

DRAM用トレンチキャパシタの発明と実用化経緯、
IEEE西澤潤一メダル受賞に当たって その1:

発案と特許出願まで

角南 英夫 (広島大学
ナノデバイス・システム研究センター 教授)



はじめに

筆者は今年6月に小柳光正・東北大学教授、伊藤清男・日立製作所フェローとともに、米国電気電子学会 (IEEE) が2002年に創設した半導体材料・デバイス分野で優れた業績を上げた研究者を表彰する『西澤潤一メダル』を授与された。高集積DRAMに不可欠な2種類のセル構造の一方、トレンチ (溝掘り) キャパシタ (容量) を開発した功績が評価されたもので、日本人として初の受賞であった。小柳教授は他方のスタックキャパシタ、伊藤フェローはメモリアレー構成、3人とも日立中央研究所時代の業績で授与された。

筆者は過去にもこの発明で、IEEEポール・ラポポート賞、IEEEクレド・ブルネッティ賞、IEEEフェロー、日本電子情報通信学会フェロー、東京都発明研究功労者表彰等を受賞している。

SSIS機関誌への寄稿要請を受け、本号その1)では筆者の特許出願までの経緯を、次号その2)では共同受賞者とともに進めた製品開発経緯を記したい。

鉱石ラジオからはじまる

私のルーツは小学校の工作で格闘した鉱石ラジオである。エナメル線をボビンに巻き、コイルの一部を紙やすりでこすって銅線をむき出しにして接点をつくる。工作と絵は得意であった。でも音が聞こえてこない。ものの本を読むと鉱石が悪いことが多いとあったので、いろいろと調べた。鉱石がロッシェル塩でできていること、周波数とは、同調とは、検波とは、訳もわからず鶏呑みの知識が増えていった。

中学、高校とこれがエスカレートし、趣味となった。真空管を4本使った並四受信機に始まって、ダブルスーパーヘテロダイン短波受信機まで及んだ。しょっちゅう秋葉原に通い、米軍払い下げの送受信機の見事な造りに感動したりした。当時はアマチュア無線全盛のころで、短波送信管807を使って送信機も作った。大学受験で気持ちのゆとりもなく、あのシャーシャーという雑音だらけの中からかすかな

音声を拾うアマチュア無線通信に違和感があったのも確かで、結局免許はとらずにコールサインは貰わずじまい。もらっていたらJAI何がしかでピンテージものとして尊敬されているだろう。

大学以降は無線からオーディオに移った。通常使わない電力真空管などを選び、これとインピーダンスマッチングするトランスを苦労して探し、世界で唯一のメインアンプなどと悦にいていた。真空管は最大定格で使うものと思っていたのが間違いで、まもなくこの真空管は過負荷でおしゃかになった。その後トランジスタアンプに移り、造り上げた台数は10を超えたが、今残っているのは1台のみ。

西澤先生に投げかけられたトラウマ

東北大学での卒業研究・修士研究では半導体を選んだ。不遜なことに、造り続けた送受信機やアンプの回路はどうも“底が浅く”て研究対象として考えられず、対極にあるプロセスへと方向を定めた。趣味と仕事は別にしたいという思いもあった。回路に向かっていたら違った研究人生になっていただろう。

このとき師事した西澤先生の背中語る教訓は強烈で今でもトラウマになっている。「論文は読むな。他人と同じことはするな。独創を最優先せよ」と。半年に1度しか面と向かって指導を受けられなかったが、この呪縛はきつかった。この教訓の深さは、後々10年、20年たって理解することになる。

修士論文の研究対象はシリコンエピタキシャル成長の表面観察である。指示された対象では期待した結果がなかなか得られず、一度ならず寄り道した。大いに叱られたけれど、寄り道の成果は10数頁にわたって『半導体研究』(西澤先生が所長を務めておられた半導体研究所(仙台市)発行の研究論文誌)に載せていただいた。努力は認めてくださっていたのだと、涙が出るほどうれしかったのを覚えている。ここ8年間は広島大学で教えているが、指導学生にこのような感動を体験させられてはいない。いわずもがな、不徳のいたすところである。

半導体プロセス開発を仕事に選ぶ

そして1969年、日立中央研究所に入所した。1970年にマイクロプロセッサとDRAMが発表されたのだから、この時制の一致は私にとって幸せなことであった。中央研究所では当時盛んだった多層配線、そしてCCD（電荷結合素子：主にデジタルカメラの撮像素子）の研究に携わった。動作解析のためには界面準位を追究するべきと、ちょうど社費留学させていただいたのをきっかけに1973年から1年間スタンフォード大学のウィリアム・スパイサー教授のもとで光電子分光法の研究に従事した。ただ、数ヶ月に1週間しか装置が空かず、実験したくてもできない状態はつらいものである。様々な米国事情をつぶさに観察するには好都合であったけれど、実験したい私にはつらい研究ペースであった。

太陽電池から着想したアイディア

そうこうしているうちにスタンフォード滞在中に参加した学会で印象的な発表を聴講した。その後いくら探しても発表論文が見つからず、情けないが学会名さえあやふやになってしまった。もしかしたら、ハードコピーが残らないゴードン・リサーチ・コンファレンスではないかと疑っている。

その発表はテキサスインスツルメンツ社のK.E.ビーン氏らが提案した太陽電池であり、図1に示すごとくSi(110)面にKOH水溶液で垂直な溝を多数造りつけた構造である。溝に入射した光は吸い込まれて消滅するために無効な反射光が極めて少なく、光電変換効率が上がるというものである。

今でこそ、垂直の細い溝が形成できるドライエッチングがあるが、当時は等方性の溶液エッチングしがなく、ようやく開発が始まった円筒形プラズマエッチングもほぼ等方性であった。等方性エッチングでは半球状の穴しか得られない。したがって、アスペクト比が5のこの垂直なエッチング溝を見たときには鳥肌が立ったぐらいである。

同時期に図2に示すようにDRAMセルの構成が3トランジスタ型から1トランジスタ+1キャパシタ型に移行したという噂を聞いていた。光電子分光でSiの表面・界面を解析しようという研究者がなぜ畑違いのDRAMに興味を持ったか。ここで、無線機やオーディオアンプを造っていた“デバイス嗜好”がそうさせたのではないかと思う。無線機には共振周波数を精密に調整するためにトリマーコンデンサーという部品がある。これは図3に示すように円筒形の

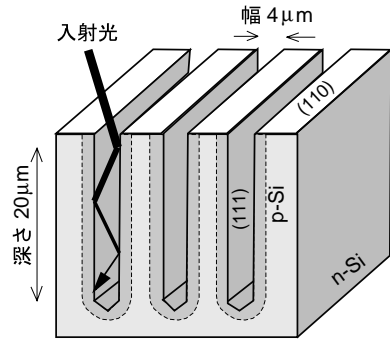


図1 垂直溝つきSi太陽電池

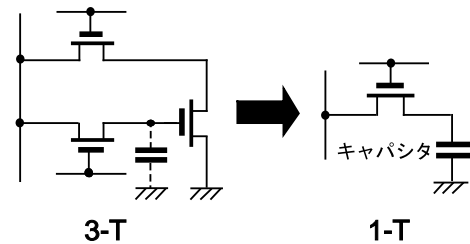


図2 DRAMセルの改良、3トランジスタセルから1トランジスタ+1キャパシタへ

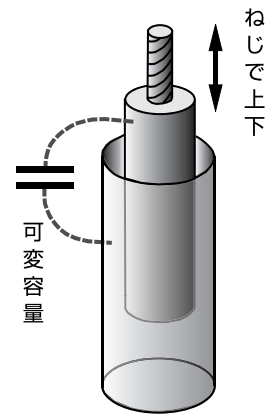


図3 同軸円筒のトリマーコンデンサー

コンデンサーであり、内部の電極を入れ出しすることによって対向電極面積を変え、容量値を変化させる。この円筒形コンデンサーとSi垂直溝が頭の中で合体した。

集積回路は小さいほどコストが安い。キャパシタの値が大きければ信号も増大し安定な動作ができるに違いない。だったらSi基板に垂直な溝を形成してこの側壁をキャパシタの電極にすれば、一石二鳥ではないかと考え、当時の上司に「特許出願の明細書申請用紙を送ってくれ」と米国から手紙で頼んだ

(まだインターネットはありません)。折り返しは「今の研究に無関係な横道にそれず、留学先での研究をきちんと仕上げなさい」というものだった。この好奇心優先の横道嗜好は今も変わっていない。

トレンチキャパシタ特許出願

1974年9月、帰朝後自分でも惚れていたこのアイデアをどうしても捨てられず、特許出願を依頼した。1975年5月7日出願の特願昭50-53883「半導体記憶装置」である。アイデア特許にしては多くの実施例を盛り込み、後の審査・権利化上これが大きな力となる。

図4に明細書の冒頭の図面を載せた。この発明のコンセプトは理解されず社内評価は低かったので、外国出願はされていない。今思えばしつこく売り込むべきであったが淡泊な性格が災いしたようである。

この出願からたった1ヶ月後、日本のF社から、翌年には日本のT社、翌々年には日本のM社、N社、米国のT社、I社から同じ概念の特許が出願されている。ほんのタッチの差である。私がもう少し逡巡して出願が遅れていたなら、今の私とは違った道を歩いていたに違いない。

本稿の主旨とはずれるので記載しないがこの発明とともにトレンチの応用と派生技術で様々なアイデアを出願した。二層ポリSi構造のDRAMや、今でこそ注目を浴びているSiの梁の側壁をチャンネルとしたトランジスタ、さらには基板を貫通した垂直な溝

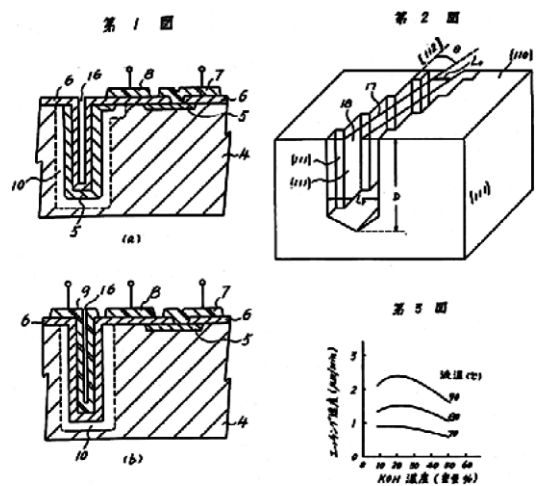


図4 最初のトレンチキャパシタDRAMセルの出願特許(特願昭50-53883「半導体記憶装置」)の冒頭図面

を電極とするものなどである。一部のアイデアは製品化にもこぎつけ会社に貢献した。このトレンチキャパシタから派生した構造や技術は今でも研究対象にしている。早い話、私の“独創性”はほぼ30年前で飽和していたのである。

本稿ではトレンチキャパシタの発案から特許出願までの経緯を述べた。次号は、製品開発経緯を述べ、何故、自社で製品化できなかったかを分析してみたい。ここには日本企業の開発の課題が縮図となって現れている。



協会行事のお知らせ

1. 11/28・SSIS秋季特別セミナー

日時：11月28日(火) 15:00～20:30

会場：大阪倶楽部4階ホール

(大阪市中央区今橋4-4-11)

[セミナー要旨]

第部 ベトナム特集 - 半導体産業の海外立地拠点としてのベトナムの評価 -

講師：ローツェ(株) 代表取締役社長 崎谷文雄氏
 Rorze Robotech Inc. President 中村秀春氏
 (株)フジキン 代表取締役社長 小川洋史氏
 上席取締役常務執行役員 野島新也氏

第部 日本電気産業再編へのシナリオ - エマージングバブルの終焉へ -

講師：ドイツ証券 株式調査部長 佐藤文昭氏

2. 12月度SSIS研修会のお知らせ

日時：12月14日(木) 17:00～18:30

会場：全林野会館プラザフォレスト

(東京都文京区大塚3-28-7)

演題：『半導体ベンチャー企業の今日的課題』

講師：(株)工業調査会 代表取締役会長 志村幸雄氏

《事務局からのお願い》

人材交流プロジェクトではSSIS人材情報活動の活性化を図るため会員の皆様方から『人材情報センター』に関するご意見を伺うことにいたしました。近々にメールによるアンケートをお送りいたしますので、ご協力いただきますよう宜しくお願い申し上げます。