつけた位置の信号強度表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
BEI	WW	W	S	SS	SS	W	SS	SS	SS	SSS
EBIC	SS	SS	SS	M	SSS	W	S	W	M	SSS
EAI	S	S	M	WWW	SSS	WW	WWW	WWW	W	SSS

(Strong) SSS > SS > S > M > W > WW > WWW (Weak)

*第1図：p25

倍率で撮影している。¹⁴⁾我々は、これまで EAM 装置の信号増巾系の S/N 比改善、検出器と観察試料部分の改善に努力してきた。その結果、今回の高倍率写真を得て、EAI の違いを証明することに成功したものである。装置の S/N 改善と検出器と観察資料の部分の改善は非常に大切であることが分かった。

5. 結 論

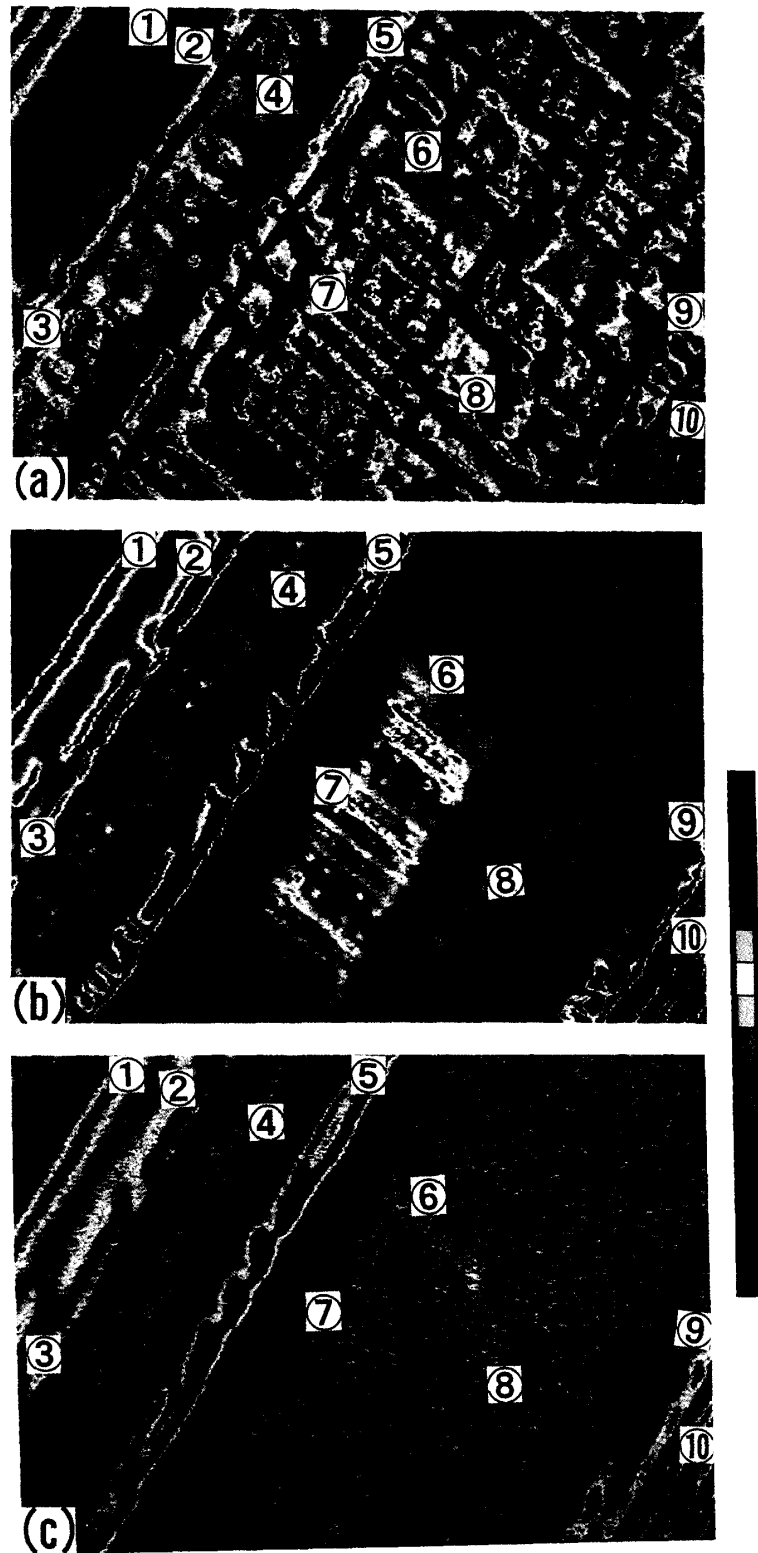
同一場所について(1)SEM モードの表面像(BEI)、(2) SEM モードの電子線励起電流(EBIC) 像と(3)EAM モードの電子線超音波像(EAI)の3つの像を得て(Fig.1),映像信号の強度を10箇所について比較検討した。3種の観察像に記号をつけた10箇所について信号強度を比較した(第1表)。その結果、同一画面内で同じ強度が得られる位置とそれぞれ異なる位置とが存在することを観察写真で実証した。これは、3種類の信号がそれぞれ独立した信号であることを示している。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、助言をいただいた、生駒正明教授(東京大学)、実験に協力していただいた沢井克典氏、小林睦生氏、真名垣正浩氏、田淵正行氏、古池進氏(順不同)を始めとする多くの人達に感謝いたします。また、EAM装置の改善に当たり、文部省科学研究費、サウンド技術振興財団、長崎先端技術振興協会の助成を受けたことを記し感謝に代えます。

引用文献：

- 1) G.S.Cargill III: Nature **286** (1980) 691.
- 2) E.Brandis and A.Rosencwaig: Appl.Phys.Lett. **34** (1980) 98.
- 3) T.Ikoma and K.Morizuka: Oyo Buturi **51** (1982) 205.
- 4) H.Takenoshita: Proc.5th Pffeferköne Conf., Brüger,Germany,1986. eds. J.Kirschner, K.Murata and J.A.Venable. Scanning Microscopy **1987** (1987) suppl.1, pp.211-219.
- 5) K.Sawai and H.Takenoshita: Proc. 7th Sympo. Ultrasonic Electronics, Kyoto, 1986. Jpn.J.Appl. Phys. **26** (1987) suppl.26-1, pp.241-243.
- 6) H.Takenoshita: Jpn.J.Appl.Phys. **27** (1988) 1812-1818.
- 7) H.Takenoshita: Proc.9th Sympo. Ultrasonic Electronics, Sendai, 1988. Jpn.J.Appl.Phys. **28** (1989) suppl.28-1, pp.266-286.
- 8) H.Takenoshita and M.Kobayashi: Jpn.J.Appl.Phys. **28**(1989) L2273-L2275.
- 9) H.Takenoshita and M.Kobayashi: Proc.10th Sympo.Ultrasonic Electronics, Tokyo,1989. Jpn.J. Appl.Phys. **29** (1990) suppl.29-1, pp.16-18.
- 10) H.Takenoshita: Proc.11th Sympo. Ultrasonic Electronics, Kyoto, 1990. Jpn. J. Appl. Phys. **30** (1991) suppl.30-1, pp.253-256.
- 11) H.Takenoshita and M.Kobayashi: J.Electron Microscopy **40** (1991) 369-373.
- 12) H.Takenoshita and M.Managaki: Proc.12th Sympo. Ultrasonic Electronics. Tokyo,1991. Jpn.J. Appl.Phys. **31** (1992) suppl.31-1, pp.99-101.
- 13) H.Takenoshita and M.Tabuchi: Jpn.J.Appl.Phys. **32** (1993) 2521-2524.
- 14) H.Takenoshita : Jpn J Appl Phys **39** (2000) 5312.
- 15) 竹野下 寛, 林田 惣一郎:長崎大学教育学部自然科学研究報告 第58号(1998)53-62



第1図 SEMおよびEAM観察写真

(a): BEI (b): EBIC (c): EAI

写真につけられた①~⑩の記号は、3種の像で同じ位置を示している。