

ラジオ目的志向に絞って成功した ソニーのトランジスタ開発(1)

鹿井信雄(ソニー㈱ 元副社長)



プロローグ

ソニー㈱におけるトランジスタ開発の成功は、そもそも、他の大手電気・通信各社が戦後の神武景気で真空管の機器需要が急増する環境下、その置換え可能性を持つ将来のデバイスとしてトランジスタを研究したのに比較して、その目的が次世代の「電池式携帯ラジオの実現」に絞られた強力なオブジェクト設定の違いが、研究開発面で他社をリードし成功した要因だと私は考えている。

その当時、トランジスタ、及びラジオの開発推進の指揮の中枢にあたられた方々は、今や殆どの方が他界されている。従って記録を辿り、想像を交えて当時のラジオ開発の事始ストーリーを述べてみたい。

井深、盛田、岩間の縁結びはラジオだった

創業者の井深 大は終戦の2ヶ月後に早々と前身である東京通信研究所(’45年10月)を開所する。

創業当初は戦後でラジオとレコードしか娯楽が無い時代、まず所員が食べる為に中波ラジオの修理や短波ラジオへの改造などで研究所の生計を立てていた。偶々、名古屋の自宅で朝日新聞のコラム「青鉛筆」に載った戦時中に知合い敬愛する井深の記事を盛田昭夫が見て、東京に馳せ参じ’46年5月に東京通信工業㈱を設立する。

その1ヶ月後、盛田と兄弟同様に下宿時代を育った岩間和夫(後に半導体部門の総帥となる)が会社にジョインし、トランジスタ開発の主導者となった3人の立役者がひとつに揃うことになる。

井深は学生時代から発明家で知られ、元アマチュア無線家で技術にも詳しく、社内にはアマ無線家が多士済々で会社の立ち上げに参画しており、ラジオの新技術には強いアマチュア地盤ができていた。

ラジオをやろうと井深がターゲットを絞った

井深は’46年ベル研による最初の点接触型トランジスタ発明の当時には、昔使った鉱石ラジオの不安定さの経験から、これは実用には難しいとして「これの

将来性はないな」と云ったといわれる。

’48年末に至り、ショックレーによるジャンクション(接合型)トランジスタ発明の発表がある。

井深はこのベル研の接合型・トランジスタに強く興味を持った。そして、漸く市販品化の見てきたテープレコーダーの市場調査の為’52年米国に出張した際、いち早く特許有料公開の情報を人伝てに聞き知人に交渉を委託して帰国する。

その後、’52年4月、ベル研がWE㈱を通じ特許権を有料許諾してもよいという正式発表があり、盛田は米国の山田道志に頼み具体的なコンタクトの方法を託す。その結果として、ライセンス許諾の正式な文書回答をえて、自身で’53年8月に渡米、WE(社)に出向き仮契約書にサインをする。

仮契約が成立すると、岩間は井深、盛田と相談し、これまでの製造担当取締役の任を辞し半導体事業開発のプロジェクト担当取締役を志願し、岩田、塚本(理)、天谷(化)、茜部(機)、安田(電)等5人をプロジェクト・メンバーに任命し、早速、原理書である「Electrons and Holes in Semiconductors」と盛田が仮契約の際手にして戻ったベル研提供の3冊の「Transistor Technology」を輪読会形式で精読し、持てる技術で実験、追試をスタートする。

初期の実験の進行は暗中模索、苦難の連続だった。

盛田はその後、欧州を含め3ヶ月の海外視察から帰って井深に他社事情を報告し相談した時、井深は、補聴器などねらわず、“例え難しくてもラジオを狙ってトランジスタをやろう”と決断を下した。

次の難関は当時の通産省の許可をとり2万5千ドル(当時約9百万円)の外貨枠を獲得する事にある。

日本の大手電気・通信各社がアンブレラ許諾契約を進める中、辛うじて特許使用許諾契約のみの外貨枠の許可まで漕ぎ付け、’54年初頭に、正式にWE(社)とのライセンス契約(1月1日)が成立する。

岩間は間髪を入れず、’54年1月末に渡米、3ヶ月に亘り米国に滞在し、WE(社)傘下の各工場やベル研を訪問し幾度となく作業現場や研究現場を見学する。

訪問先では写真撮影もメモも許されない。その折の見聞レポートは、説明を聞き見学と質問のみの中で、宿に帰ってから記憶を辿り絵入りで書かれたもので実に詳細に亘り、日本のチームメンバーにはこの情報が大いに役立った。(図1)



図1 送り続けられた岩間レポート

この時の岩間レポートは最初の出張で75ページにも亘り、今でもその内容のもの凄さが長く語りつがれている。(岩間はその後4回に亘って米国を訪問し全部で256頁の報告がなされている。)

日本のチームもよく頑張った。

3ヶ月に亘る渡米を終え、4月に岩間が帰国した時、迎えに来た日本のプロジェクト・チームのメンバーは、自分たちの手に成る接合トランジスタの試作品を手にして迎えに行ったといわれる。

最初のラジオ試作品 SR - 1

岩間等はこの第1回のWE(社)訪問で米国滞在中、見学勉強とレポートに力を注ぐ一方、チームの要請で製造装置の重要機材やラジオ試作用の部品集め等にも八方手を尽した。

その甲斐あって各種のトランジスタの試作も急速に進行し、'54年4月にはバラックのラジオが鳴り、7月には写真のようなラジオの試作第1号モックアップ機を完成させている。(図2)

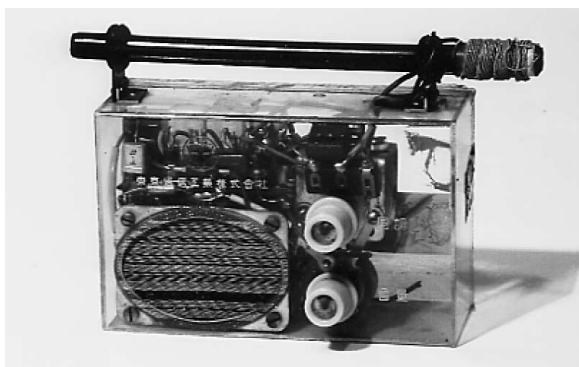


図2 試作TRモックアップ・ラジオ

高周波回路の一部に点接触トランジスタ、低周波用にはGe(ゲルマニウム)P-N-P接合型トランジスタとの混用で、受信感度は5mV/m程度の性能だった。電気系は安田が、メカと組立系は木原、が担当し、他にも2石~10石の何機種かの試作シャーシが造られ実験された。

P-N-Pアロイ型(後に2T-1型シリーズ)トランジスタでは、ベース入力時の増幅度の β カットオフ周波数が精々150KHz程度と大変低く、高周波増幅回路への使用は無理であった。

従って、当初の試作では中間周波増幅器やコンバーター用には点接触型が使われた。しかし、動作が不安定で、ラジオの高周波増幅用接合型トランジスタの開発が、早い時期から開発課題となっていた。

不可欠だったグロン型トランジスタの開発

岩間はトランジスタの開発当初は接合型に集中しグロン型はやるべきではないとしていたが接合型では高周波増幅用にまで到達しない。AMラジオ領域まで発振し中間周波域でも相応の利得が取れるトランジスタが欲しい。

当時、TI(社)は周波数特性を向上させるべく、主キャリアのモビリティの高いN-P-N型で、結晶成長型(グロン型)の製法の研究開発にいち早く着手していた。(図3)

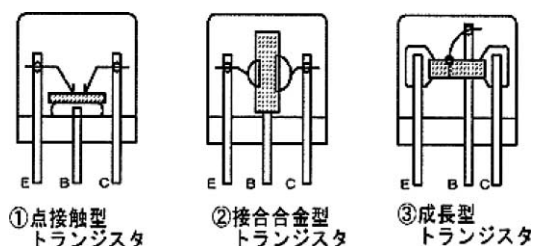


図3 Geトランジスタ構造模型図

これはN型のSb(アンチモン)ドーブの単結晶引き上げ中にP型形成不純物のGa(ガリウム)をドーブしベース領域を形成し、さらにSbをハイドロープしてN型のエミッタ領域を造る製法である。

高周波特性に強く関与するベース域の幅を数ミクロン程度に狭くでき、且つ、一度結晶の引上げに成功すると数百本のエレメントが採れる一見量産向きの手法でもある。

然し実際にはベース域からエミッタ域を引上げるSbのハイドロープ時の条件が難しくなかなか半行で均

一にはできない。初期には歩留まり確保に苦慮するが、要は、如何に結晶上げ機の温度管理と機械精度を上げ歩留りを上げられるかに大きい課題があり、これをクリアしても、更にアロイ型に比べて巾の狭いベース部への電極のボンディングが難しく組立員の熟練が必要である。正に苦闘の連続だった

’55年初頭には歩留向上とバラツキに問題はあったが製品化に成功し製品は2T-5型と命名された。

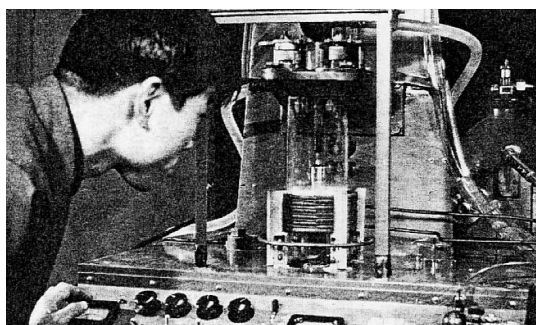


図4 自社開発の単結晶上げ装置

トランジスタとゲルマニウム・ダイオードを発売

高周波用トランジスタに凡その目処をつけ、’54年10月東京會館でトランジスタ完成披露会を開き、’54年11月、東通工は半導体の応用技術を広げる為に、世界に先駆けて他業界向けに、より完成度の高いGe点接触ダイオード1T2シリーズと、低周波増幅用Ge接合型型トランジスタ2T-2シリーズの発売を始め、続いて点接触型トランジスタとフォトリソトランジスタを発売する。発売価格は2T1シリーズのP-N-P接合型で2000円～3500円であった。(当時の大卒初任給は約10,000円)



① 世界最初のトランジスタ発売カタログ



②裏面 価格表

図5 世界最初のトランジスタ発売カタログ 裏面価格表

Regency (社)

TR-1型ポケットブルラジオの発表・発売さる’54年12月、リージェンシー(社)から突然4石トランジスタ・ラジオ発売が発表される。

米国のTI(社)とIDEA(Industrial Development Engineering Association)の開発設計協力によって、同年7月頃より極秘裡に進められたプロジェクトで、“Regency”ブランドでTR-1がクリスマスを狙って発表され、NYのLiberty MusicではWorld's Smallest Radioとして\$49.95で売り出された。

N-P-N型のグロン型トランジスタを使用し4石構成で米軍で使われていた015N型の積層22.5V乾電池を電源とし、使用寿命は凡そ1時間ほど、感度も低く実用にはほど遠い。(結果的に総生産台数は10万台位で中止となった。)

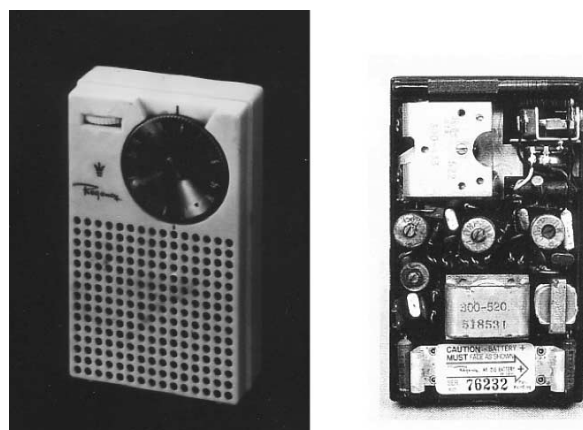
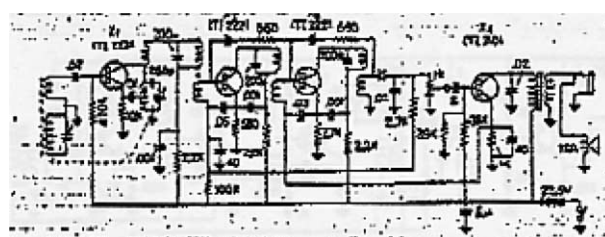


図6 リージェンシーTR-1型ラジオ



リージェンシーTR-1回路図

然しラジオの開発チームは夢に画いた“世界最初のトランジスタ・ラジオ”発売の先を越された事に地団駄を踏んで口惜しがった。

以降、トランジスタラジオの開発は後編(1月掲載予定)に記述する。

ラジオ目的志向で成功した ソニーのトランジスタ開発(2)

鹿井信雄(ソニー㈱ 元副社長)



前回のあらすじ

ソニーはWH(社)と'53年8月に特許仮契約後、自力でトランジスタの製造開発を進め'54年半ばには試作ラジオを完成し製品設計に入っていた。その12月、米国でTRラジオが発売され“World First”の名を奪われ、設計陣は地団駄を踏んで口惜しがった。

生みの苦しみ、ポケットブルTR-52の設計 と小型部品の開発

リージェンシー社TR-1の発表で、関係者は愕然としたが、安田、木原は急遽、かねて手がけていた5石の試作機に設計ターゲットを絞り、ポケットブル型TR-52の商品化を進行する。

ラジオの設計に当たっての問題はラジオ用トランジスタの開発も重要な課題であるが、携帯ラジオ用小型部品の開発なしには小型ラジオは実現し得ない。

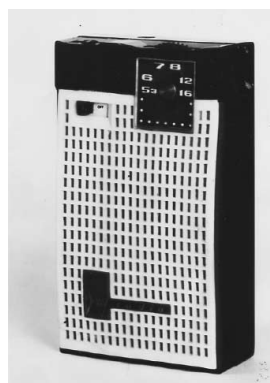
当時、真空管セットが全盛時代でポケットブル・トランジスタ・ラジオ向の小型部品を市場から求めるのは至難な技であった。井深や盛田はこの部品の製造に関連メーカーを訪問し協力依頼に奔走した。

小型携帯化には、先ずIFT(中間周波トランス)の小型化や、又、フェライトバ - ・アンテナの研究開発も必須である。幸い、粉体磁気テープの生産を担当した仙台工場はフェライトの研究で消去ヘッドや通信用壺型コイルを研究していて超小型IFTやアンテナ開発の力になった。これらのフェライト使用

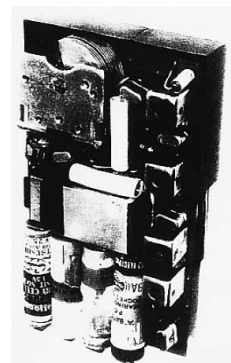
部品の高周波コイル開発プロジェクトは自社の仙台工場に進められ北村と杉本が担当した。(図7-)

汎用部品でも、すべて小型化が求められ、高周波回路バイパス用の小型コンデンサーには、KCKのチタン酸バリュームのセラミックコンが開発され採用し、又、温度特性が求められるIF同調回路用の200pFクラスは熱には弱い小型の富士通のポリスチロール・コンデンサーが採用された。(図7-)

抵抗も耐熱加工には弱かったが止む無く小型の多摩電気製1/8W型ソリッド抵抗が採用された。



外観形状図



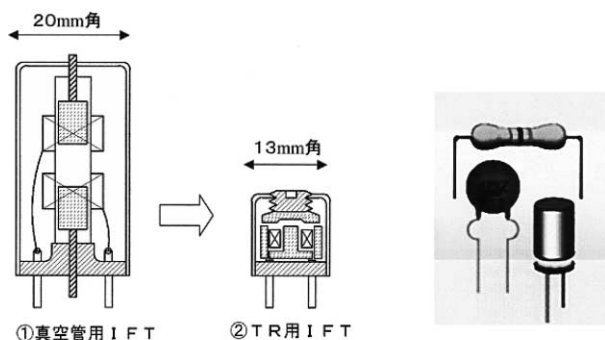
内部配置図

図8 幻となったソニーのTR-52型ラジオ

更なる悩みは容量の大きいケミコンである。トランジスタは内部インピーダンスが低くバイパスコンには数 μ Fの容量が要る。この低電圧小型化には日本ケミコンやエルナーがチャレンジしてくれた。

もう一方の大きな課題はバリコンであった、当時ミツミ電機のポリバリコンはほんの初期のもので実用にはならなかった。従ってエヤバリコンのスペーサーを薄くして容量を増やし、菊名製作所とアルプスに依頼して真空管ラジオ用の数分の1の大きさで波長対数型の小型エヤバリコンを開発して貰った。

音声回路部品もトランスの鉄心にはパーマロイの小型のものを開発、藤木製作と田村製作が担当し、スピーカーには音質を考え、ダイナミック型を採用、アシダ、フォスター製を採用した。



①真空管用IFT ②TR用IFT

中間周波トランスの小型化

電気部品の小型化

図7 TR用小型部品の開発

一方、回路配線のプリント配線基板の開発は日本では始まったばかりで、半田付け時の温度に弱かったが、住友ベークライトのものを銘板屋さんに持ち込んでエッチング処理して貰い使用された。

[TR-52 (俗称 国連ビル) は生産中止へ]

TR-52型ラジオの試作完成はリージェンシイ社に1ヶ月遅れ、'55年1月末にはデザインもブラシアップされて金型試作を完了した。筐体にはチャレンジとして当時まだ新しい材料のポリスチレンを使用、フロントのポリアセタールの格子部との溶着組み合わせで構成し、量産を考え日本では経験の浅いインジェクション・モールドが筐体材料として採用された。

3月には量産試作ステップに入る。そして問題は組配から始まった。プリント配線基板でディップソルダーを採用すると、殆どの電気部品が240 近い半田の温度に弱く、部品がリード線を通した熱で溶け不安定になるという問題が起こる。やむを得ず、量産試作組立は手ハンダに戻さざるをえなかった。

更に、日本製基板の銅箔接着強度が米国製に比べ約1/10と弱く、半田の熱ではげて修理がきかない。その上に、筐体部とグリル部の材料の温度膨張係数の違いで、車中では太陽熱で筐体が変形してしまう事がわかり、実用にならなかった。

デザインに止まらず当時の組配手組み時代下にはすべてが新しいチャレンジだった。

結果的にTR-52は生産を断念し基本構造から設計をやり直すことにする。しかし、これ等の体験と決断が将来のモデルの設計をより実際的なものにする大きなステップになったと私は思っている。

“ 日本最初のTR ” へ向けてTR-55の設計

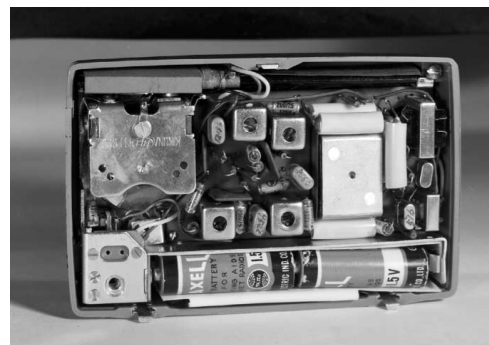
'55年4月、安田を中心に新たにラジオ設計課が編成され、私は転籍入社直後このメンバーに加わる。

回路基礎構成はTR-52で殆ど固まっている。開発の木原はTR-52の失敗の経験を基に、受信性能向上を狙いパーアンテナ長を増やすことを決め、少し大きくはなるが実用性に重点を置き構型とした。

キャビネットには耐衝撃性を考慮しゴムを混成したハイインパクト・スチロールを用い耐衝撃性をあげスピーカー・グリルにははじめてアルミのパンチング・メタルを使い、TR-52で開発された電気部品にも更に改善を加え、特に、配線基板は耐熱接着強度の強い米国のRubber & Asbestos Coのものを輸入して使う事とした。



外観形状図



内部配置図

図9 日本最初のソニーTR-55型トランジスタ・ラジオ

(この事が、後に接着材付銅箔の輸入業に発展しソニー・ケミカル㈱となり、その後、日本のプリント基板工業界の技術向上のお役にも立った。)

一方、トランジスタ生産領域では、グロン型トランジスタ2T5型の α (増幅度)とカットオフ周波数のバラツキをどのように回路的にカバーするかが最大の焦点となった。従って諸特性を計測分類後、 α カットオフ周波数で選別し、その後標準発振コイルを使いトランジスタを選別区分し、2T-51として、他のものをIF増幅用に2T52として使用した。

又、世界中で手に入り易い、単3×4本6Vの低電圧で十分なゲインと安定な回路を構成したい事もあり、N-P-NとP-N-Pが直流的には直結で負帰還が掛るダーリントン回路で、交流的に増幅器としては2段アンプに働く回路構成(特許)をつくり、5石の回路構成とし直流安定度を確保しつつ十分なゲインと無歪最大出力10mW以上を確保することが出来た。

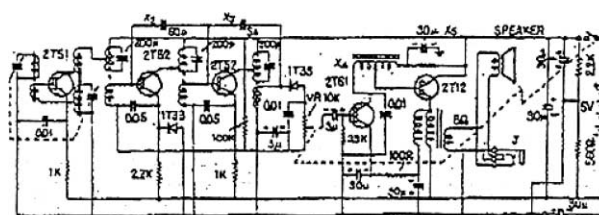


図10 TR-55型ラジオ回路図

TR-55の発表会は'55年8月20日東京八重洲口前の東京観光会館で開かれ、大勢の報道記者が参加した。

9月末になり国内市場では発売価格18,900円で売り出された。東京の銀座の井上ラジオや三越では連日行列が出来るほどだった。

TR-72の設計発売とその反響

一方、家庭向けに高級ハンディ型のトランジスタラジオには電池で1年間くらい使用できるものが企画され、単1電池3本の4.5Vで、櫻材の高級塗仕上げ木箱を使ったデザインのTR-72を開発し、'55年12月に¥23,900で発売し、ホーム用ハンディ型として国内需要のみならず海外輸出用としても大好評を得た。

この機種は低周波3段アンプ、B級プッシュプルで6"×4"の高効率の楕円スピーカーを使い無歪定格50mW出力で、18cmのフェライト棒アンテナを使い感度も200 μ V/mと家庭用にも十分実用になり、遠く電源の無い海外まで輸出された。例えばフィリピンの当時のマグサイサイ大統領が無数の島からなるフィリピンに相応しい文明文化の利器だとノックダウン組立の技術導入をする、など国策でキット輸出までおこなわれた。

この機種でのトランジスタ利用上の課題は終段のB級パワープッシュプル回路で出力を大きくするとコレクター損失が大きくなり、トランジスタの温度上昇でランアウェイ現象を生じる事があり、ベースの直流バイアス回路にはバリスタを入れ電圧安定化を図りそれを防ぐ対策がとられた。



図11 家庭向けTR-72型ハンディ・ラジオ

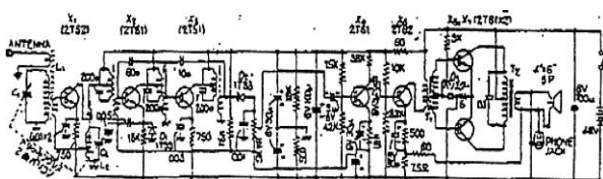


図12 TR-72型ラジオ回路図

世界最小のポケットブルラジオに挑むTR-63
リーゼンシイ社TR-1に対抗する世界最小最軽量
の実用ポケットブルラジオへの挑戦も続けられた。

この段階では漸くミツミ製のポリバリコンが戦列に加わり、新型積層電池の006P（9V）を採用、'57年3月かねて念願の縦型ポケットブルラジオTR-63が完成発売される。TR-1よりひと回り小さい世界最小、最軽量のラジオ実現を達成した。

このTR-63型ラジオは日本のみならず米国でも39.95\$で発売され、'57年暮のクリスマス時には大人気を博し、大手販売店では倉庫から4000台も盗まれたり空輸で商品を運ぶなどトランジスタラジオのソニーの名を大きく前進させた。

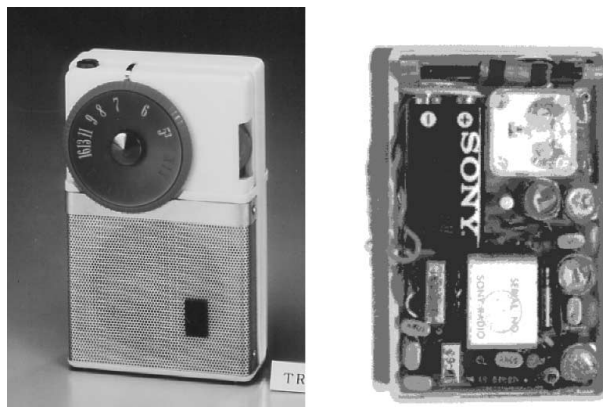


図13 当時世界最小のTR-63型ポケットブル・ラジオ

その年の暮、銀座の数寄屋橋に初めてのネオンが
灯り、翌年1月会社名を東通工からソニーに変えた。

リンをドーブした2T7型Trの開発と 短波ラジオTR-74

ポケットブルラジオの次の課題は一般海外向けに使える短波ラジオを如何に実現できるかである。

その為にはグロン型トランジスタの短波域までの高周波特性向上改善が不可欠である。

然しベース幅を数ミクロン以下に狭くしようとすると、Sbでのエミッタ・ドーピング方式では拡散係数が高く引上げる単結晶のベース巾の均一性を保てず結晶歩留りに問題が起きてしまう。

メンバーの塚本は'56年頃にはグロンN-P-Nトランジスタの歩留りとベース巾コントロールにN型ドーパ材としてRCAが前に捨てていたP(リン)をSbの代わりに使用する事を考える。Pはそのままではドーパ出来ないのでSn(錫)の玉にPを含ませてドーパし、より薄いベース領域のグロン型の結晶引上げと

歩留り改善に成功して、漸く短波域まで特性の伸びる結晶製法を完成する。(PはSbに比べ拡散係数が2桁も少なく制御し易いことが後に判明する)

然し、今度は増幅度の向上からPのハイドロプによるB-E間の濃度差を上げると成長結晶の測定では素晴らしい特性を示すのだが負性抵抗現象が生じて、ベース巾より遥かに太い線材を使って行うベースボンディングがうまくいかない。失敗の連続だった。

(このハイドロプの結果生じる負性抵抗がトンネル効果現象として理論説明され、後にエサキダイオードとして江崎博士のノーベル賞受賞となる。)

要は、リンの投入量をより少なくしてN-P-N接合を形成する為、如何に結晶引上げ機の温度管理と機械精度を上げ、歩留りを上げられるかに大きい課題があり、もう一方で、狭いB部分に相対的に大変太いリードを使うボンディングが難しく、ずれがあってもBとCにかかりE-B-Cの全体に跨らないボンドを出来るよう組立員の熟練が必要であった。

試行錯誤の結果、困難を乗り越え組立て歩留まり向上に成功する。このトランジスタは2T7型と呼ばれその後30MHz帯までの短波受信回路の実現を可能にした。

2T-7型を使って本格的な2バンド短波受信機 TR-74



図14 TR-74型2B短波付きラジオ



図15 TR-741型3B短波付きラジオ

(単1×4本：6V)が発売されたのは'58年12月で最初は国内向けに¥21,900で売出されたが、程なく'59年1月にはBC帯と3-9、9-28MHz帯のSW2バンドをカバーする3バンドのTR-741が輸出用に¥19,500で発売され、特に中近東の中短波放送圏で大きく人気を博した。

この度、半導体シニア協会のご要望で、ソニーのゲルマニウムTr時代の短波領域までの「トランジスタ・ラジオ事始め」物語を綴らせていただいた。

その後、'59年代ソニーのFMラジオではエサキダイオードを使った試作も行われたが、'60年に入るとトランジスタはメサ型の時代に入り、実用化設計ではGeメサ型トランジスタの開発で量産が実現され、更にテレビの開発では高周波特性と耐圧特性に優れた、Si(シリコン)メサ型開発の時代に突入する。

エピソード

このソニーのトランジスタ・ラジオ開発時代、有名な評論家の大宅壮一氏は「ソニーはモルモット」論を展開し、他大手メーカーによるアンブレラ方式の新技术導入、商品開発事業化の動きと比較し、ソニーによる新技术産業開発のマネジメント手段の違いで大きな話題となった。

岩間はその後社長就任するが「Research makes the Difference」をミッションとして、半導体分野では、映像カメラ用のCCDの開発を手掛けるが完成を見ず他界した。

しかしその意志を引き継いだチームが間もなくCCDを完成させ、他メーカーとの大きな技術差異化に成功しソニーは映像技術分野でも大きく飛躍した。

今、岩間の墓標には臥薪嘗胆、長年をかけて研究、完成したCCDの第1号製品が貼付けられている。

(参考資料)

「ソニーを創ったもう一人の男 岩間和夫」

大拙博善著 WAC(社)

「産業技術の歴史に関する調査研究報告書」

日機連10高度化-33-1 (社)研究産業協会

「トランジスタ・ラジオの開発」鹿井信雄編

ソニーのHPから「ソニーの歴史」欄：

<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/CorporateInfo/History/SonyHistory/1-07.html>

「ソニー自叙伝」

ソニー広報センター著

WAC社出版部