

ますおかふじお

舩岡富士雄

(東北大学電気通信研究所教授)

独自技術へのこだわりとユーザー指向が生み出したフラッシュメモリ



東芝という巨大企業にあって、新しいコンセプトの半導体メモリ(フラッシュメモリ)を作った研究者がいた。フラッシュメモリの父、舩岡富士雄である。時代は70年代後半。半導体が“産業の米”と呼ばれ、東芝では汎用メモリであるDRAMが大きな収入源となりつつあった。「DRAMで世界一に」。会社の大方針の中で働きながら、あくまで独自の技術創出にこだわり続けた。

舩岡は、磁気ディスクを半導体メモリで代替できるはずだと考えていた。「コストが高く、信頼性が低い」。市場の予測は悲観的だった。ところが、今やフラッシュメモリは、携帯電話、デジタルカメラ、メモリカード等、記憶媒体として社会に不可欠なものとなり、私たちの生活に広く浸透している。もはや開発当初の悲観論を知る者は少ない。

現状に至るまでに積み重ねられた膨大な技術的蓄積は、舩岡によるものだけではない。インテルをはじめ、競合する世界中の企業がしのぎを削り、数々のブレイクスルーが成し遂げられてきた。その中でなお、彼が「フラッシュメモリの父」と呼ばれるのは何故なのか。それは、彼の一目平凡な発想の転換にある。「機能を減らしてでも、ユーザーにとって使いやすいものを」。性能向上に突き進む当時の技術者達に鮮烈なメッセージを送った。知る人ぞ知る「フラッシュメモリ」の命名者でもある。

フラッシュメモリに囲まれた私達の生活

2003年。私たちの身の回りを見回してみよう。様々なところでフラッシュメモリが活躍している。ポケットの中の携帯電話には、数百件の電話番号やメールアドレスを記憶したフラッシュメモリが入っている。引き出しに入っているデジタルカメラにもフラッシュメモリカードが入っている。もはやフィルムは不要になった。鞆を開けて昨日パソコンで作成したレポートが納められているメモリカードを手にとってみよう。レポートを記憶しているのはフラッシュメモリだ。財布をあけると IC カードが目に入る。フラッシュメモリが埋め込まれており、個人認証に不可欠な情報を司っている。ビデオのチューナーや録画の予約にもフラッシュメモリは不可欠だ。最近では、インターネットで音楽をダウンロードしてきて、ボールペンほどのレコーダーに音楽(10時間も入る!)をおさめて持ち歩くこともできる。エンジンの制御プログラムから炊飯器の火加減に至るまで、フラッシュメモリが覚えていてくれる。

フラッシュメモリは、私たちが覚えられないほど膨大なデータを、正確に覚えていてくれる。そのデータは、ボタン一つですぐに取り出せる。暑い夏の日も、凍えるような寒さの日も。ポケットや鞆に放りこんでおいても、多少の衝撃では壊れない。その正体は小さな小さな半導体のかけらだが、私たちの生活における存在感は絶大である。

図1に示すように、フラッシュメモリの市場は拡大を続けている¹。フラッシュメモリ業界全体の売り上げは、1998年には25億ドルだったものが、1999年には45億6,100万ドル、2000年は106億3,700万ドルと、急速に拡大している²。2001年は半導体不況の影響で、約80億ドル程度まで落ち込んでいるが³、フラッシュメモリの市場規模は2002年において前年比7.5%増の86億ドル、2003年は110億ドルとさらなる伸張が見込まれている⁴。

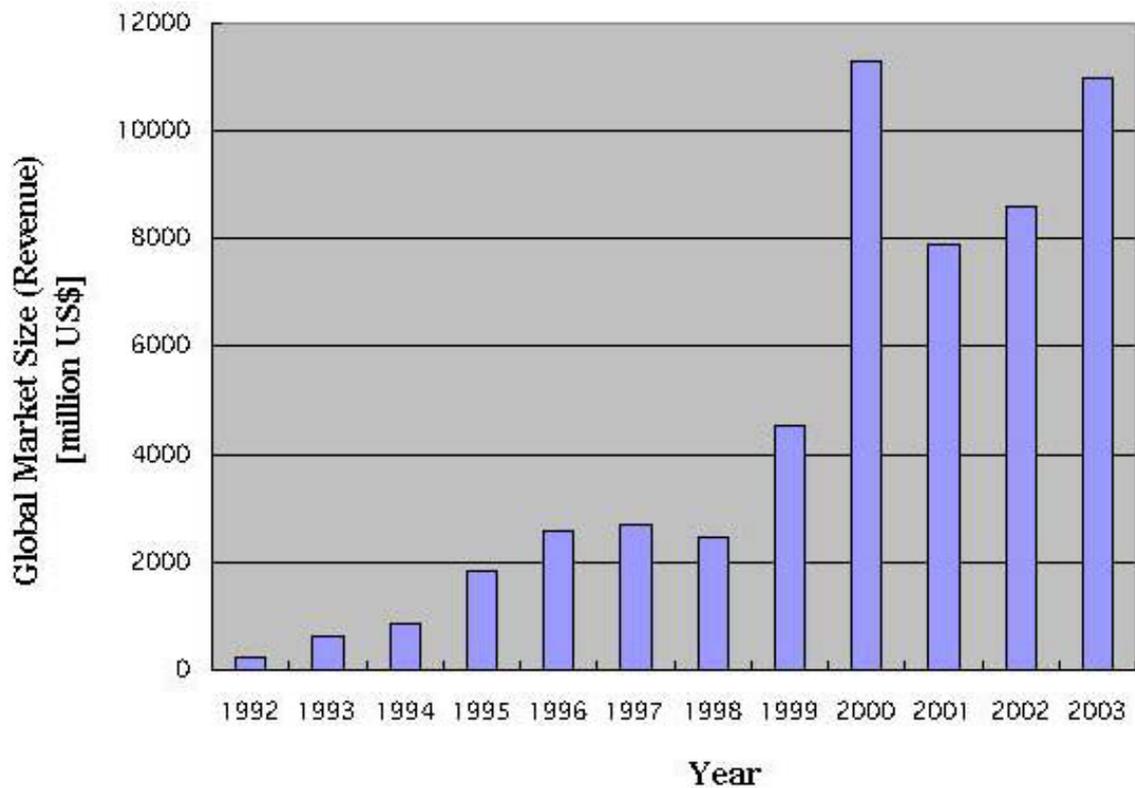
もっとたくさんの文字情報を、もっとたくさんの画像・映像を、もっとたくさんの音楽を持ち歩きたい。私たちの「もっと!もっと!」に応えるために、今日も世界中の工場から大量のフラッシュメモリが出荷されていく。

¹ <http://bizit.nikkeibp.co.jp/it/top/market/backnum/2000/20000904.html>

² <http://bizit.nikkeibp.co.jp/it/top/market/backnum/2000/20000904.html>

³ http://www.yzbiztech.com/market_share_monthly_public/200205_flash_memory.html

⁴ http://www.yzbiztech.com/market_share_monthly_public/200303_flash_memory.html



Source: 1992-94 data, Dataquest; 1995-97 data, In-Stat;
1998-99 data, IC Insights; 2000-03 data, Web-Foot Research.

図1 フラッシュメモリ業界全体の売上高の推移

20年前、データを記録保存するための媒体は、磁気ディスクか磁気テープだった。磁気ディスクは機械的な衝撃で損傷を受け易かった。磁気テープは場所をとる上に、必要なデータを読み出すのに、何度も巻き戻し、早送りし、テープをたぐる必要があった。図体も大きい。ポケットに入れて持ち運ぼうなどという考えは到底起こらない。それが普通だった。

私たちが今日享受しているフラッシュメモリの価値はいかに生まれたのか。「フラッシュメモリの父」と呼ばれる舩岡富士雄にスポットライトを当て、そのアントレプレナーシップを紹介したい。

学生時代

1965年、舩岡富士雄が東北大学4年の春、西澤潤一教授の研究室の門をたたいた。西澤教授の講義を聞いたことはなかった。しかし、西澤教授が、新進気鋭の研究者として花形になりつつあることは、噂で知っていた。西澤教授は厳しいことでも有名だった。敢えて、西澤研を選んだ。「僕は弱い人間だから、厳しい先生に師事して、訓練してもらいたかった。」舩岡はふりかえる。

西澤研究室では、バイポーラデバイスの研究に没頭した。西澤研究室は、若き半導体技術者の梁山泊であり、企業からも多くの研究者がやってきていた。研究室では、学生といえども、そうした社会人と同等に、研究への貢献が厳しく求められた。西澤教授は、独自性に強いこだわりを持った研究者だった。二番煎じには見向きもしない。「人のまねはするな。オリジナリティのあることをやれ。」と言われ続けた。成果を出さないと、先生と話す機会がもらえなかった。

西澤教授は特許を重視していた。独自に生み出した知的資産に強いこだわりを持っていた。大学院の学生には、研究だけでなく、特許の実務経験を積ませる目的で、特許出願に関する様々な業務を任せた。舩岡も、弁理士を通して特許庁とのやりとりを繰り返して、特許技術に習熟することができた。この経験が、東芝入社後非常に重要な意味を持つことを、そのときの舩岡は、知る由もなかった。

半導体不揮発性メモリの息吹

1971年4月、舩岡は東芝に入社した。大学の先輩の飯塚さんが、東芝総合研究所の武石さんを紹介してくれたのが縁だった。武石さんは立派な人だった。「自分は未完成だから、ちゃんとしたところで面倒をみてもらおうと思った。他力本願だよなあ。」舩岡は振り返る。大学で研究を続けることもやぶさかではなかったが、たまたまポストがなかった。

入社して、武石さんから、「不揮発性メモリをやりなさい」と言われた。舩岡の入社当時、世界の各研究機関では半導体による不揮発性(電源を切っても記憶データが消えないという意味)メモリの開発が初期段階にあった。

フラッシュメモリの原型とも言える、浮遊ゲート構造のメモリセル⁵は、1967年、米国ベル研究所におけるカーンとジーによって提案され、試作品による動作確認がされていた⁶。しかし、この試作品は、不揮発性とは言っても、データ保持時間は数マイクロ秒だった。不揮発性半導体メモリは、データを電子で蓄積する。蓄積した電子は、絶縁膜で囲われた「浮遊ゲート」と呼ばれる場所で保持される。ところが、浮遊ゲートを囲む絶縁膜に一カ所でも穴があいてしまうと、蓄積したはずの電子が漏れてなくなってしまう。それならば、絶縁膜をがっちり厚くつくればいいのかというと、そうでもない。絶縁膜を厚くすると、浮遊ゲートに電子を注入できなくなってしまうのだ。浮遊ゲートを包む約10nmの厚さの絶縁膜を、均質に作らなければならない。

⁵ 半導体不揮発性メモリは、主に二通りのタイプがある。浮遊ゲートに電荷を蓄積するタイプと、界面準位に電荷を蓄積するタイプである。界面準位に電荷を蓄積するタイプのほうが、早い時期から試みがあったが、現在市場で活躍しているフラッシュメモリの大半は、浮遊ゲート型のものになっている。そのため本稿では、浮遊ゲート型開発の経緯に焦点を当てた。

⁶ D. Kahng and S. M. Sze, Bell Syst. Tech. J., (46) p.1288 (1967)

しかも、電子が漏れる穴は一カ所たりとも許されない。そんなものが工業製品として実現できるのか？できたとしても、品質保証はどうなる？そのための製造コストは？技術的障壁があまりにも高く、その実用化に世界中の技術者が半信半疑だった。

ところが、舛岡が東芝に入社した年の 1971 年、インテルから不揮発性半導体メモリ (FAMOS と呼ばれた) が発表され、世の中に量産品が出てきたのである。世界中の半導体メーカーが、インテルの技術力に驚愕した。この快挙の鍵を握っていたのは、ドフ・フロマン・ベンチコフスキーという若きイスラエル人の発明だった。ベンチコフスキーは カリフォルニア大学バークレー校で 1969 年に博士号を取得し、インテルに入社したばかりだった。ベンチコフスキーは、浮遊ゲートの周囲の絶縁膜が厚くても、電荷を注入できる方法を考え出していた。アバランシェ注入法という。半導体の pn 接合に逆バイアスの強電界が加わった際、半導体の格子と電子の激しい衝突によって生まれる高エネルギー電子が、絶縁膜を貫通する現象を巧みに利用していた。その後 80 年代に、不揮発性半導体メモリの市場を席卷する偉大な発明だった。

しかし、インテルが実用化したメモリ (FAMOS) は、電氣的にデータを書き込むことができても、電氣的に消去することはできなかった。データを書き換える場合は、紫外線に 20 分～30 分照射する必要があったのである。そのため、書き換えのたびにメモリを装置から取り出す煩雑さがあった。また、メモリのパッケージには紫外線を通す石英の窓をつけておく必要があり、コストが高かった。1971 年に FAMOS が実用化された後、世界中の不揮発性半導体メモリ技術者の次なる目標は、電氣的書き換えを可能にすることとなった。

同じ 1971 年、浮遊ゲートへの電子の注入・引抜きがどちらも電氣的に行える、EEPROM (Electrically Erasable and Programmable ROM) が、世界で初めて学会発表された⁷。電子技術総合研究所の垂井康夫をリーダーとするこのグループの発表の重要なポイントは、2つあった。第一のポイントはトランジスタの高電界チャネル付近で発生する高エネルギー電子を、二重ゲート構造により浮遊ゲートに注入する方法で、チャネルインジェクション型と呼ばれる。この方法はその後インテル社を始め多くの会社で採用されている。

第二のポイントは逆バイアス pn 接合近傍で発生する高エネルギーのホール(正孔)を、浮遊ゲートに注入することで、浮遊ゲート中の電子を引き抜く方法であった。しかし、垂井らの発表によってすぐに EEPROM が実用化になるわけではなかった。高エネルギーのホールが絶縁膜を通過すると、徐々に絶縁膜の性質が変化してしまうという問題が残されていた。絶縁膜が少しずつ帯電していき、メモリトランジスタの特性が変化してしまうため、メモリの情報がう

⁷ Yasuo Tarui, Yutaka Hayashi, and Kiyoko Nagai, Proc. 3rd Conf. on Solid State Devices, Tokyo, p.155 (1971)

まく読み出せなくなってしまうのである。このためホール注入については実用化への道のりはまだまだ遠く思われ、市場が開けるかどうか、誰もが懐疑的だった。

1980年、インテルから、またもや世界を驚かせる技術的ブレイクスルーが発表された。FLOTOX(Floating Gate Tunnel Oxide)メモリである。このメモリは、世界で始めて実用化された電氣的に書き換えが可能なメモリ(EEPROM)であった。発明の鍵を握る男はまたもあのベンチコフスキーだった⁸。FLOTOXは、一つ一つのメモリセルを電氣的に選択して、プログラムすることができた。浮遊ゲートへの電子の注入及び引き抜きには、ファウラー・ノルドハイムトンネリングという電子の量子効果(極微細領域で顕在化する電子の性質)が利用されていた。浮遊ゲートとドレインとの間の極薄絶縁膜(約10nm)の均質な形成を量産ラインでやってのけた。この量子効果の制御に成功したのである。この結果、制御ゲートに電界を印加し、浮遊ゲート中の電子をドレイン側に引き抜くことが可能になった。こうして、電氣的消去が初めて市場で日の目を見ることになったのである。しかし、FLOTOXには欠点もあった。1ビットの記憶にトランジスタが2つ必要な(FAMOSは1つでよい)点である。これは本質的な欠点だった。FLOTOXで1ビットの記憶にトランジスタが二つ必要なのは理由があった。情報を記憶させるトランジスタは、一つだけ独立してあるわけではない。通常のメモリは全て、ビット線とワード線が格子状に張り巡らされた基板の交点部分にメモリセル(記憶用のトランジスタ)を配置することで、構成されている。そのマトリクス状に配置されたトランジスタのうち、特定のものを指定して情報を出し入れするには、行と列(ビット線とワード線)を指定して電気信号を送る必要がある。ところが、電子のトンネル現象を利用していたFLOTOXは、ワード線に電圧を印加し、ビット線を接地する(0Vにする)ことでプログラミングする機構を持っているため、ワード線につながったメモリセルが一行全て同じ情報に書き換えられてしまうという不都合があった。そのため、各メモリセルとビット線の間にもう一つ選択用のトランジスタを設置し、そのトランジスタによって個別のメモリセルの指定を実現する必要があったのである。

舩岡はFLOTOXを1つのトランジスタで実現すべきと考えていた。記憶媒体としての利用を考えていた舩岡にとって、集積度が上がらないFLOTOXの構成は、それほど魅力的なものではなかった。

DRAMの営業の経験から

1970年代後半、米国では日本に先駆けてパソコン市場が破竹の勢いで拡大していた。半導体メモリのニーズもこれに伴い急速に拡大しており、ダイナミックランダムアクセスメモリ

⁸ Dov Frohmann-Bentchkowsky, Jerry Mar, George Perlegos, William S. Johnson, "Electrically programmable and erasable MOS floating gate memory device employing tunneling and method of fabricating same", USP 4203158 (Date of Patent: 1980年5月13日)

(DRAM)事業は、日本の半導体メーカーにとってドル箱となっていた。集積度の高い DRAM をいかに早く市場に投入できるかが勝負だった。1974 年 10 月、東芝は半導体事業部を新設し、全社を挙げて臨戦態勢に入った。より高速なメモリへの要請に応えるため、舩岡自身も DRAM の研究を命じられた。DRAM の研究は重要だと認識していた舩岡は、DRAM の開発で、いくつかの有力な特許⁹も取得した。舩岡は、自分たちが開発した DRAM の性能に自信を持っていた。当然、売り上げも伸びるはずだと思っていたのに、全く売れない。売り方が悪いんじゃないか？舩岡はそう思った。そして、「じゃあ、自分で売ってこよう」と思い、半導体事業部へ転籍を願い出た。

1977 年、希望通り半導体事業部に異動になった。営業現場では、DRAM の性能よりも、製品全体としてのコストパフォーマンスが常に求められていた。東芝の DRAM の性能をアピールしても、顧客からは「そんなに性能が高なくてもいい。私たちが最低限要求する性能を、もっと安く実現してほしい」と言われた。「技術の価値を見る目がないのではないか？」舩岡は歯がみして悔しがった。そうした現場は一つや二つではなかった。そのような経験を繰り返すうちに、舩岡は提供者の立場で技術を見ている自分の姿に気づくようになった。「技術はサービスを受ける人のためにある。提供者のためにあるのではない。」この営業現場での経験は、研究所で一心不乱に性能向上に邁進していた自分の姿を、すこし冷めた目で見直す機会となった。

一括消去の概念への到達

営業成績があがらない舩岡は、一年で事業部から外され、半導体生産技術部に配属された。東芝は 256kDRAM で他社の後塵を拝しており、1M DRAM の開発に全社をあげ取り組んでいた。舩岡は、工場で DRAM の製造プロセス設計に悪戦苦闘していた。この世界を相手にした DRAM 市場の争奪戦の渦中であって、舩岡は独創的な研究へのこだわりを持ち続けた。一流の国際学会での発表を続けたいという、研究者としてのプライドもあった。どこにいても、暇さえあれば舩岡は新しい技術について思案していた。枕元にメモを置いておき、何か思いつくとすぐに飛び起きて書き込んだ。文字通り、寝る間も惜しんでアイデアを絞りつづけた。少しでも良いアイデアを思いついたら、特許の明細書を書いた。二ヶ月間で 50 件もの特許書類を書いたこともある。積み上げられた紙の高さは 50 センチにも達した。舩岡の頭には、「人のまねはするな」という西澤教授の言葉がいつもあった。DRAM は舩岡が東芝に入社する数年前(1968 年 4 月)に IBM の研究者ロバート・デナードによって発明され¹⁰、1970 年に

⁹ USP 4,115,795

¹⁰ USP 3,387,286

インテルで実用化された¹¹ものだった。自分も、こうしたインパクトのある発明をしたかった。

舛岡は、営業現場で経験した、「顧客の視点で製品を作る」という視点を大切にしていた。電氣的消去が可能な不揮発性メモリ(FLOTOX)がインテルから発表されたのを目にした舛岡は、「それじゃあ、顧客は納得しないだろう」と直感した。そして、「俺ならこうする」と書き上げた明細書が、フラッシュメモリの最初の特許¹²となった。この発明のハイライトは、「一括消去」という概念の導入にある。導入というより、決断と言うべきだろう。FLOTOX は1ビットごとに消去・書き込みが可能で使いやすい反面、集積度が上がり、コストが高かった。FAMOS の方が、電氣的に消去はできないが、集積度は高く、1ビット当たりの製造コストを下げられるポテンシャルを持っていた。この関係は、その頃のDRAMとSRAMの関係と酷似していた。当時、DRAM の市場はSRAM の市場の数倍あった。アクセス速度が速く、リフレッシュの必要もないSRAMの方がずっと使いやすいはずなのに、コストの低いDRAMに市場のニーズは集中していた。

ハードディスクを不揮発性半導体メモリで代替するためには、メモリセルの集積度を高めて、コストを下げるのがキーポイントだと考えていた。そのため、1ビットの記憶は是非とも1つのトランジスタで実現しようと考えた。1ビットの記憶を1つのトランジスタで実現するためには、選択トランジスタを使わないで、浮遊ゲートに蓄積された電子をとりだせなければ取り出せなければならない。それは実際、不可能なことに思えた。

ここで舛岡は一つの大きな決断をしている。情報の個別消去をあきらめたのである。将来、画像や音楽など、数千～数百万ビットの情報を格納するメモリとして使うならば、一つ一つのメモリを書き換える必要はないはずである。一括で消去することにすれば、選択トランジスタも不要だ。一つ一つ書き換えられるメモリセルの需要もあったが、これに比べるよりも、高集積化のメリットの方が大きいと判断した。この結果、舛岡の頭の中は非常にクリアになった。「電氣的にデータを消去できる FAMOS を作ればいい。」FAMOS も一括消去型だった。ただし、それは、紫外線を個別のトランジスタに照射できないことによる、不可抗力の結果だった。一方、舛岡はあえて個別消去の機能を切り捨て、一括消去を選んだのである。

舛岡が考え出した消去方法は、「消去ゲート」とよばれる電極を、掃除機のノズルよろしく浮遊ゲートにあてがい、中の電子を吸い出す方法だった(図 2)。この構成ならば、当時、東芝で製造されていたFAMOSタイプのメモリに、ポリシリコン層を一層付加するだけで実現できた。全く別の構成のトランジスタを創造するという道もあった。しかし、製造ラインの実状を知り尽くしていた舛岡は、「実用的なデバイスを作るには工場の製造ラインで作れる現実的な構造を

¹¹ <http://inventors.about.com/library/weekly/aa100898.htm>

¹² 特許公報 出願公告 昭 61-39752

もったものでなければならない」と考えていた。

この時、東芝は DRAM 開発競争の渦中にいた。舩岡もその最前線におり、多忙を極めた。不揮発性半導体メモリについては、特許を出願するのが精一杯で、開発に着手することはできなかつた。舩岡は特許を出願し、時機の到来を待った。

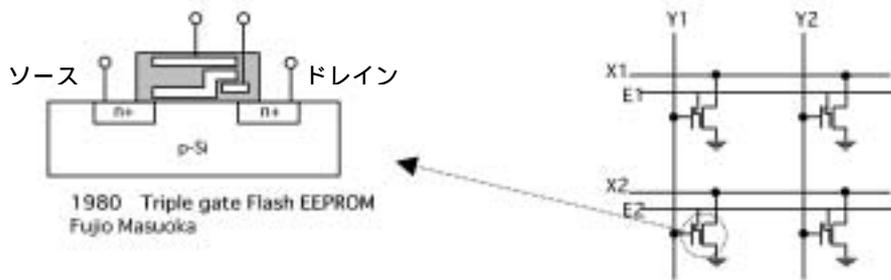


図2 フラッシュメモリのセル構造(左)と回路構成(右)の概略図

フラッシュメモリ開発の成功

1MDRAM の開発が一段落した 1983 年、当時半導体事業部のメモリ担当部長だった鈴木 紘一氏と、東芝の次のビジネスについて語り合っていた時、当時設計課長だった舩岡は、以前から開発したいと思っていた不揮発性半導体メモリの話をうち明けた。話を聞いた鈴木は、「それは面白い。開発しろ。」と、二つ返事だった。開発は許されたものの、予算はつかなかつた。開発は、5人のスタッフにより、細々と始まった。舩岡を中心として、回路設計は浅野と岩橋が担当し、小室と田中がプロセスの設計を担当した。はじめのうちは、この不揮発性半導体メモリの成否について、半信半疑だった。事業部では、研究所と異なり、スタッフは全て開発案件をかかえているため多くの人数をあてることができないのである。紫外線消去型のテストデバイスのロット群に1ビットのメモリセルの試作ロットを潜り込ませた。東芝には、こうした水面下の挑戦を大目に見る、独特の風土があった。こうして、開発開始から3ヶ月で、プロトタイプを完成させた。このプロトタイプの試作で手応えを得たので、同じく紫外線消去型の 256k ビットの EPROM に1層の多結晶シリコン層を付加して、256k ビットのフラッシュメモリを試作した。そして、基本動作を 1984 年 6 月に確認した。「これはいけそうだな」舩岡の心は躍った。

1985 年 2 月、ISSCC で 256k ビットのフラッシュメモリを発表した。「フラッシュメモリ」という名前を考えたのも、この発表のためである。この時まで、舩岡が発明したメモリには名前がついていなかった。せっかく学会で発表するのだからインパクトのあるネーミングにしようと、仲間と話し合った。メモリの消去がぱっと一括してできる機能から、写真のフラッシュをイメージして、「フラッシュ EEPROM」¹³と名付けた。

¹³ 現在では、フラッシュ EEPROM は、フラッシュメモリと呼ばれるようになっている。「フラッシュ」という

学会発表が終わると、すぐにインテルなどの米国企業数社からサンプルの請求があった。学会発表したメモリは、上述のように、通常の生産ラインに潜り込ませたプロトタイプだったので、サンプル配布が可能な設計になっていなかった。ところが、サンプルを請求してきたシステムユーザーの大部分が東芝の重要顧客であったため、サンプルを配布することが決定された。これまで舛岡が副業で細々とやっていたフラッシュメモリの開発は、顧客へのサンプル提供の決定によって専任の担当者がつき、製品化が本格的に開始されることになった。ここで、東芝は新しい経験をすることになる。それまでは米国の会社が開発したものを購入してその仕様通りに使うのが、半導体業界の常套手段だった。ところが、フラッシュメモリに関しては、東芝が世界で初めて作りだした製品なので、独自に仕様を決め、デバイスの設計、プロセス技術など、全て一から新規に構築する必要があった。舛岡は担当者とともに、これまで経験したことのない苦しみを味わった。しかしこの苦しみこそ、東芝が、世界屈指の技術開発力を有する半導体メーカーとして世界に認められる布石となったのである。そして、東芝は世界で初めてフラッシュメモリの製品化に成功し、重要顧客を獲得した。フラッシュメモリが最初に搭載されたのは、自動車だった。米国自動車大手のフォードがエンジン制御用半導体素子の一部として東芝のフラッシュメモリを採用したのである。この東芝のフラッシュメモリ(トリプルゲート型)は、製品として約10年間販売された。

現在使われているフラッシュメモリに、舛岡の考えた消去ゲートは見あたらない。その後、インテルをはじめとした世界の企業の技術者がよりシンプルで高性能な技術を生み出したからである。しかし、「一括消去でいいから、高集積で安価なものを作ろう」という時代の流れは、舛岡の発明がきっかけになって生まれた。一見シンプルなこの発明について、舛岡は次のように語っている¹⁴。「一括してもいいという発想をした人は私より前にもいたと思います。でも、西澤先生がこういっています。松茸は採られるまで、人の股を千以上見ている、と。要するに、松茸があっても、普通、人は気づかないで通り過ぎる。やっとな何人か目に気づくわけですね。その気づいた人間が、私だったということになります。やはり商品化した時にどういうメリットがあるか評価できなければ、オリジナリティのある発明はできないと思います。」

性能を求められる必要最小限に押さえ込み、コストダウンを達成する。営業時代に培った経験が、こうした発想を生んだのであろう。

名前が製品の「一括消去」というイメージとうまく合致して、発表してまもなく、世界中の技術者がこの名前を使い始めた。

¹⁴ I-Career, 9月号, 2001, p.36-39

NAND メモリで高集積化路線を突き進む

フラッシュメモリの製品化に目鼻がつきはじめた 1987 年、舩岡は、生産技術部から、研究開発センターへ異動になった。フラッシュメモリの開発で、半導体メモリによるハードディスクの代替に確かな手応えを感じた舩岡は、半導体メモリの高集積化、低コスト化につきすすむ覚悟を決めていた。当時、まだ現在のように携帯電話やモバイル機器の発達はなく、フラッシュメモリの需要は限られていた。高密度記憶媒体は依然として磁気ディスクが席卷していた。また、光磁気ディスクが登場し、磁気ディスクの市場を少しずつ浸食し始めていた。その中で、半導体メモリの未来は必ずしも明るくはなかった。不揮発性半導体メモリの将来は、生活者に使われるような製品がどれだけ普及するかにかかっていた。「絶対にものにしてやる。俺が不揮発性メモリの市場を作り出すんだ。」困難なテーマだからこそ、舩岡は燃えていた。

1986 年、舩岡は一年のうち半分以上をアメリカで過ごしていた。テキサスインスツルメンツとの DRAM に関する特許係争の証人喚問に呼ばれていたためである。証言に立つ時間の合間をぬって、舩岡はフラッシュメモリ高集積化のアイデアを練っていた。舩岡は、マスク ROM という、不揮発性だが書き換えのできない半導体メモリの「NAND 型」という回路構成に注目していた。複数の記憶用トランジスタを直列接続させ、ソースとドレインをそれぞれ共有させる構成だった(図 3)。それまでのフラッシュメモリは、1ビットの記憶を1つのトランジスタで担っていたが、それぞれのトランジスタは、独立したソースとドレインの端子が必要だった。ところが、NAND 型の回路構成では、ソースとドレインの共有によって、1ビットあたりのトランジスタの占有面積が、従来の約半分になることがわかった。

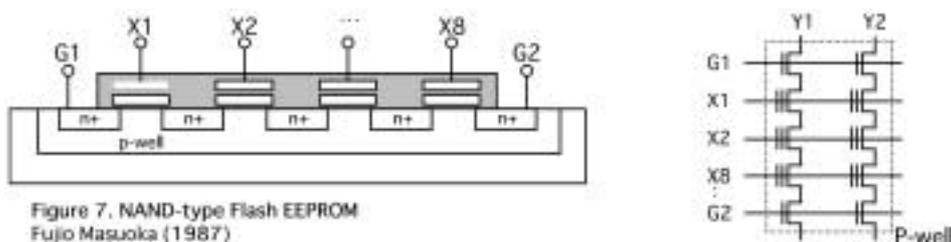


図3 NAND型フラッシュメモリのセル構造(左)と回路構成(右)

しかし、NAND型のフラッシュメモリへの転用はそれほど簡単ではなかった。マスクROMは、読み出しだけができれば良いので、回路構成や、トランジスタに送る電気信号のパターンは簡単である。しかし、フラッシュメモリは、各トランジスタに浮遊ゲートを設置し、その電子の出し入れを制御しなくてはならない。電位の微妙な差を考慮すると、直列に並んだトランジスタを端から端まで同じように制御することは、かなり困難な芸当に思えた。複数のトランジスタを同じように動作させるためには、電子の出し入れの方法を工夫する必要があった。当時、

研究開発センターでグループリーダーだった舩岡は、バイポーラ CMOS の研究をしていたグループを解散させ、NAND 型フラッシュメモリの開発にふりむけた。プロセスの設計は白田、仕様確定は山根の貢献が大きかった。直列接続するトランジスタをいくつまで増やせるか、浮遊ゲートへの電子の注入をどうするか、といった技術的課題を一つ一つクリアしていった。電子の注入は、トンネリングによる手法を採用した。幸い、東芝の集積回路技術はそのころ既に最先端に到達しており、デリケートな微細加工や、極薄絶縁膜の製作も、量産ラインで実現されていた。まさに、役者と舞台はそろった観があった。4M ビット NAND 型フラッシュメモリは、1991 年に製品化(サンプル出荷)され、市場に投入された。東芝発の世界標準が、また一つ生まれた。現在、NAND 型の、フラッシュメモリ市場に占める割合は2割程度である。その中で、東芝と三星がほぼ市場を二分している。NAND 市場の発展は、東芝に大きな収入をもたらすことになるだろう。

東北大学へ

1991 年、NAND 型のメモリが市場に投入されはじめ、舩岡は不揮発性半導体メモリの第一人者として、不動の名声を国内外で獲得していた。ところが、東芝での処遇が舩岡は不満だった。研究者として脂ののりきった 47 才の舩岡の頭には、はちきれんばかりのアイデアが常にわき出していた。挑戦したいことがたくさんあった。ところが、昇進するにつれて研究現場からは遠ざかるようになってしまった。

会議ばかりに呼び出され、管理業務ばかりがまわってくることに、舩岡は不満を持つようになった。いつもオリジナルの仕事をしようにする舩岡は、周囲から、「もう少し上の言うことを聞け」と言われることもあった。こうした状況の中で、舩岡は、研究者としての自分のアイデンティティを侵される危機感を感じ始めていた。

1994 年、舩岡は東北大学に教授として移籍することになった。更にフラッシュメモリの高集積化を押し進めるアイデアが舩岡にはたくさんあった。新しいチャレンジを思う存分できるなら、大学もいいかなと思った。

2001 年 12 月、舩岡らの新しいフラッシュメモリが日経新聞の紙面を、飾った。記事は、これまでのフラッシュメモリの容量を 10 倍に高める技術を報じていた。「DVD 代替の可能性」とある。今まで平面の配置で高集積化の工夫を凝らしてきたが、今度は三次元的な空間の活用に工夫を発展させた。縦型トランジスタとして古くから知られる技術をフラッシュメモリに応用したのだ。しかし、縦型トランジスタは未だ実用化された例はない。技術的な困難性が飛躍的に高まるからである。

舩岡は現在、東北大学にあって、企業とともにこの新しいフラッシュメモリの実用化を目指している。学生の教育という大きな仕事が増えたが、エンジョイしている。研究開発の仕事では、

やっていることは、東芝時代とあまり変わらない。アイデアを出し、特許を書く。自分で実験はしないが、企業の研究者を指導して製品につなげていく。

2002年、舩岡は還暦を迎えたが、20年前にハードディスク市場を切り崩す大きなブレイクスルーのきっかけを作った時と、研究に対するスタンスは変わらない。技術の恩恵を受ける側の人の視点で技術を考えている。そのアントレプレナー精神は、今も健在である。

「僕の成果に対して、『学問的価値は何ですか?』って聞く人がいるんだけどね、なかなかうまく答えられない。」舩岡教授は、そうつぶやく。舩岡の成果は学問的価値体系とはどうも反りが合わないようである。

略歴

1943年 群馬県に生まれる

1971年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了、東芝入社(28才)

1980年 全国発明表彰発明賞(37才)

1980年 フラッシュメモリの特許出願(37才)

1987年 NAND型フラッシュメモリの特許出願(44才)

1994年 東芝退職(51才)(当時、東芝研究開発センターULSI研究所第三研究所長)

1994年 東北大学電気通信研究所教授に就任(51才)

1997年 IEEE Morris N. Liebmann Memorial Award 受賞(54才)

2000年 市村産業賞受賞(57才)

2002年 SSDM Award受賞(59才)