



研究ノート

## 電子ビームで LSI 内部の 信号伝搬を観る

藤岡 弘\* 裏 克己\*\*

電子ビームを用いて LSI などの集積回路素子を“作る”ことについては、電子ビーム露光などでよく知られているが、ここでは電子ビームで LSI 内部を伝搬していく信号波形を“観る”ことについて述べる。

LSI などの表面構造をただ観るだけなら、走査電子顕微鏡 (SEM) という便利な装置がある。SEM は、電子銃から出た電子ビームを電子レンズを用いて  $0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$  程度に縮小し試料に照射する。このとき、試料表面から放出される 2 次電子信号を検出して CRT 上にテレビ像のように表示する。検出 2 次電子信号は試料表面の凹凸や組成に対応して変化するので CRT 上の像をみれば表面構造は一目瞭然である。これが、いわゆる顕微鏡としての働きである。

ところで、2 次電子信号は試料表面の電位変化に対応して変化する性質も持っている。これを電位コントラストという。電位コントラストを利用すれば試料表面の電位分布を観測することができる。しかし、普通の SEM の時間分解能は 2 次電子検出系の帯域幅で制限され、 $\mu\text{s}$  ( $10^{-6}$  秒) 程度が限度である。この SEM を  $\text{ns}$  ( $10^{-9}$  秒)  $\sim$   $\text{ps}$  ( $10^{-12}$  秒) の時間分解能を持つように改善した装置をストロボ SEM と呼ぶ<sup>1) 2)</sup>。ストロボ SEM は、微細化・高速化に向って進展を続けている IC や LSI 素子<sup>3) 4)</sup>、あるいはマイクロ波半導体素子<sup>5) 6)</sup>などの動作解析や故障診断の有力な装置として半導体工業の分野で非常な関心を集めており、各国

で研究されている。以下、ストロボ SEM の原理を説明し、応用例を紹介する。

普通のカメラで動いている被写体のスチール写真を撮る場合でも、カメラのシャッター速度を被写体の動きに比べて十分速くすれば、フィルム上ではあたかも静止しているように映る。すなわち、時間分解能はシャッター速度に依存する。ストロボ SEM の原理はこれと同じである。

ストロボ SEM ではビームをパルス化して試料に照射する。この場合、パルスビーム発生装置がカメラの場合のシャッターに、パルス幅がシャッター速度に対応する。カメラの場合と違う点は、カメラの被写体は普通不規則な動きをするが、半導体素子中の電気信号は正確な周期現象である点である。したがって、試料上の電圧信号は一周ごと必ず繰返して現われる。そこで、パルスビームと試料励振との相対位相  $\phi$  をある特定の値  $\phi_0$  に固定し、この  $\phi_0$  の瞬間にだけパルスビームを繰返し照射すると、位相  $\phi_0$  の電圧信号にのみ対応し、しかも繰返した数だけ信号が蓄積されるので、十分に S/N 比が良好な信号を得ることができる。これが、ストロボ SEM の原理である。

ここで、 $\phi$  を  $\phi_0$  に固定したままで、パルスビームで試料表面を 2 次元的に走査すると、位相  $\phi_0$  での 2 次元電位分布像が得られる。これを像モードという。つぎに、パルスビームを試料上の一点 P に固定し、位相  $\phi_0$  をゆっくりと変えながら、移相量を CRT の横軸に、検出 2 次電子信号を縦軸に入れると CRT 上には P 点での電圧波形が得られる。これを波形モードという。

図 1 に、われわれが開発したストロボ SEM の構成を示す。通常の SEM をストロボ化する

\* 藤岡 弘 (Hiromu FUJIOKA), 大阪大学, 工学部, 電子ビーム研究施設, 助教授, 工学博士, 電子工学

\*\* 裏 克己 (Katsumi URA), 大阪大学, 工学部, 電子ビーム研究施設, 教授, 工学博士, 電子工学

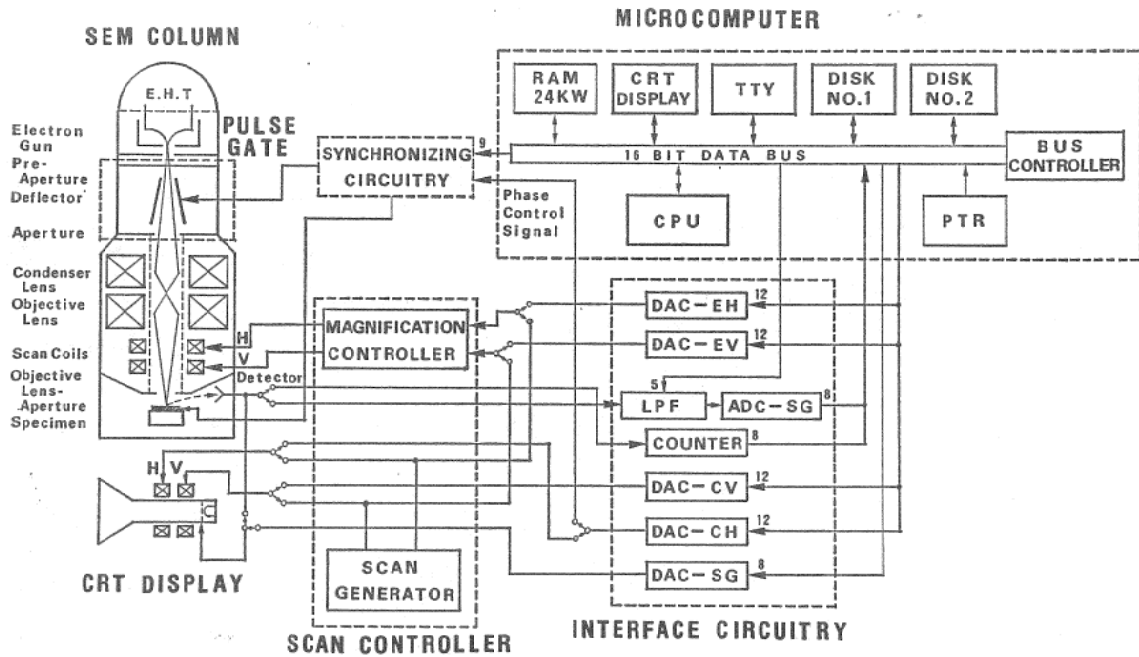


図1 ストロボ SEM の構成

るために、照射ビームをパルス化するためのパルスゲート部と、発生したパルスと試料励振との同期をとるための同期回路系を付加している。マイクロコンピュータは、1) ビームを試料上の希望する場所に正確に照射する、2) 信号波形をサンプリングし、これを記憶・保存する、3) S/N 比の改善をはかるため平均化および平滑化の信号処理を施す、などのためである。

写真1は、像モードでの観測例<sup>3)</sup>である。試料は6回路内蔵インバータ IC の1回路部分で、入力端子に、立上がり3 ns、振幅4.5V、周波数8.6 MHzの矩形波を印加し、ビームパルス幅0.2 ns、時間間隔1 nsで観測している。SEM写真では、電位の低い部分は高い部分に比べて明るく映る。一連の写真と比較すればわかるように、入力端子に加えられた信号が出力端子に現われるまでの様子が明瞭にとら

えられている。

つぎに波形モードの応用例として、MOS LSI (4096ビット スタティック RAM) の内部信号波形を観測した例<sup>4)</sup>を紹介する。試料の顕微鏡写真を写真2に示す。実験の目的は、読出し動作時の素子内部の波形を観測することである。測定点は写真2に矢印で示されている。振幅4 Vの矩形波がアドレス入力に印加されている。図2に観測波形を示す。試料励振周波数は2.5 MHz、ビームパルス幅は3.8 nsである。図2から、D、E点の波形は共に、立上がり、立下がり特性がなまっており、また振幅も小さく、この部分が出力特性に大きく影響していることがわかる。

ここでは、MHz領域でのストロボ観測例を紹介したが、GHz領域における像モード<sup>5)</sup>および波形モード<sup>6)</sup>による観測も可能である。

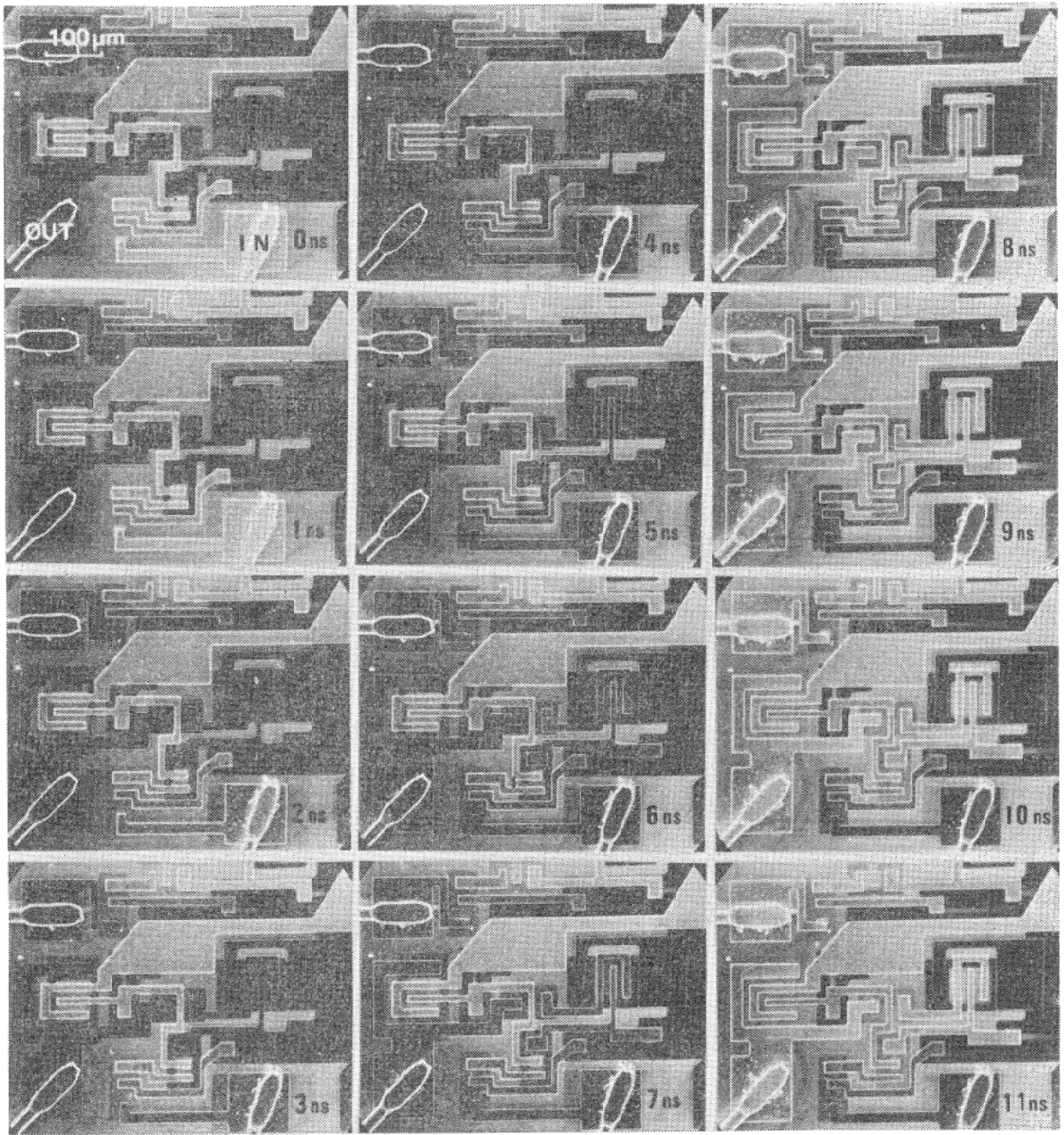


写真1 インバータ IC のストロボ SEM 写真

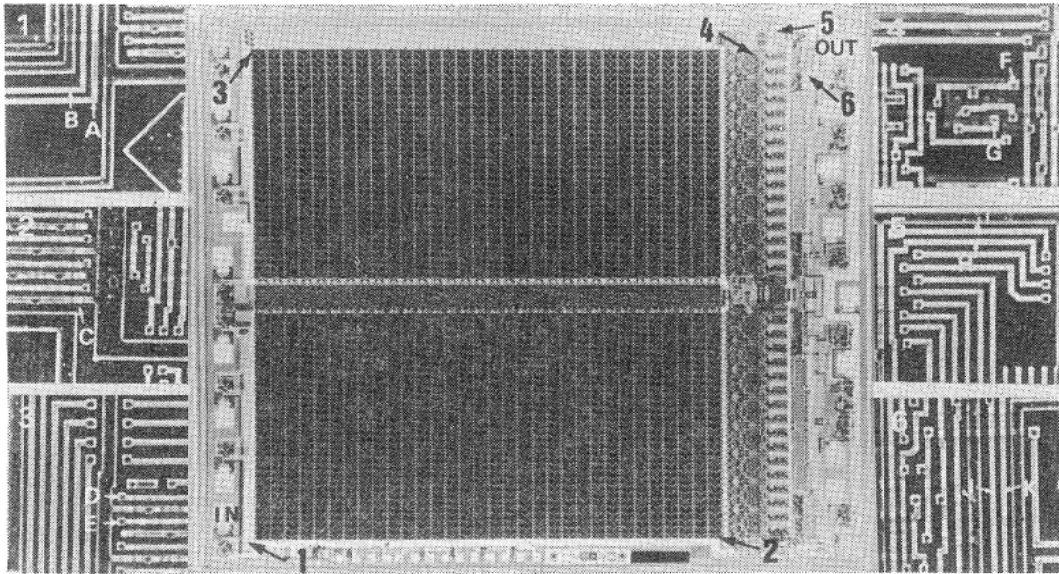


写真2 4,096ビット MOS RAM の顕微写鏡真. IN, A, B, ……., K, OUT は波形観測点

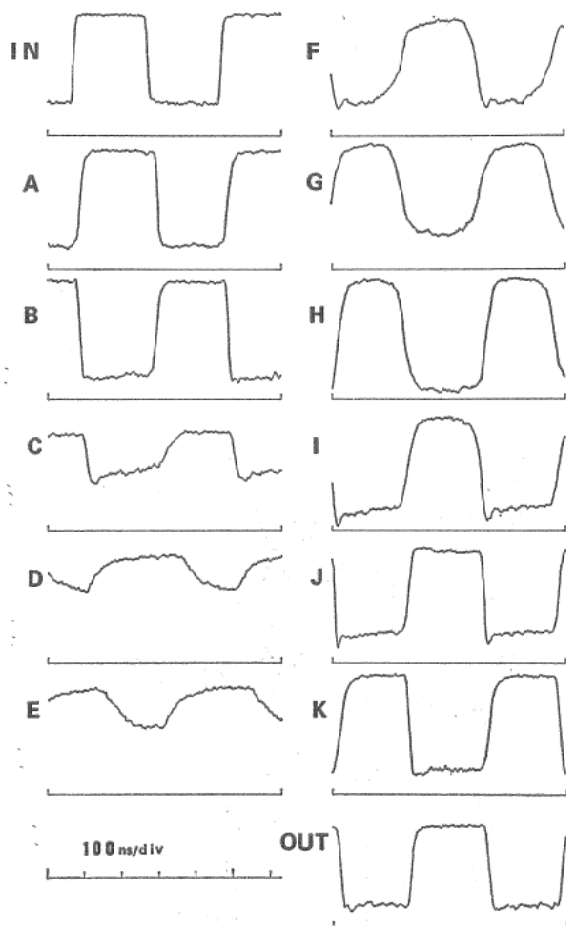


図2 4,096ビット MOS RAM (写真2) のストロボ観測波形

参考文献

- 1) 裏 克己, 藤岡 弘, “ストロボ走査電子顕微鏡と半導体素子への応用 (I)”, 電子ビーム研究第1巻, 1979.
- 2) 裏 克己, 藤岡 弘, “ストロボ走査電子顕微鏡と半導体素子への応用 (II)”, 電子ビーム研究第2巻, 1980.
- 3) H. Fujioka, K. Nakamae and K. Ura, “Function testing of bipolar IC’s and LSI’s with the stroboscopic scanning electron microscope”, IEEE J. Solid-State Circuits, SC-15, pp. 177—183, 1980.
- 4) H. Fujioka, K. Nakamae, H. Takaoka and K. Ura, “Function testing of bipolar and MOS LSI circuits with a combined stroboscopic SEM—microcomputer system”, Trans. IECE Japan, E64, pp. 295—301, 1981.
- 5) T. Hosokawa, H. Fujioka and K. Ura, “Gigahertz stroboscopy with the scanning electron microscope”, Rev. Sci. Instrum., 49, pp. 1293—1299, 1978.
- 6) H. Pujioka and K. Ura, “Waveform measurements on gigahertz semiconductor devices by scanning electron microscope stroboscopy”, Appl. Phys. Lett., pp. 81—82, 1981.