

ソニーのトランジスタテレビ用 トランジスタの開発

川名 喜之 会員



1. 始めに

ソニーが世界最初のトランジスタテレビ（白黒8インチ）TV8-301を商品発表したのは1959年12月25日、日本橋三越に於いてであった。それは会社の総力を挙げて寝る間も惜しんで開発してきたものだったので、全社員の喜びの日となった。ソニーはきっとやるだろう、何時やるのかという世間からの期待の声にも突き動かされていた。このテレビは翌年5月発売になって世界の注目を集めたが、故障が多く、長く販売は続かなかった。けれどもこのテレビは後継機のマイクロテレビ（白黒5インチ）TV5-303（1962年4月発売）に引き継がれ、その後のソニーテレビ大発展の口火を切った歴史的なテレビであった。

ソニーの前身、東京通信工業(株)がテレビ用トランジスタの開発をどのように推進してきたのか、その歴史を辿り、会社トップとエンジニア達の努力の跡を振り返って、読者の参考に供したい。

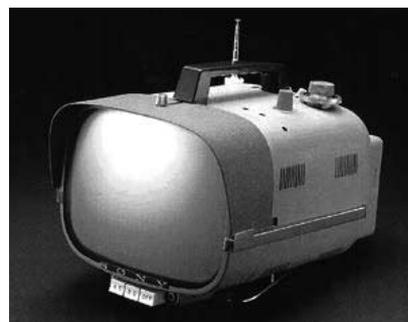
2. 井深（当時社長）の夢と岩間（当時常務、半導体部長）の半導体開発への布石

井深はトランジスタラジオの発売が始まり（1955年）まだラジオの中間周波用トランジスタが低歩留まりで苦戦していて、ラジオの本格的な成功を収める前から、次の商品はトランジスタテレビだと決めていた。彼の夢を描く人柄のなせるところであり、すぐれた戦略であった。

一方半導体の分野ではベル研究所がゲルマニウムからシリコンの開発に重点を移しつつあった。東京通信工業のトランジスタラジオ発売の半年後1956年1月、ベル研究所はトランジスタ特許ライセンスに対する第2回目のセミナーを開いた。名付けてDiffusion Symposiumと言った。岩間はこれを見のがさなかった。自分と岩田（当時半導体研究課長）の二人でこれに参加した。この月、Bell System Technical Journalには2つの重要論文が載った。すなわち、

1. 拡散ベース型ゲルマニウム トランジスタ
 2. 拡散ベース及び拡散エミッタ型シリコン トランジスタ
- である。前者はトランジスタテレビの高周波トランジ

スタとして名高いゲルマニウムメサ トランジスタで、後者はその後のシリコン トランジスタの発展の基礎となる2重拡散型トランジスタであった。



世界初トランジスタTV

先のDiffusion

Symposiumではその論文に載ったトランジスタの製法と拡散技術の詳細、さらに拡散型シリコン整流器の話が中心であった。ベル研究所はシリコンのゲルマニウムに対する優位性を信じていたので（J. Mollらを中心として）岩間はそれを学んだと思われる。シリコンは熱に強い、漏洩電流もゲルマニウムに比べて極めて小さい、高い電圧にも耐えられる。したがって将来はシリコンである、との信念を岩間はそこで受け継いだと思われる。

帰国後岩間は着々と手を打った。ゲルマニウムの高周波メサトランジスタとシリコン トランジスタの開発を推進できるように一部装置を購入し、シリコンの結晶引き上げ装置の設計製作を命じた。また井深はその年の中頃、新日本チッソ肥料(株)社長白石氏にシリコンの国産化を促した。それが現在の三菱住友シリコン(株)の一母体になっている。その年の後半にはゲルマニウムメサトランジスタの開発を始めた（竹花担当）。その年に加わった江崎玲於奈も後にこのトランジスタの開発を推進した。

翌年始め、会社は松下電器中央研究所から三沢敏雄をスカウトし、4月入社 of 著者と二人でシリコントランジスタの開発を始めた。

一方トランジスタテレビの開発については1956年11月に井深は同テレビ開発の実行指令書を発行し、翌1957年1月からその開発を始めた。その間、シリコ

元 ソニー(株)半導体

ンをこれに使うという明確な意思がトップの間で確認されていた。当時井深48歳、岩間37歳であった。

3. トランジスタテレビ用トランジスタの開発概要

1956年、ベル研究所でのDiffusion Symposiumは今後の開発の方向を明示していた。テレビチューナ用トランジスタはゲルマニウムメサトランジスタであり、シリコンは2重拡散型がそれである。1957年にはその方針に従って会社は開発を始めていた。しかし、まだ他にも難しいトランジスタがあった。取り扱う周波数の幅が広く、比較的高い電圧が要求されるビデオ出力用トランジスタである。会社は当時グローン型トランジスタが得意であった。電圧が高いためにシリコンを使い、特殊な表面メルト型シリコングローン型トランジスタをこの目的のために開発する事にした。音声中間周波用は電圧が低いのでゲルマニウムの特殊なサーフェスマルト型トランジスタを開発する事にした。水平偏向及び電源はシリコン拡散型で、垂直偏向用はゲルマニウムパワートランジスタで開発を進めることとした。整理してみると、

- チューナ用： ゲルマニウム メサ型
- 水平偏向用： シリコン拡散型
- ビデオ出力用： シリコングローン型
- 音声中間周波用： ゲルマニウムグローン型
- ビデオ中間周波用：ゲルマニウムメサ型
- 垂直出力用： ゲルマニウムパワートランジスタ

1957年春の状況ではこれらの開発はほとんど半導体部研究課が担当していた。岩間の方針であったと思われる。課長は先に述べた岩田、他に江崎(ゲルマニウム全般)、福井(評価担当)、三沢(シリコン)、竹花(ゲルマニウムメサ)、藤平(結晶担当)、川島(ゲルマニウムサーフェスマルト)、山本(ゲルマニウムパワー)、川名(シリコン)などがいた。次第に開発が進むにつれて体制が変化し、製造準備のための製造技術課(吉田課長)に仕事が移管されるようになってきた。それに伴い、研究課から製造技術課にメンバーも移っていった。1959年の段階では山本、川名が移動し、製造に備えた。表面メルト法はゲルマニウム、シリコンとも岩田の指導による。

余談だが後に江崎はIBMへ福井、三沢はベル研究所へ移動した。

4. 水平偏向用シリコン2重拡散型トランジスタの開発

ベル研究所のDiffusion Symposiumの内容に従って

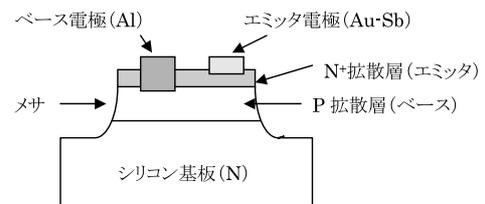


図1 ベル研究所1956年の2重拡散型トランジスタ

2重拡散型トランジスタの開発を目指すことにしたが、まずは拡散技術を習得しなければならなかった。三沢は半導体について経験のあるすぐれた技術者であったので、川名を指導しながら自ら新しい測定やプロセス、組み立て装置の設計を行っただけでなく、拡散profileの測定と表面濃度算定の方式を編み出した。4月から始めて秋までにはP型、N型の拡散深さや表面濃度制御技術は一応マスターした。

その年9月、ベル研究所はシリコンの酸化膜が拡散のマスクになるという技術をライセンスに報告した。実は1955年の春FroschとDerickは偶然シリコンにきれいな酸化膜が出来ることを発見し、これによって選択拡散が出来ることを見出していた。ベル研究所はこの重要性を考え1957年9月までこれを隠していたのだった。Planar技術はこの延長であるが、実際の発明はFairchildのHoerniによる(1959)。ともあれ、著者らは1956年のベル研のトランジスタの試作の傍ら、この選択拡散技術の確認も続けた。

この図1のトランジスタは中々出来なかった。写真工程がない上に、選択拡散がまだ使えていなかった。上のように構造は作ったつもりだが、電流増幅率が出なかった。こんな事でトランジスタは出来るのだろうかという迷いもでる始末だった。1957年暮れ、ようやく0.1程度の(電流増幅率)が出て大いに喜んだものだった。ベル研究所でも1954年のクリスマスの日はこの構造で0.1~0.2の電流増幅率が出て大喜びをしたという記録がある。苦労の理由はすぐに明らかになった。ベース電極がエミッタを突き抜けてベースに中々到達しなかったのである。その後はいくらかも出来るようになった。

余談だが、当時ベル研のN. Holonyakは同じ問題からサイリスタを発明している。

あけて1958年、いよいよパワートランジスタの開発を始めた。先のトランジスタの開発の経験と技術援助契約を結んだGeneral Electric社のパワートランジスタの真似をしようとした経験を参考にした。まず、GEの物はやはり2重拡散型で電極を取り出す方式だったがコレクタ抵抗、ベース抵抗共に大きすぎ、工

程も複雑でだめだと判断した。またこれからは選択拡散型が最も有望であると判断し、直ちに設計に掛かった。始めは13mm×6mm程度の巨大なトランジスタを設計試作した。ウェーハ径は20mmだったので1ウェーハから2枚のチップが取れるようにしたのである。フォトリソグラフィがないのでスコッチテープを貼り、治具をつかってメスで切り込みをいれて、エッチ部をはがし、これをマスクに酸化膜エッチ、メサエッチなどを行った。電極は金、銀の2層蒸着、金はシリコンと合金化して使った。裏面も直接ヘッダーに半田付けする新方式を編み出した。

問題は話にならないくらい大きなリーク電流だった。とてもトランジスタになりそうもなかった。何故だろうと調べてみると、大きなリーク電流の起こる領域が点々と存在することが分かった。また結晶の引き上げ部位によって、すなわち、インゴットの下部からのウェーハが悪いことも分かった。さらに拡散中のspike現象といってエミッタ拡散の異常、すなわちエミッタ拡散が局部的にベースを突き抜ける現象も分かってきた。当時は洗浄も今ほどよくなく、クリーンルームもよくなかった。さまざまなプロセス改善とともに最も大切な事はチップを小さくして出来るだけ大きな電流を取る事だと目標を定めた。何回も設計試作を繰り返し、最終的には6mm×4mm程度のチップにエミッタ2本、ベース3本の電極をいれ、空中配線を行うユニークな設計とした。

1959年春から製造技術課へ移ってからの改善であった。そして遂にトランジスタテレビの発表の日を迎えた。その間デバイス評価担当の遠藤が特性改善を著者に様々指示した。またテレビ設計者とも常に緊密な連携を取った。問題はチップが小さいだけコレクタ抵抗が大きくなる事だった。私が頑固にチップサイズを小さくすることにこだわったためだった。遠藤は私に大きいチップを作れと何回も迫った。

製造に移管した後、あるとき岩間が突然私を呼んだ。「お前、シリコンのトランジスタの製造がどうなっているのか知っているのか」というのであった。歩留まりが低く、出荷に差し支えるだけでなく、大きな損害が起きているのであった。岩間も窮地に立っていたのであろう。早速現場を調べ、洗浄の問題を指導改善して何とか成果を上げる事が出来た。

発売されたテレビは故障も多かったが画質も今ひとつであった。テストパターンが丸くならないのである。水平変更用のトランジスタのコレクタ抵抗が大きいために右側が延びてしまうのだった。またリ

ーク電流のスペックも大きく、秋の運動会ではテレビ部門はそれを冷やかして大きなプラカードに $I_{c0} = 1A$ と書いて行進した。

テレビが発売になっても私は毎日悩んでいた。チップを大きくすれば歩留まりは低下し、ものが作れなくなるという恐怖である。一方コレクタ抵抗を下げるのは緊急の課題である。矛盾する課題にどう応えるかが課題であった。ある日会社からの帰り道にこれはチップを薄くするしかない、しかしそうすれば生産中にウェーハが割れ、またチップも割れて生産にならないのは分かっていた。エミッタ拡散はチップに切断してから行っていたのである。そこでチップに額縁をつける。その内部をエッチして薄くすればよい、ただし、どうやってやるのか、手作業で額縁をマスク剤で塗るしかない、その後も電極形成もそのままやると考えた。大変な手間である。でもやらねばならない、帰り道の間そう考えて翌日自分で試作を行い、特性確認を行った。大きな改善だった。現場には迷惑をかけるがそれしかないと踏み切った。おかげでこのトランジスタは8、5、7、9、11、17インチまでテレビがカラーになるまで使われた。使用中に壊れる物も多かったがゲルマニウムでは出来ない分野を開いた。他社はシリコンが出来るまで本格的な商売を待たなければならなかったし、ソニーからこのシリコントランジスタを買って商品を作る会社もあった。こうして世界初のコンシューマ用シリコンパワートランジスタの幕を開いたのだった。後に拡散法として自ら $POCl_3$ による気相拡散法を発明した(矢木と協同)のもこの時のエミッタ突き抜け問題に対する問題意識によるものであった。また後にTIを訪れた時、そのマネージャーはシリコンをコンシューマに使うと決めたソニーのマネージャーが偉いと言ってほめてくれた。1956年以来の井深、岩間の事である。

5. ゲルマニウム メサ チューナ用トランジスタの開発生産

このトランジスタほど世界の半導体技術者の胸を共通に熱くしたトランジスタはないのではないかとされる。当時1956年当時はそれほど難しいトランジスタであった。

図2のようにベース砒素拡散、エミッタはAl再結



2SC43

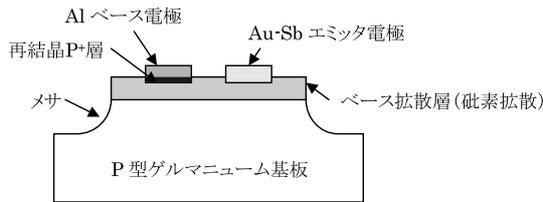


図2 ゲルマニウム拡散ベース トランジスタ

晶層によるPNPトランジスタである。

開発担当者竹花良人の残したメモを参考に開発生産の経過を辿ってみたい。先にも述べたようにテレビ用トランジスタの開発としては最も早く、1956年後半から始まった。ベル研究所が発表したその年である。拡散は真空中で行い、ソースはAs doped Geを用いた。

問題は電極の形成であった。2本の電極stripeをどう作るのか、現在のようなフォトリソグラフィはなかった。そこで、薄い短冊状のステンレス板を縦横に並べて溶接し、1列5個のメカニカルマスクを作った。これをマニピュレータでウェーハに密着させてマニピュレータごと真空蒸着機に入れ、先ずAlを真空蒸着する。その後真空を破り、ウェーハを取り出してマニピュレータで僅かにAu-Sb蒸着領域まで動かし、固定してまた真空蒸着機に置いて蒸着を行った。これでは蒸着中の加熱が出来ずAlの合金化の条件だしが難しかった。

その後様々な改良を加え、1958年には打ち抜き法による蒸着マスクが開発されて蒸着技術は大きな進展を見せた。次にはフォトレジストによるマスク加工に続くことになる。

メサエッチのマスクは手作業で一つ一つ松脂などを針先からたらして行っていた。

h_{FE} の確保のためにSbソースによるout-diffusionや電極形成後の洗浄処理など様々な検討が続いた。

また、当時蒸着電極からのリード線の取り出しは燐青銅やタングステンのワイヤをニッケルスリーブに通してこれを圧着し、スプリングをもたせるように加工してワイヤの先端を鋭くし、その先端でスプリングコンタクトしていた。大変な努力であった。当時ベル研究所で開発されたばかりのThermo-Compression Bondingを実用化しようとして機械課のメンバーが設計開発を始めた。

トランジスタテレビ発売の前年1959年、岩間はこれは半導体部の総力を上げてやらねばならない仕事と位置付け、1959年4月、このトランジスタの技術委員会を設けることにし、自ら第一回の会議を主催

した。彼は冒頭次のように述べている。

1. 現在当社はテレビの製造に踏み切る決意をしており、ブラウン管は自家製造する見込みが付いたので、トランジスタの方も強力に推進して行きたいと考える。
 2. TX102 (ゲルマニウム メサ トランジスタ) はテレビに使用すると共に、高周波の最終的なタイプと考えられるが、従来のトランジスタ製造技術の粋を結集してこれに当たる必要がある。
 3. 過去3年間試作検討が進められてきたが、今後はある程度の組み立てを系統的にまとめて検討して行く時期であると考え。この秋から月産2~3000のラインを作りたい。
 4. 主任担当者は江崎研究員である。
- などと述べている。彼の危機意識が聞こえるようである。

参加者は研究課、機械課、製造技術課からそれぞれ数名であった。

それでも歩留まりは中々上がらず、TCB作業も難航した。蒸着した金属電極ストライプが一様な合金にならないことも困難の一つだった。パイロットラインは大変な苦戦であった。

1960年トランジスタ発売の年である。それでも生産数量の確保が厳しい状態が続いた。その苦戦は生産が厚木工場(1960年発足)に移ってからも続いた。機械課のエンジニアはTCBの装置に工夫を凝らし続けた。作業者はどうしたらTCBがうまく付くのか経験を重ねながら次第にコツを覚えていった。

1962年のある日、岩間は厚木工場を訪れた。このトランジスタの生産の問題を自らの目を見て指導したい、この危機を自ら乗り切らねばとの思いがあったと著者は推定している。工場長の小林は緊張して迎えた。「源流(ソニーの歴史)」には書いてある。岩間は従業員全員を集めてこう話した。「厚木のみなさん、ご安心下さい。世界一のトランジスタのエンジニアである私が皆さんのお手伝いに来たからにはもう心配は要りません。」(源流)と言ったのだった。彼はそれから毎週水曜日には厚木を訪れ、現場を指導激励した。現場も熱が入ったであろう。そんな事もあり、次第に生産は順調になっていった。長い長い戦いであった。

トランジスタテレビ用トランジスタは先にも上げたようにまだまだたくさんある。それぞれに物語がある。しかし、ひとまずこれで筆をおきたい。井深、岩間の卓越した見識と指導に敬意を表しながら。