

Ge トランジスタの開発

浅川 俊文

(NTT 通研 OB、A. S. K 株式会社 代表取締役)



1. トランジスタ

トランジスタは米国のベル研で開発され、昭和23年(1948年)のフィジカル・レビューにその特性が発表されましたが、その詳細はまったく不明で、同年BSTJ(Bell System Technical Journal)にショックレーの接合型トランジスタの論文も発表されました。恐らく特許の関係でその製作方法の詳細は発表されませんでした。フィジカル・レビューの論文には、点接触型トランジスタに使用した電極材料の発表等はされませんでしたので、日本での追試実験は困難をきわめました。

2. 追試実験に疲れ果て

私は昭和25年(1950年)にNTTの通研に入りトランジスタの研究プロジェクトに配属され、早速点接触型トランジスタの製作を始めました。GeはSylvaniaの1N34 diodeを分解し、2×2mmの結晶を取り出してこの上にタングステン線(W線)を2本立てて実験をしました。直属の上司は後に三洋電機の専務になられました岩瀬新午さんでした。1ヶ月ほど毎日実験をしましたが旨く行かないので疲れてしまい、帰省し静養することになりました。

その間、岩瀬さんが実験をされたのですが、自宅に岩瀬さんから、増幅作用が観測されたとの電話があり、秋の物理学会に発表するとのことでした。実験の方法を聞きまして、すべて君が作ってくれた装置や治具を使用したが、さすがに浅川君の作ってくれた装置はみな順調に動作したとのことでした。

3. 乱暴な実験が結果として成功へ

早速上京し、実験を見に行きました。電極材料はタングステン線をKOHの溶液で電解研磨し先端を尖らすのですが、陰極には銅(Cu)のガーゼを使用していました。タングステン線はニッパーで切断しますとタングステン線に沿って縦の罅が多数走りますので、切断部から1cm位を電解研磨で除去して先端を尖らしていましたが、岩瀬さんはニッパーで切断したままで先端を尖らし、研磨後も純水での超音波洗浄もせずにその

まま実験に使用していました。乱暴な実験をするなあと思っていましたが、これが良かったようです。タングステン線の縦罅の部分にCu(OH)₂が残り、フォーミングの際にこのCuがGeの中に入り、エミッタ、コレクタの直下にp型の部分ができるので正孔の注入が行われトランジスタ作用が行われるようになったようです。

私は電解研磨後、逆に電圧をかけて薄くCuを鍍金するようにしましたが、これでも旨く行きました。

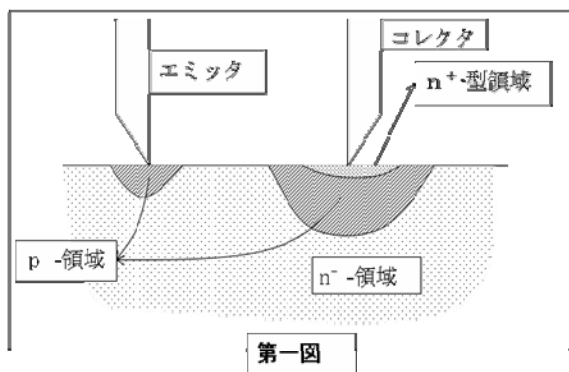
それから6ヵ月後にベル研からトランジスタのサンプルが入って来ましたので調べて見ましたら、電極材料は燐青銅を使用していました。これですとコレクタの下に比較的広い領域のCuによるp型領域とコレクタ直下には拡散係数の小さい隣による高濃度のn型領域ができ、npn構造が電流増幅を行いますので、低電流領域でも増幅作用が大きく、安定した三極管特性が得られるようなのです。

我々も燐青銅を使用することになりましたらベル研みのトランジスタが安定に作れるようになりました。

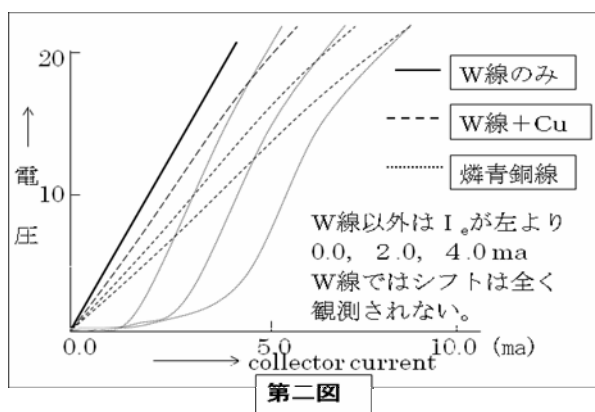
4. こんな研究所では無理と感じたが

ベル研ではショックレーの提案した接合型トランジスタの開発に全力をあげ、昭和26年(1951年)には接合型トランジスタを開発しフィジカル・レビューに発表しました。雑誌会でこの論文を紹介しましたら、今までのトランジスタとどのように違うのかと言う質問を受け、多く人が、BSTJのショックレーの論文を読んでいないことが判り驚きました。こんな研究所では半導体の研究は無理だと感じました。一方ベル研も工業所有権を守るために不完全な論文を雑誌に発表したことも問題かと思えます。また、Institute of American Physicsの審査も杜撰だと思いました。恐らくベル研も我々と同じくタングステン線に付着した銅から、燐青銅線にたどりついたのではと思います。

点接触型トランジスタとは言え、構造は第一図に示すようにれっきとしたp-n接合を使用したトランジスタです。



当時電気試験所には、菊地さんや垂井さん、渋谷さん、鳩山さんたちがおられました。私と同様な実験をしたせいか、ついぞ増幅作用には到達しなかったようで、岩瀬さんにどうしたらよいのかとしつこく聞いていました。岩瀬さんも実情はついに喋らなかつたようです。第二図にこれらの電流電圧特性を示します。



5. エサキダイオード

ソニーの江崎さんが Esaki-diode を発表されたときソニーの研究課員だった竹花さんに話を聞きましたら、当時成長型トランジスタの製作にエミッタの不純物として、燐酸カルシウムを使用しこれを坩堝に投入していたようです。この量を増やすと h_{fe} が増えるので増やしていると突然歩留まりが 0 になって大問題になったそうです。現象的にはエミッタとベースが短絡状態になったそうです。

江崎さんはこれで Esaki-diode の構想を作り工場にヘビー・ドーブの結晶を作るように要求したそうです。Ge や Si の融点では燐や砒素の蒸気圧は 10 気圧以上になるので、危険だと断ったそうですが、非常に極端な表現で作れと要求したので、大問題になったといっておりました。しかし新しいことをするときにはこのような決意が必要なのでしょう。

砒素や燐を坩堝に直接投入するとその通りですが、石英の密閉管に不純物と半導体を封入し鉄製のボン

べに密閉して加熱ヘビー・ドーブの多結晶を作り、これを通常の引き上げ装置に入れて単結晶を作りますと問題は無いと思いますので、竹花君にそう申しました。メルトの表面では不純物が蒸発し濃度は 0 に近くなりますが、内部の不純物は表面に拡散で出て行くので、この拡散速度で制限されて引き上げ装置内の不純物ガス圧が急上昇することは無い筈です。現に高濃度のエミッタ領域が作られているのですから。恐らく、ソニーさんも私の言ったような方法で結晶を作ったのだらうと思います。

6. 測定結果を信じておれば

6.1 Impurity band

その後、私と同室の棟居さんが赤外の分光器で半導体の計測をしておられましたので、江崎さんからヘビー・ドーブの結晶の吸収端を測定してくれ、吸収端は blue shift する筈だとのことで、測定を手伝いました。結果は blue shift でなく red shift でした。この測定結果を信用し解析しておれば impurity band の発見も江崎さんの成果になったのですが残念なことです。

通研の人たちも Esaki-diode はええ加減なことを言うとは非難していましたが、物理学は試行錯誤の学問ですからこんな非難はいけないと思います。

6.2 エキシトン

赤外分光器にはロックイン増幅器が使用されていますが、これに 13Hz のチューニング増幅器が内蔵されています。LC 同調回路なので、少し直流電流が流れると L の値が変わり問題なので、RC の twin-T のフィードバックチューニング増幅器に変えたらと提案したら、作ってくれとのことで製作しました。旨く動作しましたが、Ge の吸収端から長波長部分でノイズが発生すると言うことで不採用になりました。ところが、数ヵ月後にフィジカル・レビューにこの領域でエキシトンの吸収 band が観測されると発表され、雑音ではなかったことがわかりました。注意深く見ますと規則正しい間隙でピークが測定されていたので、エキシトンに間違いないと思いました。あまり観念的な判断をすると重要な発見を見逃す良い例と思います。

技術や学問の初期の段階ではこのような失敗が多いと思います。

(各図は昭和 26 年度通研技術報告書より)