#### ▶半 導 体◀



# 東京通信工業、日本初のトランジスタ及び トランジスタラジオ量産成功の軌跡

会員 川名 喜之



#### 1. 始めに

1946年に創立された東京通信工業が後発ながらトランジスタの製造から 1955年一気に日本初のトランジスタラジオ発売に駆け上った軌跡を改めて振り返り、その成功の要因とそれが先導して日本のみならず、世界のエレクトロニクスを変貌させるに至った事情を記した。更に無理と言われたのを承知の上で始めたトランジスタラジオ用のトランジスタを新しい技術で新開発して世界の先頭を切ることができた歴史を振り返る。今に生きる事績として。

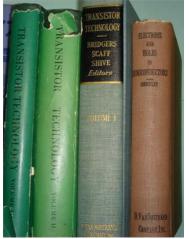
#### 2. 最初の決断

1952 年春、東京通信工業株式会社(東通工)社長、井深 は初めてアメリカ、ニューヨークを訪問した。目的は成功裏 に進んだテープレコーダーの販売を一層強化するための 方策をアメリカで探索することであった。案に相違してアメリ カは東通工ほど進んだ営業はやっていなかった。ただ偶然 にもその時ベル研究所がトランジスタの特許をライセンスす るために応募してきた会社にトランジスタ製造技術のセミナ ーを開いていたのだった。井深はその情報を聞いて眠れな いニューヨークの夜に考え続けていた。それはテープレコ ーダーの開発のために多くのエンジニアを雇ってきたが、 一段落し、今後会社としては彼らにどういうやりがいのある 仕事を与えるべきかが彼の最も強い関心事だったのであ る。井深とはそういう人だった。会社を大きくしたいとか、もっ と儲けたいとかいうことは殆ど考えない人だった。人がやら ない面白い仕事をやりたい。エンジニア達に思い切り熱中 できるやりがいのある仕事を与えたい、と熱望する人だっ た。井深はトランジスタを殆ど知らなかった。ニューヨークの 関係者から話を聞き、直感的にこれは面白いと思ったので ある。真空管と違ってヒータがないから壊れない。消費電力 が小さい。大きさが真空管よりずっと小さい、と聞いて関心 を持ち、自分の会社でやってみようと決断した。そうすれば あのエンジニア達に思い切って働く目標を与えることができ るだろうと考えた。しかし、彼はベル研究所と連絡を取ること ができなかったので、知人に後での接触を依頼して帰国し た。これが東通工(後のソニー)がトランジスタの製造を始 め、ラジオやテレビなど民生電気で世界をリードするに至っ た原点であり、歴史的決断であった。ただし契約金は \$25,000、当時の金で900万円であった。この小さな会社

にとっては大金であった。

#### 3. 岩間のトランジスタ勉強会とプロジェクトメンバー

1953 年中ごろ井深が後事を頼んだニューヨークからベル研究所が東通工にトランジスタのライセンスを与える用意があるという連絡があった。そこで盛田昭夫が会社を代表してベル研究所を訪問し、その契約を進めることになった。契約には契約金 \$ 25,000 が必要である。当然大蔵省の認可が必要である。この認可が下り次第契約金を支払うことで盛田はベル研究所と仮契約を結んだ。この年 10 月のことである。ベル研究所は盛田に補聴器をやるように勧めた。ラジオを作るのは高周波トランジスタが出来ないので無理と言うことであった。盛田は賛成しかねたが、ただ頷くばかりだった。



彼はベル研究所から ライセンスを受けた 会社が受け取ったテ キスト"Transistor Technology"全3巻 (図-1)を受け取り、 日本に送った。これ は当時のトランジスタ の構造と動作原理を 分かりやすく説明し たものである。

図 1 Transistor Technology 全 3 巻 (左 2 冊は海賊版 )
Electrons and Holes in Semiconductors

盛田は日本に帰ると井深にベル研究所での話し合いを報告した。トランジスタで補聴器を作ることについて井深は反対であった。「**ラジオをやろう」**と言うのが井深の決断であった。「いや大丈夫だ。必ずラジオ用のものが出来るよ」と井深は言った。こうしてトランジスタの用途が決まった。

通産省に仮契約の許可を申請したが、勝手に仮契約を 結ぶのはけしからん、他の大手各社がアンブレラ契約と言って技術支援を含む契約をしているのに、東通工が特許契 約だけで成功するとは思えない、と言って中々許可されな かった。その中で、社内ではトランジスタプロジェクト部隊が 編成された。岩間は自分からリーダーを買って出た。他に 物理屋の塚本哲男、岩田三郎、機械屋の茜部資躬、化学 屋の天谷昭夫、電気屋の安田順一がメンバーとして指名さ れた。彼らは、"Electrons and Holes in

**Semiconductors**"(W. Shockley '1950 original) および後で送られてきた例の"**Transistor Technology**"を熱心に勉強した。1953 年秋のことである。 塚本によれば

"Transistor Technology"全3巻は製造装置や製造プロセスが詳しく書いてなくて失望したという。ちなみに

"Transistor Technology"全3巻の目次は次のとおりである。それでもベル研究所は最大限にトランジスタの製法について解説したと思われる。

#### 第一巻

第一章 ゲルマニューム材料

酸化ゲルマニュームの水素還元

ゲルマニュームの精製(ゾーンリファイニング)

廃棄ゲルマニュームの再利用法

第二章 単結晶の必要性とその製法

第三章 ゲルマニュームトランジスタの原理と製法

第四章 トランジスタの諸特性

第五章 トランジスタの信頼性

第二巻

第一章 半導体材料(シリコン材料の進歩と将来性)

第二章 トランジスタの設計

第三巻

第一章 接合構造を作るまで

不純物制御の原理と方法

不純物拡散による接合構造の作り方

第二章 トランジスタの組み立て

第三章 測定と特性の判定法

半導体材料の製法、評価方法からトランジスタの作り方まで原理から始めて詳しく記されている。後に多くの日本のエンジニアがこれを参考に勉強した。グロン型のトランジスタが主に説明されている。

東通工はその年も暮れる頃、通産省内の大規模な人事異動が行われて、急転直下東通工の契約の件が解決される見込みになってきた。岩間はそれを見越してアメリカにトランジスタの勉強に行くことにし、1954年1月早々に出発した。出発に当り多くの社員を前にして岩間は自分の使命と決意を述べた。この小さな会社の存亡を掛けた仕事が自分の双肩にかかっている事を意識しての決意表明であった。

当時アメリカでもトランジスタの製造歩留まりは低く、利益が上がらないという評判であった。しかもラジオ用のトランジスタはあきらめるようにベル研究所からは言われている。並大抵の仕事では無かった。失敗すれば会社は倒産しかねない。

#### 4. 岩間レポートと留守部隊の努力

"Transistor Technology" 全3巻はトランジスタの動作

原理と構造、製法を述べたものではあるが、その製法や装 置について直ちにそれで生産が出来るほど詳細には述べ ていない。岩間は製造装置とプロセスの詳細を出来るだけ 知る必要があった。ベル研究所との契約はトランジスタ製造 のライセンスを与える、すなわち特許の使用を認めると言う だけで製造技術を教えるものでは無かった。もっとも日本の 大手はRCAとの包括契約を行うものがあって、それは技術 指導を含むものであったが、東通工にはそういうことを行う 金の余裕は無かった。岩間は工場を見せてもらって、それ を理解し、夜ホテルに帰って後にそれを思い出して手紙に 書き、日本に送ることが大事な仕事であった。ベル研究所、 Western Electric 社などの研究、製造の現場を見せてもら いながら、次々と質問を発して製造装置の詳細や製造プロ セスの内容、そこで使う部品、薬品などを記憶していったの であった。彼は夜ホテルに帰ると昼の記憶をたどって日本 の本社に手紙を書いた。それが留守部隊にとって待ち望ん でいたものと知っていたからである。最初の手紙は1月23 日から始まって4月1日の帰国直前までのレポートまで、エ アメール 24 通と封書 7 通の 31 通になる。エアメールは社 用箋で各 7~9 枚であった。

ゲルマニュームの原料をどう処理してどんな装置を使っ て純粋なゲルマニューム単結晶に仕上げるか、その条件は どうかなど、Transistor Technology の情報では不十分で あった点について岩間は郵便で報告した。留守部隊では 岩間の情報が頼りであった。次に問題であったことはトラン ジスタの作り方が大きく2種類あった事である。一つはベル 研究所開発の結晶成長型、もう一つはその後 GE、RCA が 開発した合金型であった。点接触型は次第に旧型となって いた。岩間はすべてについて出来るだけ詳細に留守部隊 が製造に取り掛かれるように報告書を作った。目的はすぐ にその情報で製造が出来るようにすることであった。開発を やって成功したら製造に移行しようというのではなく、直ち に製造しようというのであった。会社に開発をやる余裕は無 かった。ベル研究所の人たちは当然びっくりしていた。ま あ、今年中に試作品でも出来ればこっちは驚くだろう、と言 っていたと岩間の報告書には書いてある。岩間はその年の 夏から生産を始めるように指示していた。

しかし、岩間の大きな課題は結晶成長型をやるのか、合金型でやるのかという問題であった。岩間はアメリカにいる間は合金型が有望ではないか、と見ていた節がある。当然成長型と違って生産性が優れており、内部抵抗が低くスイッチ用として優れていたので、アメリカでは人気があった。

しかし、問題はラジオの生産にどちらが適しているかである。ベル研究所ではどちらもラジオ用としては不十分と見ていた。実はその前年 1953 年ドイツの Herbert Kroemer がdrift transistorという拡散電界を利用した合金型トランジスタの原理を発表したのであった。これは PNPトランジスタではベースに当る基板のエミッタ側に当る領域に N型の不純物をあらかじめ深く拡散しておき、この内部電界によってエ

ミッタから注入された少数キャリア(hole)をコレクタ側に加速して流すものである。すなわち、この構造ではベース幅が広くても高速で少数キャリアが通過出来るのである。高周波化を目指した発明である。合金型かグロン型か、どちらに将来性があるのか、当時は判断が難しかった。H. Kroemerはこの年、1954年にはRCAに移ってこのトランジスタの開発を始めた。岩間は帰国後留守部隊に米国訪問を報告して、この問題を議論した。結論は課題が指摘されてはいるが、その段階では成長型が高周波トランジスタ製造の近道であるとの結論に達し、その方向に向かって進むことに決定した。この決定は長くソニーの優位を築くことに繋がった。ちなみにこのdrift transistorは1956年RCAによって商品化され、広く多くの会社が採用することになった。東通工はとてもそれまで待てなかった。その意味で岩間の決定は正解であった。

岩間がアメリカ出張中に留守部隊は岩間レポートを読みながら装置の製作に励んでいたが、岩間が帰ってくる前にトランジスタを作ってしまおう、という話が持ち上がり、直ちに実行に移した。すでに新たに作った装置でゲルマニューム単結晶が出来ていたからである(3 月にゾーン精製装置完成)。驚くべきスピードであった。一番簡単なのは点接触型トランジスタであった。4月初めまでにそれを完成させ(岩田が担当したと思われる)、その後まもなく合金型 PNPトランジスタの試作が出来、5月には完成したのである(2T1型)。

ベル研究所が年末までに試作品が出来れば大いに驚くと言っていた品物である。これは天谷が担当した。天谷に聞くと In 箔を打ち抜き、ゲルマニューム片に圧着して水素炉に入れて合金化を行うプロセスでは大変苦労したということであった。特に In のゲルマニュームへの合金化が一様に進行しないという問題であった。プロジェクトメンバーの電気屋、安田が測定器を作って評価を行い、動作を確認した。

なお、この4月にはトランジスタ生産用の地下1階、地上3階の半導体工場が完成し、関係機械類を搬入した。

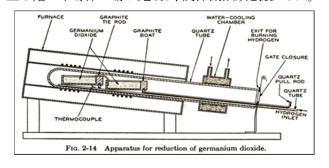


図 2 酸化ゲルマニューム還元炉 Transistor Technology Vol.1 P28 Fig. 2-14

### 5. トランジスタ製造装置の製作

このプロジェクト部隊の最初で最大の課題はトランジスタ 製造装置の製造と購入であった。"Transistor Technology"と岩間の手紙を見ながらどういう装置をどうい

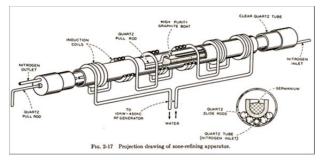


図 3 ゾーン精製装置 Transistor Technology Vol.1 P30 Fig.2-17

う仕様で作るのかという課題に対して物理屋の塚本、岩田、 化学屋の天谷がこれを機械屋の茜部に説明し、茜部が設 計図を起こして製作に当った。会社が持っている工作機械 は小型の旋盤が2台、ボール盤1台程度であった。これだ けではとてもプロジェクトの要望には応えられなかったので 社外の下請け工場に加工を依頼した。先ず酸化ゲルマニュ ームを水素還元して金属ゲルマニュームを作る水素炉(図 -2)、出来た金属ゲルマニュームの純度をトランジスタが出 来る様な純度(99.9999999%)にまで上げる高周波加熱



図 4. 出来上がったゾーン精製装置を見学者に説明する井深 (参考文献 1 源流 P134)

装置を含む ゾーン精製装置(図-3)、などが出来上がった。 結晶ゲルマニュームの純度測定のための抵抗率測定装置、結晶方位測定装置(この二つは購入品)、この棒状金属ゲルマニュームをウェファー状に切断する切断機(スライシングマシン 図-5)、切断されたウェファーの表面研磨装置(ラッピング機 図-6)、更に表面を化学エッチする装置(ジグ)、合金型トランジスタ製造のための不活性ガス炉、それに用いるジグなど 1 連の装置を自前で用意した。 茜部がこれら装置の設計製造の要であった。 そしてその内容と仕様は他のメンバーたちとの詳細な打ち合わせによって、連日突貫作業で進められたと思われる。 ラッピング機は岩間からの情報でウェスターンエレクトリックではラップマスター(商品名)を使っている、と言うのでカタログを見たら 1 台 70 万円もするというので、輸入申請したら外貨が下りない。

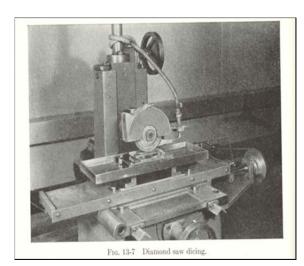


図 5 スライシングマシン Transistor Technology Vol.1 P308 Fig. 13-7

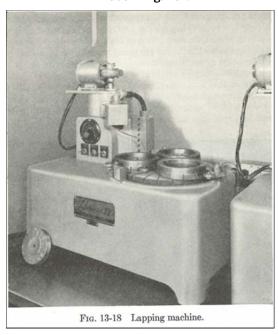


図 6 ラッピングマシン Transistor Technology Vol. 1 P318 Fig. 13-18

それでやむを得ず、カタログから考えてレンズ研磨機を 改造して対応した。ダイシングマシンのダイアモンドホイー ルと高速回転軸の自作は難しかった。ダイアモンドホイール は盛田がアメリカで調達した。高速回転軸は製造装置が無 かったので茜部は中古の工作機械屋から錆だらけの円筒 研削盤(と思われる。ソニーの記録にはスライス盤とある)を 見つけて、これを改造整備して対応した。このような努力の 結果、事実岩間が帰国するまでに酸化ゲルマニュームの還 元炉、ゾーン精製装置、スライシングマシンなどは出来上がって動作を始めていた。そうでなければ合金型トランジスタ は出来ないのである。僅か3ヶ月以内でのこの進捗は彼ら の努力がどのようであったかを想像させるのに十分である。 結晶担当は塚本であった。 ここで極めて重要な装置一つが残されていた。それは単結晶引き上げ装置である。先に述べたように、どういう種類のトランジスタを製造するのかの判断によっている。合金型ならば、Czochralski 法と呼ばれる単結晶引き上げ装置が無くても製造は出来る。しかし、成長型トランジスタを製造しようとすれば、その装置がなければ製造は出来ない。先に述べたように、岩間は帰国までその決断をしないでいた。岩間は帰国後成長型を採用することを決断したので、直ちに茜部に単結晶引き上げ装置の設計製造を命じた。これはトランジスタ製造装置の中でも最も難しい装置である。

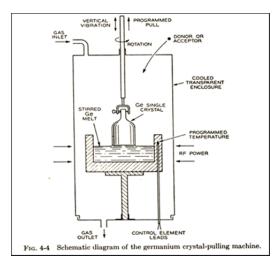


図 7 結晶引き上げ装置 Transistor Technology Vol.1 P69 Fig. 4-4

茜部は"Transistor Technology" に載っていた結晶引き上げ装置の写真を見ながら、詳細は分からないながら、想像をたくましくして設計した。特に不純物を導入するポートはどういう構造だろうかと考えながら設計した。更にゲルマニュームを溶融するグラファイトのるつぼは高純度のものでなくてはならない。その材料は容易には見つからなかった。

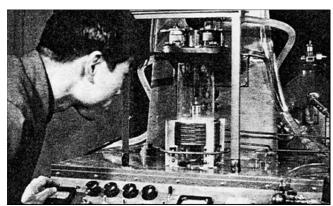


図8 結晶引き上げ装置 東通工 (参考文献4 ENCORE No. 64)

確か原子力用の高純度グラファイトを見つけて購入したようである。加熱機構には高周波加熱装置(ウエスチングハウス社製)を用い、最も大切な精密温度制御装置はリーズア

ンドノースロップ社の装置を購入して対応した。見たこともない、触ったこともない機械を茜部はプロジェクトメンバーと相談しながら設計し製作したと思われる。 茜部は 1954 年 4 月に命令を受けてその年の 9 月にはこの装置を稼働する状態に持っていった。 装置稼働の要の精密温度制御装置を高周波加熱装置と連結可動させたのは岩田であった。 プロジェクトグループは直ちに成長型トランジスタの試作に入った。 ベル研究所開発の 2 重ドープ型 NPNトランジスタである。

## 6. トランジスタの製造開始

先に述べたように、結晶引き上げ装置が無くても合金型ト ランジスタは製造できる。天谷は先に PNP 型合金トランジ スタを製作していたが、更にその量産を目指した。その 1954 年 6 月、トランジスタラジオ開発部隊は直ちにこの PNP トランジスタと点接触型トランジスタを使ってラジオの 開発を目指した。そして7月には5石のトランジスタラジオが 完成した。神戸工業はトランジスタラジオ開発では日本初と されているが(1954年1月)、点接触型と合金トランジスタを 使ったもので、東京通信工業も同じであった。5石のトランジ スタラジオは日本初であった。同じく 7 月には日本最初の PNP 合金型トランジスタとダイオードを発表、発売した。 天 谷は更に合金型NPNトランジスタの開発も行い、両者併せ てラジオに使うべく生産を始めた。NPN 合金型では In に 代わって Pb-Sb 合金を用いた。この開発の狙いは PNP で は In の Ge への合金化の際の濡れ性に問題があったため である。後にこれは In 片の punching による Ge への圧着 によって解決している(General Electricの方法)。Pb-Sb合 金のゲルマニュームに対する濡れ性が大変良い事を見つ けて高い歩留まりで NPN 合金型トランジスタが生産出来 た。合金型トランジスタはラジオの低周波部分に使われた。 PNP と NPN を組み合わせた独特の回路が東通工のラジ 才に使われた。

一方、単結晶引き上げ装置の完成(この年 1954 年9月) に伴い、塚本、岩田は2重ドープ型 NPN トランジスタの開 発を始め、1955 年 2 月には開発に成功した(2T5型)。これ はN型結晶を途中まで引き上げてP型不純物ガリュームを 添加してP型のベースとし、その後にアンチモンを添加して エミッタとするものである。実際には2月よりもっと早くから試 作品が出来ていたのであろう。このトランジスタの製造に当 ってはエミッタとコレクタを電極に半田付けした後、ベース 領域に細い金線をパルス溶接によって熔着するが、その製 造装置はトランジスタの特性をブラウン管上に映し出して、 金線の位置を微小に移動させて最適の位置を見出してパ ルス電流を流すのだが、その装置は茜部と安田の協力によ る。この装置の原理は Transistor Technology に示されて いた。ラジオ開発部隊はそれで直ちにラジオの開発を行 い、同じく3月にTR52型の全接合型トランジスタラジオを 完成させた。このラジオは筐体にひずみを起こしラジオの 基板、筐体の設計をやり直し、その年の7月にはTR55型と して日本初、世界第2番目のトランジスタラジオとして発売された。世界で最初に発売された Regency 社のラジオは TI 社製のトランジスタの歩留まりが悪くその頃には生産が中止されていた。このラジオの設計ではプロジェクトグループのただ一人の電気屋であった安田に負うところが大きい。彼はトランジスタの特性とその分布を熟知していたから最も適切な回路設計が出来た。

更に加えて重要な仕事はトランジスタ回路に対応した小型の電子回路部品の導入である。中間周波発振コイル、各種コンデンサ、小型抵抗器、スピーカなどである。今までの真空管トランジスタでは存在しなかったものである。東通工は電子部品各社に協力を要請し、各種の新しい電子部品を開発してもらって応用した。当然東通工の仕様との間にやり取りがあり、共同開発的側面があった。こうしてこれらの電子部品はその後の半導体エレクトロニクスの重要な構成部品となり、世界に向けて発展する基礎となった。

こうして順調にトランジスタラジオの生産が始まったが、大きな問題が隠されていた。生産量は増加し、売り上げも伸び、評価も上々であったし、次々と後継機種も開発されていったが、高周波用のトランジスタの収率が悪かった。このトランジスタの高周波特性に応じて12種類に分類し、それぞれに応じて発振回路のコイルを作って対応した。それでもこのトランジスタの全体の中で中間周波発振用にしめる割合は低く、ベル研究所がラジオの製造はやめろと言った理由がここに明瞭になった。その後岩間の指示でこの解決に向かった塚本はエミッタに使うアンチモンをリンに変える画期的な開発に成功してこの危機を乗り越えた。その物語はこの後で述べる。

何故東京通信工業はこの困難なトランジスタ生産プロジェクトを短期間で成功させることができたのだろうか。様々な解釈が出来るかもしれないが、私見を述べる。

- 1、目標をトランジスタラジオに絞ったこと。そのためにどうすべきかがおのずから明瞭になり、取るべき手段も、造るべきトランジスタも明確になったこと。
- 2、金もなく、貧乏な会社がどうしても乗り越えなければならない必死の状況に追い込まれていたこと。そのため岩間始めプロジェクト全員が成功のために必死で働いたこと。
- 3、プロジェクトメンバーの構成が適切で、製造機械設計製造に一つの重点を置いたこと。それに向かって全員が協力したこと。メンバーが優秀であった事。
- **4、プロジェクトがやるに値する最高の仕事であったこと。** などが上げられると思う。省みて現在の会社でこのような

などが上げられると思う。省みて現在の会社でこのような プロジェクトはどれだけ存在するであろうか。時代は違うが その精神は参考にしたいと思うものである。

なお、このトランジスタラジオの発売は日本の他の電気会社に大きなインパクトを与え、トランジスタの量産化に向かって大きな激流を呼び起こした。東京通信工業というトランジスタをやってもいなかった中小企業がトランジスタラジオを発売したのである。衝撃は大きかった。そして、トランジスタ

ラジオは新しい魅力的な商品になる事が証明された。日本各社はトランジスタの生産とトランジスタラジオの商品化に向かって一斉に走り出した。これが日本のそして世界のエレクトロニクスを真空管エレクトロニクスから半導体エレクトロニクスに転換させる大きな転機を与えることになった。

しかし、問題はラジオ用高周波トランジスタをどう作るかと言うことである。ベル研究所を始めRCA、GEなどすべてのアメリカのトランジスタ生産会社は合金型ドリフトトランジスタを推薦していた。技術援助契約のない、そして独り突っ走った東通工だけがグロントランジスタでこれを推進していた。アメリカと技術援助契約をしていなかったことも一つの理由である。その決着は次に述べる。

## 7. グロン型ゲルマニュームトランジスタの問題--- 高周波トランジスタ

東京通信工業はトランジスタでラジオの商品化を目指すと決めた時から、ラジオに使う高周波トランジスタは出来ないからラジオを創る事はやめた方が良いとベル研究所から何度も言われていた。それでも勇敢にこれに挑戦しようとしたのはテキサスインスツルメント社(TI)であった。ベル研究所で結晶引き上げ装置を開発し、単結晶ゲルマニュームの重要さを世界に証明し、グロン型トランジスタを開発したGordon Teal が TI に異動したのが 1953 年であった。社長の Haggerty はその機会をとらえてトランジスタラジオの商品化計画を推進した。TI は 1952 年からベルとはライセンス契約を済ませていた。そして 1954 年には開発を加速させ、年末のクリスマスセールに向けて世界初のトランジスタラジオを発売した(\$49.5)。高周波トランジスタは当然ながらベルのグロン型トランジスタであった。東通工と同じである。

ラジオは 4 石で音は小さく音質も良くなかったが、珍しさもあって大評判になった。ここに大量需要が沸き起こった。

しかし、問題はラジオ用高周波トランジスタの歩留まりで ある。ベルが忠告していた通りのことが起こった。なんとか 歩留まりを改善しようと努力したが、かなわず、採算が取れ なくなり、1955年の内には生産を中止して撤退した。東通 工も同じ製法であった。従って同じ結果が起こった。トラン ジスタラジオは好評で売れていたが、このままではトランジ スタ生産の将来性は無いと関係者は皆考えた。岩間も真っ 先にこれを問題にした。元々トランジスタそのものの歩留ま りも非常に低いものだったのにその中から取れる高周波トラ ンジスタの収率も低く、苦労が続いていた。結晶引き上げ工 程の担当課長になっていた塚本はペニシリンの副作用で 半年ほど療養中であったが、その間も特性改善の方法につ いて考えを巡らせていた。担当の木内賢によれば、エミッタ に使ったアンチモンが結晶引き上げ中の高温によって拡散 を起こし、温度の高い周辺部は特に拡散速度が速くベース 層の厚さを不均一にしているために歩留まりが悪くなってい ると考えた。結晶断面の NPN 接合の構造写真はそれを現 していた。結晶の真ん中部分と周辺部ではベース層が大き く異なり、周辺部はベース層が消えるものがあった。代わりとして考えられるリンはベルの資料によれば、その拡散係数はアンチモンと同じになっていた。一方、高濃度のエミッタは増幅率を高くすることが知られている。塚本は濃度を上げる事が出来ればその効果を調べたいと考えた。天谷は塚本から話を聞いて、それでは結晶引き上げ過程の偏析係数が大きく、濃度が高く出来るリンを投入することが望ましいと考え、リンと錫の合金を作って塚本に渡し、これで実験するように勧めた。彼は"Transistor Technology"に示されたアンチモンとリンの偏析係数の値からリンが高濃度を達成するために適切であると考えたという(リンはアンチモンより二桁大きい)。リンを単体のまま、或いは錫箔に包んで投入するのは殆ど不可能である。錫はゲルマニュームに対して導電性に寄与する不純物ではなかった。

#### 8. エミッタにリンを使用する実験

リン/錫合金によるエミッタにリンをドープする実験の結果 は驚くべきものであった。従来のアンチモンの工程と同じ時 間間隔でリンを投入したものはベース幅が広くなりすぎて、 高周波特性は悪くなっていた。しかし、これはリンの拡散係 数がアンチモンよりずっと小さいことを意味していた。塚本 等はそれを調整して実験を進めた処、高周波特性も良く、 歩留まりも従来に比し格段に改善したものが得られたので あった。ベルの拡散係数のデータは間違っていたのであ る。元々塚本はエミッタの不純物濃度を上げることを目的と して実験を始めたが、それは当然ながら実現され、更に思 わざるリンの拡散速度がアンチモンに比べてはるかに遅い という事実を発見したのである。これがこの改善の本質的な 意味であった。しかし、濃度を上げるという当初の目的も達 成されたことが別の大きな新たな課題を提起することになっ た。岩間も当初の成果に大変喜び、これで製造を進めるよう に指示した。このトランジスタを2T7型と称した(2T5 型の改 良型)。1957年4月試作開始と記録されている。

生産を切り替えるに当っては万一の失敗も考慮して十分な在庫品も作り、満を持して生産を切り替えた。ところが、今度は得られたトランジスタは全部不良品ばかりであった。在庫品も底をつき、トランジスタラジオの生産ラインも止まるところまで追いつめられた。ラジオの出荷も止まった。井深は塚本を呼んで、「お前は会社をつぶすつもりか」と詰め寄る騒ぎであった。

この事態に至って社内ではどうすべきか議論が沸騰した。元の工程に戻すべきであるという意見が多かった。グロン型トランジスタを捨てて合金型に変更すべきだという意見もあった。その頃になると合金型の高周波特性は drift transistor によって格段に良くなっていた。生産が止まってはどうにもならない。生産は一時元の工程に戻したようだが、岩間はひるまなかった。問題の本質がエミッタのリンの濃度が高すぎるためではないか、という推測があったからである。適切なリン濃度を実現すれば問題は解決するので

はないかと考えた。塚本と一緒である。江崎は其の前年、神 戸工業から東通工に移ってきていたが、岩間は江崎に特に この解析を依頼した。岩間は「俺は元に戻らない。全責任は 俺が取る。今までの方針通り開発を進めるように」と塚本に 指示した。こうして江崎はこのエミッタ/ベース接合がトンネ ル接合であったことを発見し(1957年5月)、江崎ダイオー ドの名で世界に勇名を轟かした。リン濃度が高すぎるとエミ ッタとベースの接合がトンネル接合になってしまう事が発見 された。そしてリン濃度を正確に制御する方法が考え出さ れた。それはリンの投入に InP という化合物を使うことだっ た。これは In と P が 1 対 1 で結合しているので In P の正 確な評量によって投入量を制御すれば何時も同じようなトラ ンジスタが出来るようになったのである。InPを使う事を考え たのは天谷であると木内は述べている\*1が、天谷本人は否 定している。実際にこの InPを作ったのは当時の研究課(岩 田課長)の課員であった山田六郎であるが、彼は上司の指 示によって作ったと思われる。この際 In は結晶成長の過程 で segregation が起こり(In の偏析係数は P より 2 ケタ低 い)、トランジスタ構造部分には含まれないのであった。トラ ンジスタの周波数特性は15~20メガヘルツになり、これまで 良くても3メガヘルツと比べて格段の性能向上を実現した。

エミッタ接合がトンネル接合になっていたのは若干説明 が必要である。トンネル接合は N 側も P 側も高濃度でなく てはならない。ところが P 側はそれほど濃度が高くしていな い。どうしてトンネル接合になったのかを説明する。トランジ スタの組み立て工程ではベースの電極を取り出すためにガ リュームを含む細い金線をパルス溶接によって溶着するの であるが、この金線の溶融再結晶化部分には大量のガリュ ームを含むことになり、高濃度のNとPが接触することにな るのである。ベースの幅は 20 ミクロン程度で金線の太さは 30ミクロン程度だったと思われるので金線の溶着部はエミッ タからコレクタにまたがって存在していた。エミッタの濃度を 適切にすれば溶着部のP濃度が高くてもトンネル接合の形 成を防げることが分かる。もっとも金線の溶着部をコレクタ側 にずらして行う方法も行われたが、金線の太さとベース幅の 関係、更に金線の溶接領域の広がりを考えれば、エミッタの 濃度を下げるのが正しい解決法であった。

記録によれば、次第に 2T7 の生産量を増加させこの年 12 月には月産 5 万本に達している。 更に生産を増加したと思われる。

考えてみればグロン型トランジスタは 1000℃に近い溶融 ゲルマニュームの中に添加物を投入して作るのである。ア ンチモンのような高温まで固体で存在する元素なら粉末に して投入出来るが、リンのような気化温度が低いものは投入 出来ないと考えるのが普通である。従ってベル研究所では それが出来なかった。錫・リン合金を考えた天谷は合金につ いてその前からアンチモン/鉛の合金を NPN 合金トランジ スタ用に作って使っていた経験があった。その合金検討の 経験が生きたのである。錫は不純物濃度に寄与しないこと が分かっていたからである。その後 InP 化合物が使われる ようになった事は画期的であったが、その元はこのリン/錫合 金の成功経験が土台になっている。 塚本達の成功は多くの 技術者の努力が含まれている。

## 9. 東通工のトランジスタラジオの躍進と次の戦略

エミッタにリンをドープ(導入)することによる東通工のグロン型トランジスタは猛烈な躍進を見せた。今まで殆ど 2%程度、或いはそれ以下だった高周波トランジスタの歩留まりが一気に数十%に達し、更に改善が進行した。90%を超えたと言われる。トランジスタの原価は低減し、生産量は一気に拡大した。会社は生産量をさらに伸ばすべく、設備を増設し、作業員を更に雇い 2 交代制で生産量を拡大した。それに加えて、短波のトランジスタもこれで生産した。こうして1957年8月には世界初の中短波2バンドトランジスタラジオ TR62を発売した。これは2T7トランジスタの高周波特性を生かしたラジオであった。同年11月にはTR63型という小形ラジオをアメリカに大量空輸し、一大好評を博した。会社は次々と新商品を開発して世に送り出した。

世界の各社はラジオ用高周波トランジスタの生産に苦しんでいたが、合金型 drift transistor は 1956 年RCA が初めて商品化した。日本でも RCA に指導を受けて開発生産が始まったが、その生産は本格的には 1957 年頃からであった。

その頃の状況を述べれば、東芝は 1952 年に RCA と技 術援助契約を、また 1954 年には Western Electric 社と特 許契約を結んで、1956年にはトランジスタの量産に着手し た。こうして東芝は 1957 年トランジスタラジオの生産を始 め、1958年に2バンドトランジスタラジオを発売している。 西嶋輝行は1957年11月トランジスタ工場長になってドリフ トトランジスタを始めたが、歩留まりは 2%で 1958 年春でも 歩留まりは零に近かったという。こうして東芝は1958年2バ ンドトランジスタラジオを発売している。 日立は 1951 年から トランジスタの研究を開始し、1952年にはRCAと技術援助 契約を結び、1955年からトランジスタの量産を始めた。そし て 1957 年からドリフトトランジスタの開発を始めたが、歩留 まりは悲惨な状況であったと当時の武蔵工場長であった佐 藤興吾は述べている。 NEC は早くも 1949 年に研究を始め ている(長船)。しかし、RCA、GE と技術援助契約を結んだ のは 1958 年で、同年トランジスタ工場を建設している。こう して1958年末までには神戸工業、東芝、日立、日本電気、 富士通、などが Western Electric 社と基本特許契約を交わ し、RCA、GE から合金型トランジスタの特許を買った。明 けて 1959 年には三菱電機、日本無線、三洋電機が参入し た。

1955 年にトランジスタラジオを販売し、ラジオ用高周波トランジスタで苦戦した東通工は他の会社に対してトランジスタラジオでは 2 年程度のリードをしている事が分かる。2T7型の量産を始めた 1957 年は日本のどこでも生産性を含めてそれに匹敵するトランジスタは出来ていなかった。1958

年でもドリフトトランジスタはまだ歩留まりなどで苦労している時であった。東通工のグロン型高周波トランジスタはその時圧倒的な歩留まりで量産していたのである。この開発は後に塚本によってベルには報告されたが、一般には発表しなかった。このトランジスタ(2T7 と命名)があってこの会社はトランジスタラジオで実質的に世界の先頭を切ることができた。岩間がグロン型を選んだことの優位さがこれによって発揮された。

TI は同じトランジスタを生産して同じ問題を抱え、遂に生産を中止した。東通工はどうしてこの問題を解決できたのだろうか。解決に至るまで多くの社員が悩み苦しんできた。それでもこれを改善しなければ先へ進めないという意識を共有して改善開発に当ってきた精神が TI と違っていたという事が出来るのではないだろうか。ベル研究所でも出来なかった事である。それは問題意識の持ち方にも違いがあったからかもしれない。ベルではラジオを作ることが目標であったわけではない。スイッチとしての多くの用途が当面の目標だったからである。切羽詰まって行動を起こした東通工は、やはりこの改善を成し遂げなければ会社の将来は無いという現実を皆で共有出来たことが大きな要因であったであろう。もしこのリンを使う技術が発明されていなければ歴史は変わったものになったかもしれない。

東通工は更にグロンで究極的ともいえる 高周波トランジスタも開発した。岩田は メルトディヒュージョンという方法で 100 メガヘルツにも上る高周波特性を誇るトランジスタを開発し量産化した(2T20 型、1958 年 1 月試作完)。これは P型ゲルマニューム基板結晶上に N型および P型の両不純物を含むゲルマニュームの粉末を乗せ、一気に表面を加熱して表面だけ溶融し、一気に冷却するものである。 P及び Nの不純物の拡散速度の違いを利用し、僅かの時間内にトランジスタの構造を決定する神業的トランジスタであった。 歩留まりは悪かったがソニー(1958 年から東京通信工業は社名をソニーとした)はこれで 1958 年 11 月には世界最初のFMラジオTFM151 を発売した。このトランジスタの改良型はその後のトランジスタ TV の音声中間周波増幅などに利用された。

しかし、この 2T7 型トランジスタはソニー躍進の原動力になったとも言えるであろう。他の各社が取り組んだ drift transistor はトランジスタラジオの一時代を飾るトランジスタであったが、RCA の指導に従った日本の各社は当然 RCA より後に量産を始めることになった。東通工(ソニー)はだめだと言われたグロン型でラジオの商売を始めて、ベル研究所に言われた困難を克服して他社を大きくリードした。ここにこの歴史的価値を再確認し、担当したエンジニア達の努力を高く評価したいと思うのである。このためにソニーは次の大きな発展を進めることができたのである。これによって同時に日本の半導体エレクトロニクスを牽引した。

その後、このゲルマニュームトランジスタは更に優れたシリコンのトランジスタにその役割を譲ることになった。グロント

ランジスタの運命もまた同じである。ソニーはそれでも長くゲルマニュームトランジスタを使い続けた。

井深はトランジスタラジオの開発を始めて間もなく、まだ その発売に至る前から次はトランジスタテレビをやろうと密 かに考えていた。トランジスタラジオが成功すればその小形 化、高信頼性化などの従来にない特徴をトランジスタテレビ にも持たせることができるだろうと考えていた。1956 年、井 深はトランジスタテレビのために次はシリコンをやることに意 を固めていた。当然岩間の意見が入っていたであろう。こう してこの時期、他社がトランジスタラジオで苦戦している時、 次の作戦の手を打っていた。1956年中ごろ、チッソ株式会 社社長、白石氏にシリコン結晶の商品化を提案している。社 内でも岩間はシリコン開発のための作戦を始めていた。シリ コン単結晶引き上げ装置の開発である。その年の春、今度は 新人設計者、前川貢に設計製作を命じた。こうして会社は今 の課題を進めながら、次の商品開発にかかっていたのであ る。井深が愛用した言葉「鍬を手にして夢見る人」(リリエンソ ール)とはこういう事(人)を言うのではないだろうか。 時代はこ うして真空管エレクトロニクスから半導体エレクトロニクスに急 速に移行していった。この歴史の変換点の実情と関係した 人々の努力の跡を記憶に残したいと思うものである。

#### 参考文献

- 1. 「源流」ソニー創立 40 周年記念、ソニー発行 1986 年 2 「電子立国日本の自叙伝(F)(由)(相田洋著 NHK 1991
- 2. 「電子立国日本の自叙伝(上)(中)」相田洋著、NHK, 1991 年
- 3. 「ソニーを創ったもう一人の男」大朏博善著、ワック株式会社、2006 年
- 4. 「ラジオ用ゲルマニュームグロン型高周波トランジスタの開発」
- 木内賢(ソニー学園湘北短大名誉教授、元ソニー)著、半 導体シニア協会ニューズレターNo.63('09 年 7 月)
- 5. 「ソニーにおける初期のシリコントランジスタ」川名喜 之著 技術史、 第1号、2000年
- 6. "Crystal Fire" Michael Riordan & Lillian Hoddeson, Norton, 1997
- 7. 「日本半導体半世紀」 志村幸雄著 ダイヤモンド社、1999 年
- 8. 「ラジオ目的志向で成功したソニーのトランジスタラジオ開発(2)」 鹿井信雄著(ソニー、元副社長)、半導体シニア協会ニューズレターNo.49(7年1月)
- 9. "Transistor Technology" Vol. I BTL,1952(original version)
- 10. 「エサキダイオード発見の裏話」塚本哲男、電子情報学会誌 Vol.20, No.10, p977-980, 1987 年 10 月
- 11. SONY History

http://www.sony.co.jp/SonyInfo/CorporateInfo/History/SonyHistory/