# 高アスペクト比ホールの寸法測定を可能にした 高エネルギー走査電子顕微鏡「ミラクルアイ」

High Energy Scanning Electron Microscope for Measurement of High-aspect Ratio Holes

戸所秀男*	Hideo	Todokora
水野文夫**	Fumio	Mizuno



先端デバイス開発に活躍する高エネルギー走査電子顕微鏡「ミラクルアイ」 微細なコンタクトホールの開口確認, 寸法の高精度管理, 配線の不良解析(赤色矢印はエッチングによる配線内部の細り)に威力を発揮する。

半導体デバイスの高集積・微細化に伴い,層間の 配線を接続するコンタクトホールのエッチング状況 の確認と,寸法管理の重要性が増している。ところ が,高アスペクト比のホールになると,プロセス管 理の主流装置である低エネルギーの走査電子顕微鏡 を用いてもホール観察と寸法の計測が困難なため, 次世代デバイスの開発と歩留りの改善を中心に,高 アスペクト比のホール観察と寸法の計測ができる新 しい技術が切望されていた。このようなニーズにこ

ルアイ」を開発した。

ミラクルアイは,従来の1keV以下であった照射 電子のエネルギーを200 keVとし,ホール内で作ら れた反射電子を側壁を透過させて検出することがで きる。高エネルギーで電子の透過性が増したことか ら,(1)半導体デバイスを導電処理なしで観察できる こと,(2)三次元寸法計測ができること,(3)上層膜を 通して下層膜の観察ができることなどの新しい特長 を持つ。このミラクルアイは,先端デバイスの開発

たえて,高アスペクト比のホールを観察できる新しい観察原理の高エネルギー走査電子顕微鏡「ミラク

促進や不良解析による歩留り改善に役立つものと期

67

待できる。

\* 日立製作所 計測器事業部 工学博士 \*\* 日立製作所 デバイス開発センタ

## 1 はじめに

高集積化された半導体の素子製造では,層間の配線を 接続するコンタクトホールのエッチング加工が素子製造 の歩留りを決定する重要技術になっている。ホール加工 ではエッチング残りなどの不良が発生しやすいため,加 工条件を厳密に決定する必要がある。このためには,ホ ール形状や残渣(さ)物の観察検査が必須(す)になる。

アスペクト比(深さとホール径の比)が2から3程度の ホールは1keV以下のエネルギーの照射電子を用いる低 エネルギーの走査電子顕微鏡<sup>1)</sup>で観察することができ た。ところが,アスペクト比が3を超えるホールの観察 は困難なため,高アスペクト比のホールを観察できる新 しい技術が切望されていた。

高エネルギー走査電子顕微鏡「ミラクルアイ」はこの ようなニーズにこたえたもので,200 keVの高エネルギ



図2 二次電子信号比のエネルギー依存性 信号比(表面を照射したときを」とした強度比)は,高エネルギー にすることによって増加するので,観察が可能になる。

図1に示す。一次電子照射によって二次電子と反射電子

ーの電子を用いることによってホール観察を可能にした。ここでは、ミラクルアイの観察の原理とその特長について述べる。

# 2 高エネルギー化によるホール観察<sup>2)</sup>

高エネルギーの電子でホールを観察している様子を



注:略語説明 SE-1(一次電子が作る二次電子) SE-2(反射電子が表面で作る二次電子) 図 | ミラクルアイによるホール観察の原理 高エネルギーの電子を用いることにより,ホール側壁を貫通した 反射電子が表面を脱出する際に作る二次電子(SE-2)を検出する ことができる。

68

が発生する。二次電子(SE-1)はそのエネルギーが小さ いため側壁で吸収されてしまう。一方,反射電子は一次 電子に近いエネルギーを持つため,照射電子のエネルギ ーを高くすると側壁を貫通して表面から外に飛び出すよ うになる。この反射電子は表面を通過する際に,二次電 子(SE-2)を発生させるのでこれを検出することができ る。この二次電子(SE-2)は,反射の電子強度に比例して いるのでホール内部の形状が観察できる。

高エネルギー化による信号比(ホールからの信号と平 たん部からの信号の比)の改善効果の実測結果を図2に 示す。試料はアスペクト比4のレジストのホールである。 エネルギーが高くなるに従って,反射電子が貫通するよ うになり,信号比が改善される。ホール観察に最適なエ ネルギーはホールの深さに依存する。今後の半導体プロ セスでは、ホールの深さは変わらず、ホール径だけが小 さくなるので、ミラクルアイ(最高エネルギー:200 keV)はアスペクト比が5以上のホールにも対応できる。

## 3 ミラクルアイの特長と観察例

深さは約500 µmに達する<sup>3)</sup>。

1 keVの電子の侵入深さは約10 nmである。このため, 低エネルギー走査電子顕微鏡では主に表面だけしか観察 できない。これに対して200 keVになると, 試料の内部深 くに侵入できるので, 計算によるとSiの場合でその侵入

このような高エネルギーの照射電子を用いているミラ クルアイは、高アスペクト比のホール観察のほかに次の ような特長を持っている。





図3 ホール内部の観察

低エネルギー走査電子顕微鏡による観察(b)では見えていないホール内の残渣が、ミラクルアイ(a)でははっきりと観察できる。

(1) 半導体試料を導電処置なしで観察できる。レジストやSiO<sub>2</sub>の絶縁物(数ミクロン)内で電子正孔対を発生させ,絶縁物に導電性を与える<sup>4</sup>。
(2) 試料傾斜をすることにより,三次元の寸法計測がで

ネルギー走査電子顕微鏡による観察例を同図(b)に示す。 低エネルギー走査電子顕微鏡による観察ではホールの底 が暗く,何も見えない。一方,ミラクルアイではホール 底部にある突起状残渣物が明りょうに観察できる。この ように,これまで試料を破壊する断面観察でだけ可能で

(3) 内部構造が観察できる。

## 3.1 ホールの観察例

きる。

ミラクルアイによるホールの観察例を図3(a)に、低エ

あったホール内部の状態を,ウェーハのままで観察でき ることがミラクルアイの特長である。

ホールを10度傾斜させて観察した例を図4(a)に示す。

	上面径	底面径	深さ
ミラクルアイ	0.556 µm	0.400 µm	1.523 μm
断面計測	0.547 µm	0.406 µm	1. <b>527</b> μm



(a) ミラクルアイ三次元計測

(b) 断面計測

図4 三次元計測と断面計測の比較 ミラクルアイによる立体観察(a)から求 めた寸法は、断面像(b)による計測とよく 一致する。





### 図5 内部観察の例 上層のアルミ配線を透過して、下層のタングステン配線が観察できる。

低エネルギー走査電子顕微鏡では見ることができなかっ た裏側が手前の壁を透過し,ホールが立体的に観察でき る。この像から上面径,下面径ばかりでなく,ホールの 深さも求めることができる。このようにして計測した寸 法を断面観察した同図(b)から得た寸法と比較して同図の 表に示す。両者は良い一致を示した。

3.2 内部観察の例

二層配線部の観察例を図5(a)に示す。観察した試料の 断面構造を同図(b)に示す。上層にアルミ配線があり、2 µm内部にタングステン配線がアルミ配線に直交してい る。低エネルギーでは観察できない下層のタングステン 配線が、上層のアルミ配線を透過して観察できる。この 特長は、絶縁膜下の構造観察や上下層の合わせ精度の確 認などに応用できる。

#### - 次電子 200 kV-1 μC (シ) WAT (シ) \*来ガス内熱処理 (450℃-30 min)) (シ) (mm)

注:略語説明

N-MOS (N-channel Metal Oxide Semiconductor)

#### 図6 電子線損傷の評価

160分の観察で周辺 | mmに損傷が認められたが,通常の観察時間(|分)では10μm内に限定される。また,アニール処理によって 消失する。



物質中に入射された電子のエネルギーの損失機構に は、構成原子の電子を励起あるいはイオン化することに よるものと、構成原子との弾性衝突によるものの2種類 がある。照射による試料損傷の大きさは、対象物内での 電子エネルギーの損失に比例する。

200 keVになると、1~2µmのレジスト膜は容易に通 過してしまい、レジスト内でのエネルギー損失は0.2 keVと、1 keVよりも少なくなる。レジストの損傷は重合 や解離による萎(い)縮と膨潤による形状変化として現れ るが、この量は非常に小さく問題にならないことがわか った。

MOS (Metal Oxide Semiconductor)デバイスの場合 には、電子がゲート酸化膜を通過すると正孔が残留し、 デバイスの電気特性劣化(Vthシフト)として現れる。寄 生MOSトランジスタへの影響の例を図6に示す。200 keVの電子を長時間一定個所に照射し、周辺での寄生 MOSトランジスタの特性劣化を調べた。照射量は1µC である。これは通常の観察で160分間連続観察に相当す る。周辺1mmの範囲でVthのシフトが認められた。この Vthシフトは450℃で30分の水素ガス内の熱処理で消失 した。通常の観察が1分以下であることを考えると影響 の範囲は10 µm以下になる。こうした結果から,評価終 了時に熱処理を入れる,テスト素子をスクライブ部に設 けるなどの配慮をすることにより,量産ラインでの使用 も可能と考えられる。

## 5 おわりに

ここでは、高アスペクト比のホール観察を可能にする 新しい観察法について述べた。これまで1keV以下であ った走査電子顕微鏡の加速電圧を200 keVに高め、ホー ル内で作られた反射電子を側壁を透過させて検出するこ とができるミラクルアイは、(1)半導体試料を導電処理な しで観察できること、(2)三次元の寸法計測ができるこ と、(3) 上層膜を透かして下層の構造が観察できることな どの新しい特長を持っている。高分解能でもあることか ら、0.2 µm以降のプロセスにも適用可能である。

#### 参考文献

70

1) 古屋,外:電子ビームを用いた半導体プロセス評価装置, 日立評論, 73, 9, 867~872(平3-9) in solid materials, J. Appl. Phys. 42, pp.5837~ 5846(1971)

 F. Mizuno, et al.: Observation of deep holes using new technique, SPIE, Vol.1929, p.347(1993)
 T. E. Everhart, et al.: Determination of kilovolt electron energy dissipation vs penetration distance 4) D.M.Taylor: The effect of passivation on the observation of voltage contrast in the scanning electron microscope, J.Phys., D, 11, pp.2443~2454(1978)