



◆オーラルヒストリー*

高電子移動度トランジスタ -HEMT-の発明

三 村 高 志**

〈聞き手（インタビュアー）〉

権田 俊一 大阪大学名誉教授、大阪工業大学客員教授

松本 和彦 大阪大学教授

五明 明子 日本電気株式会社

〈編集担当・聞き手〉

浅野 種正 九州大学教授



三 村 高 志 (工学博士)

1944年 大阪府生まれ
1970年 大阪大学大学院基礎工学研究科物理系修士課程修了
1970年 富士通株式会社入社
1975年 (株)富士通研究所
1979年 HEMT を発明（特許出願）
1982年 大阪大学より工学博士学位授与
1998年 (株)富士通研究所フェロー
2006年 (独)情報通信研究機構客員研究員兼務

主な表彰と受賞年

科学技術庁長官賞受賞（1981年）、電子情報通信学会業績賞受賞（1982年）、東京理科大学伴記念賞受賞（1986年）、IEEE Morris N. Liebmann Memorial Award受賞（1990年）、発明協会恩賜発明賞受賞（1992年）、IEEE フェロー（1993年）、紫綬褒章受章（1998年）、SSDM Award受賞（1998年）、ISCS Heinrich Welker Award受賞（1998年）、電子情報通信学会フェロー（2001年）、応用物理学学会業績賞受賞（2004年）、応用物理学学会フェロー（2007年）

1. ショックレーの論文を読みなさい

権田：小・中学生のころ、三村さんはどういうことに興味をもった少年だったのでしょうか。

三村：僕は神戸出身ですが、親の実家は岡山です。小学生の夏休みのほとんどの期間をそこで過ごしていました。自然の豊かなところで、前は瀬戸内海が広がり、すぐ後ろは国定公園の山があって。僕らの小・中学生時代は今とは違って、遊びといえば昆虫と戯れたり、自然と触れ合うことしかなかった。漠然とですが、広い意味での理科を学びたいと思っていました。

権田：やはり、科学者という感じですかね。

三村：どちらかといえば、エンジニアリングにはあまり興味がなかった。手先は器用なほうではなかったし、できないと思っていた。大学も関西学院大学理学部を卒業後、修士課程は大阪大学大学院基礎工学の物理（物性研究）に進みました。

権田：大阪大学の物性ですか。それなら冷水（佐壽）さん

（現奈良高等工業専門学校校長）とご一緒ですか。三村さんの研究が飛躍するのは、冷水さんの協力があったからと伺っています。お二人の接点は大学院時代にあったのですね。

三村：そのときはまだ、フロアは違いましたし、冷水先生と出会うのは後になってからです。1970年に神戸の富士通（旧神戸工業）に入社し、配属された技術部で初めて半導体ICの原点であるpn接合と遭遇しました。p型、n型のことは知っていましたが、pn接合までは知らなかった。当時の部長は言いましたね、「（トランジスタの研究でノーベル賞を受賞した）ショックレーの論文を読みなさい」と。

読んだらとても面白かった。それがエンジニアリングに向かうことになったきっかけです。自然のものを理解しようとしか思っていなかったのが、自然には存在しないpn接合によって電流と電圧が不思議な関係をもったデバイスができる。これほど感動したことはなかったですね。

権田：今では「ショックレーの本を読め」なんて言う研究所はないでしょうね。それから5年後の1975年に富士通から富士通研究所に変わられ、そのわずか5年後に誰もできなかったデバイスを完成される。人の運命なんかわからな

*インタビュー実施日：2008年12月22日

**株式会社富士通研究所 フェロー

い見本のような人生ですね。

三村：僕もそう思います。目的を決めてこの方向へ進むという志をもってやったわけじゃないんですから。

権田：では、いよいよ核心に迫りましょう。pn接合もご存じなかった三村さんが、高速・高周波特性に優れた日本発の画期的なデバイス「HEMT」を発明されました。HEMTがどういうデバイスなのかということからお伺いしたい。まず、名前の由来から。

2. その名は「高電子移動度トランジスタ」

三村：HEMTという名前は最初に発表した論文の中で使ったものです。特に、電子の移動度が高いのが特徴なので、高電子移動度トランジスタ：HEMT (High Electron Mobility Transistor) と名づけました。

ほかにも、フランスやアメリカではTEGFET (Two-Dimensional Electron Gas FET) やSDHT (Selectively Doped Heterostructure Transistor), MODFET (Modulation Doped FET) といった名称も後になって提案されていましたが、HEMTが最も読みやすく、訳語にもしやすい。この名前にしたから身近なデバイスになったといえるのではないか。

権田：まず「名前ありき」ですね。その原理とか構造についてお聞きする前に、現在、どのようなものに使われているのですか。

三村：BS(衛星放送)を世界的に普及させる原動力になったこと、最近では、携帯電話やその基地局、GPSを利用したカーナビの受信機、自動車の衝突防止用のレーダー、広帯域無線アクセスシステムなどに使われています。

権田：IT社会を支える基盤技術として花開いているのですね。専門外の人も読まれると思いますので、原理などをできるだけやさしく。

三村：HEMTは二つ以上の元素を使用した化合物半導体デバイスの仲間。化合物半導体は高速デバイスや光デバイスを作るのに適しています。

僕がHEMTの研究を始めた当時、最も高速の化合物半導体は、GaAsを使ったMESFET(Metal Semiconductor FET)と呼ばれるもので、1966年にC. A.ミードという人が発明した。半絶縁性のGaAs基板の上に形成したn型GaAs層を電子が流れるチャネルとして使ったものです。ソースとドレイン、ゲート電極の3端子構造で、ドレイン電極に電圧をかけるとソース電極からドレイン電極に向かって電子が走ります。その電子の通路をゲート電極にかける電圧によって広げたり狭めたりして制御するものでした。

権田：その速さは。

三村：Siのバイポーラトランジスタよりもはるかに高速でしたから、1970年代にマイクロ波用の高速デバイスとしてIBMなどが非常に注目していました。1975年ごろは、TV中継器の置き換えに随分使われましたね。富士通研究所では、このデバイスをいかに高速化していくかを大きな



権田氏

研究テーマに掲げていました。そのために、三つの電極ができるだけ微細加工して抵抗を下げる研究を行うのですが、しょせん改良研究でしかなかった。

後追いの仕事では面白くないわけですよ。富士通はコンピューターの会社で、コンピューターに搭載するデバイスとして、僕は当時、GaAsのMOSFETを並行開発していました。ところが、このGaAs MOSFET開発もなかなかうまくいかない。このままではデバイス研究のチャンスを失いかねないという危機感を抱いていました。

権田：それを救ったのがHEMTですね..

3. 二次元電子ガスに着目

三村：そうです。HEMT研究のきっかけを与えてくれたのは二次元電子ガスでした。HEMTは2種類の半導体を接合した界面(ヘテロ接合界面)で形成される二次元電子ガスを電界効果によって制御するトランジスタです。具体的には、GaAsとAlGaAsを材料に使ったもので、一般的のトランジスタやGaAs MESFETと同様に三つの金属電極をもっています。そこで、各層の設計と、それを作り込む品質のよい結晶が手に入れば実現できると直感しました。

少し細かくになりますが、ポイントになるところなので説明します。HEMTは、半絶縁性のGaAs基板上に電子を走らせるGaAs層と、電子を作り出してGaAsの層に送り込むAlGaAs層を形成し、その上にゲート電極をつけます。注目してほしいのは、電子を供給するAlGaAsの層です。この層にはゲートショットキー接合による空乏層と、ヘテロ接合による空乏層が形成されます。重要なことは、これらの空乏層により電子供給層であるAlGaAs層全体を空乏化させ、ゲートからの電界効果が二次元電子ガスに及ぶようにできることに気がついたことです。電界効果によって二次元電子ガスの濃度をコントロールする。ここがHEMTのポイントです。

速度についていえば、GaAs MESFETでは、電子を作るのに必要な不純物と電子が同一空間(電子が走る通路)にいるので、電子が不純物にぶつかって、電子の移動速度が

遅くなる。ところが、HEMT のヘテロ接合界面にできる二次元電子ガスの層には不純物がないので、電子の散乱が少なく、電子は速く移動します。まさに高速性が生まれることを推測したのです。

権田：今のお話が HEMT を着想した状況ですね。このデバイス研究に向かうことになった具体的な背景については。

三村：僕としては、とにかく GaAs MESFET の改良ということだけはやりたくなかった。産業上、重要とされていても、研究テーマとしての興味はなかった。そこで、僕たちは GaAs の MOSFET という別のトランジスタにチャレンジすることになります。ところが、これが一筋縄ではいかない。電子が表面準位に捕獲されて動けなくなるという問題を解決できなかった。GaAs MOSFET への挑戦は、“論文にはなるが、モノにはならず”という結果となりました。この失敗が幸運をもたらし、僕に HEMT 行きを決定づけることとなったのです。

松本：研究は常に失敗と成功のせめぎあいですね。三村さんご自身が GaAs MOSFET にもトライされたのですか。

三村：やりましたよ。ゲート電極下の酸化膜づくりは、僕と同じ研究室の横山直樹君の 2 人で。僕たちがトライしたのは、1979 年初めごろまでの、HEMT を発明する前でした。表面準位の問題から、この研究はやめようと思って論文をまとめました。それを HEMT を発明する 1 カ月ほど前 (1979 年 6 月) に、米国で開催の DRC (デバイスリサーチコンファレンス) で発表することにしました。「これで全部やめる、われわれのテクノロジーはここまで来た」という到達レベルを示す意味でね。

DRC の会場で IBM の N. プラスローさんという方がとても高く評価してくれた。しかし、僕自身は、半分はうわの空というか、興味をまったくなくしてしまっているので、むしろ、その前年に R. ディングルさんらが行った、モジュレーション (変調) ドーピングによる研究についてどう思うかという話をしたら、彼らはノーアイデアという感じでしたね。

ディングルさんは、モジュレーションドーピングという手法を用いると、二次元電子ガス層の電子濃度と電子が移動する速さを両立できる構造を提案したことで知られるベル研究所の研究者です。後に僕らと研究交流する大切な友人の一人です。

4. HEMT 発明前夜の動き

松本：三村さんは HEMT の構造で、多層ではなく、なぜ 2 層に絞られたのですか。

三村：ディングルさんらが 1978 年に発表したのが、二次元電子ガスを多層構造で制御するものでした。翌年、同じベル研究所のステルマーさんやツイさんが、2 層でトライしています。これは論文に書いているんですが、このことを僕自身はまったく知らなかったので、GaAs と AlGaAs の 2 層を作り、そのことを特許出願原稿に書いて富士通の特



松本氏

許部に提出した。その年の 8 月です。

権田：何年の 8 月ですか。

三村：1979 年。このときすでに僕自身は、HEMT の構造まで特許にまとめ、その年の終わりには、冷水先生の協力を得て HEMT を製作し、デバイス動作に成功します。それを示すのが先に説明した HEMT のバンド構造です。特許として出願したのは、1979 年 12 月 29 日です。この前日、HEMT が動作したので、急いで出願しました。特許部がすばやく動いてくれましたね。

松本：HEMT 発明前夜、いつも研究室で半導体のバンド構造を書いておられたというエピソードが残っていますが、それがこのバンド構造ですね。

三村：そうです。なぜ 2 層に着想したかという点については、やはり GaAs MOSFET のイメージがあったと思いますね。失敗したことは忘れてても忘れない。でも、何かが残る。それは必ずしも悪いことじゃなくて、いい方向にも働く、クリエティブな発想に結びつくかもしれないといつも大事にしている。

権田：いいお話です。

三村：意識としては忘れかけたけど、無意識に思うんでしょうね。HEMT のアイデアが浮かぶときは、GaAs MOSFET のイメージはありません。お話ししましたように、このバンド構造のカギは電子供給層の厚さと空乏層の厚さとの関係にあります。半導体でありながら n 型 AlGaAs 層を絶縁体化するという着想は、たぶん、ベル研でも出てこなかった。どなたも出てこなかったと思いますね。

5. あの新聞記事は間違った !!!

松本：こうしたことを特許としてまとめられたのは、実験をやる前のことですか。アイデアの段階で…。

三村：実験を行う前です。なぜかと言うと、僕が HEMT に関する特許出願書を書いているころに、ディングルさんから GaAs MOSFET でディスカッションしたいと手紙がきたのです。そのころ、僕らは IEEE の Invited paper などを書いていましたので、GaAs MOSFET の研究分

野ではよく知られていました。ディングルさんは山田コンファレンスか何かで日本に行くので、そのとき、このデバイスについてディスカッションをしたいと言ってきた。そこで、僕は彼が泊まっているホテルに行き、一緒にタクシーで移動したことを新聞記者に話したら、「タクシーの中で、ディングルさんから HEMT のアイデアを聞いた」という、事実とは違う話になって伝わった。ディングルさんが来日して富士通を訪れたのは、1979年8月30日でしたから。

松本：新聞記事は間違いだった!! (三村さんは) すでに HEMT のアイデアをもっておられたわけですね。

三村：僕は日付を厳格に記録しているんです。証拠はこれです。手書きで「冷水・西・三村」と書いてあるでしょう。日付は1979年8月7日。ディングルさんが来日されるよりも20日以上も前です。一番下に「三村説明」と書いてありますね。新しいFETの説明、つまり、HEMTのことです。これを冷水先生たちの結晶研究グループに初めて説明したんです。

権田：いまのお話は、私たちにとっても“大発見”です!! このインタビューはすごく価値がありますね。オリジナルのアイデアがよその人から聞いたものと誤って伝わるなんて、内容を訂正しないと。

三村：当時のベル研究所の研究レベルというか、研究状況はわれわれにはよくわかっていた。だから、僕らは冷水先生とか、一緒に研究している人たちには、富士通研究所でこういうアイデアが進行中ということは絶対に言わず、緘口令を敷いていました。

松本：最初に HEMT という言葉を論文の中で使ったとおっしゃいましたが、それはいつのことですか。

三村：1980年5月のJJAPレターです。なぜJJAPレターに載せたかと言うと、IEEEのエレクトロンデバイスレターは、投稿から出版まで3カ月だったと思います。JJAPレターはそれよりも早い。2カ月だったかな。それで早いほうが多いと。

6. アマチュア的直感

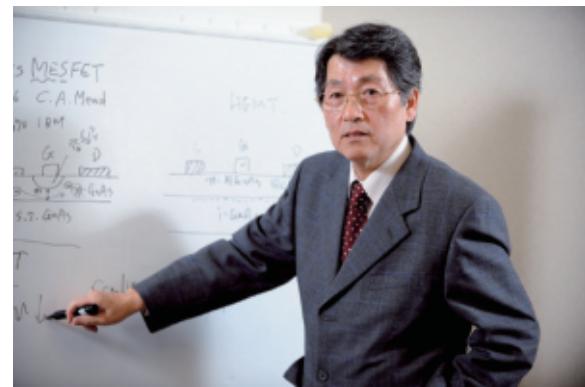
権田：HEMTをやろうと決めたのは、ひらめきですか、それとも過去の研究の蓄積、ノウハウ…。

三村：いや、アマチュア的直感です。だれも HEMT とかわからないときでしょう。だからそれ以外、表現のしようがないですね。

権田：それは、MESFETを否定することから始められたのですか。

三村：そこまでは考えていなかった。とにかく二次元電子ガスを操ると、物理的に面白いし、産業にも役に立つんじゃないかなと。そういうデバイスは、SiのMOSFETもそうだと思いますが、あまり例がない。産業的にも価値がありそうだと着手しました。今から思えば。

松本：HEMTが出たおかげで、二次元電子ガスに関する興味が世界中にわき上がって、HEMT系デバイス研究がものすごく盛んになりましたね。



HEMTについて解説してくださる三村氏

権田：そういう意味では、現在、研究の主流になってきたナノテクノロジーの先駆者といえるでしょう。

松本：確かに、2000年1月にクリントン政権がスタートしたとき、「ナショナル・ナノテクノロジー・イニシアティブ」が発表されましたね。この中で、ナノテクノロジーの成功例の一つに HEMT があげられ、ナノテク研究が世界的に注目を浴びることになったと思います。HEMT の貢献度大ではないですか。

三村：そういうえなくもありませんが、ナノのもとは、江崎玲於奈先生のスーパーラティスでしょう。先駆者はやはり江崎先生です。

7. ショックを受けたデバイス研究者たち

権田：HEMTについては、新聞発表されましたね。僕は大きなショックを受けた一人です。松本さんもそうではないですか。当時、僕は通産省工業技術院の電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）でデバイス研究を行っていましたが、「やられた」という感じがすごくあった。同じことを考えていたわけじゃなかったけど、電総研の中で次世代デバイスを考えていた連中は、そういう印象が強かったのではと思いますね。

松本：「すごいデバイスが現れた」という覚えがあります。新聞発表はたしか1980年ごろだったように記憶していますが。

三村：DRCの発表に合わせてですから、1980年6月20日です。公表したのは論文（JJAPレター）のほうが早くて、5月です。論文とDRCの発表内容は少し違っていて、論文は、二次元電子ガスを電界効果でコントロールできたことが中心でした。低温に冷やすと、モビリティーがエンハンスされますから、トランジスタの g_m （相互コンダクタンス）値がGaAs MESFETと比べて顕著に上がった。ゲート長は変わらないのに、5月にこの実験を行い、6月の発表はマイクロ波に対応できるような2μmくらいのゲート長で、マイクロ波の特性をMESFETと比較した。このときは、20%くらい（の向上）だったでしょうか。

松本：DRCで発表を聞かれた皆さん印象はいかがでしたか。

三村：ものすごかった。発表後にベル研の A. Y. チョウさん (MBE の発明者の一人) が来られて祝福してくれた。僕のすぐ後ろの席に座っていたトムソン CSF の N. T. リンさんらは、内容をみて「やられた」と渋い表情でしたね。リンさんらの HEMT は、今で言う逆 HEMT の構造で、その論文がエレクトロニクスレターに掲載されます。この年の 8 月号です。

松本：同じ DRC の年の 8 月号ですか。そうすると、三村さんの論文と比較して掲載された時期の差は。

三村：わずか 3 カ月ほど。

権田：1980 年という年は、結構重要な年ですね。

三村：僕は実は二つの特許を出している。最初のものは、電子を発生させる層と走らせる層を上下逆に配置した逆 HEMT と呼ばれるものです。先ほど触れた従来の GaAs MESFET とプロセスは何も変わらないタイプです。これは幸運にも動かなかった、2 回やったけど。プロセスのミスだったかどうかわかりませんが、MBE の性質からみて、ドーピングによって欠陥が生じたのではないかという見方でした。もう一つが通常の HEMT です。どちらの構造も冷水先生に MBE で作ってもらったエピタキシャル結晶を使った HEMT です。冷水先生の協力がなかったら、HEMT のアイデアは日の目を見なかっただでしょう。

日本では二つとも特許として取得できたのですが、アメリカへ出願したら、逆 HEMT 構造がバッティングしてしまいました。ドイツのマックスプランク研究所が数カ月早く出願していた。アメリカの特許庁は、マックスプランクは逆 HEMT を、富士通は通常の構造に特許の権利を認めました。人間が考えることは、だいたい同じことになるという例でしょうか。

権田：そうなんですね。半導体レーザーもそうです。1962 年に 3 カ所同時に出了たでしょう。HEMT の構造は、三村さんしか出せなかっただというのがすごいですね。

8. カギを握った MBE 結晶成長技術

松本：MBE による結晶成長技術をもつ冷水先生との付き合いが始まったことが、HEMT 具体化へつながったのですね。

三村：冷水先生が同じ大学院（阪大）にいたことを知ったのは、結晶を依頼するときでした。ですから、冷水さんと同じ研究室にいた西秀敏さんのほうが先生に近かった。僕は西さんに、何としても MBE による結晶が要るからと頼んだのです。

当時、MBE に注目した企業の多くが MBE の研究をスローダウンする状況にありました。「MBE は本当に役に立つの」という問い合わせ、きちんと説明できなかったからです。事実、当時産業上最も重要なデバイスであった GaAs MESFET は、MBE よりはるかにローコストのイオン注入で作られていました。

冷水先生たちの MBE グループとしては、まさに HEMT が MBE の応用という意味で最適なデバイスであ



五明氏

ると直感したのだと思います。HEMT のトライアルが MBE に残された最後のチャンスだという気持ちで頑張ってくれたのだと思っています。

五明：HEMT 誕生の裏には、冷水先生の MBE による結晶成長技術とのコラボレーションがカギを握ったことがわかりましたが、MOCVD についてはどうだったのですか。

三村：GaAs MESFET に使う MOCVD の研究者は、僕たちの研究室にいたんです。冷水先生に協力を求める前に、同じ研究室ですから、やってくれないかと言ったのですが、その当時の室長が「土日に来てやるならいい」と言われた。ちゅううちよそれで MOCVD をやっている人が躊躇しまって。

実は、当時の MOCVD の結晶は品質がまだまだの感で、ヘテロ接合を作るのはイマイチでした。MBE も表面欠陥が出やすい問題を抱えていました。実際に 1981 年から 10 年計画で始まった通産省の大型プロジェクト「スーパーコンピュータ・プロジェクト」では、大面积の HEMT LSI に使えるウエハーを得るために、MBE, MOCVD の両方とも研究に着手しました。MBE は表面欠陥の解消と大口径化を、MOCVD は新規に研究の立ち上げという方向で進められた。現在、HEMT のエピタキシャル結晶のベンダーは、国内ではほとんど 100% MOCVD、海外は MBE です。すみ分けができます。

権田：当時とは、だいぶ様子も違ってきているようですね。半導体レーザーも、日本では MBE による結晶を用いているところは少ないが、アメリカなどでは MBE ですよ。

松本：HEMT 研究にある程度の見通しがついて、正式研究として認められたのは。

三村：スタートするときは、GaAs MOSFET が名目上のテーマでした。論文発表などができるデータが出るようになって、正式に富士通の研究として認知されたのは、1980 年 4 月です。その前年に特許出願されていますので、社内的にはそこでデモができるわけです。皆さん面白いと言ってくれた。社内の評判がものすごくよかったのがラッキーでした。

9. SONY が打った驚きの中づり広告

権田：実用化への道のりですが、用途はある程度、想定されたのですか。

三村：新聞発表のときも大風呂敷を広げるだけ広げて（笑い）。マイクロ波分野、超高速コンピューターから超伝導まで、最終的にはスーパーコンピューターの心臓部でしたね。大プロにもそういう雰囲気で取り上げてもらった。

1980年のDRCでの発表後、研究部隊の一部が事業部に転籍し、HEMT実用化に弾みをつける体制ができました。研究所と事業部の間では越えがたい人間関係の壁があるのが普通ですが、HEMTではそれを突破できた。

松本：その一方で、HEMT普及を前に、世間の耳目を集め 大事件が発生したとか。

三村：あっははは。SONYさんのことを指しているのでしょうか。一般の人に はそれほど大事件とは受け取られなかったと思いますが、富士通グループの社員にとっては、それは大問題でした。

富士通では、HEMT実用化の最初のターゲットを衛星通信に置いていました。この部門も富士通のシェアは低かったので、HEMTで巻き返しを狙ったのです。ところが、思わぬところからサプライズが起きました。SONYがなんと「BS（衛星放送）の受信機にHEMTを使う」と広告を打った。それも小田急線車内の中づり広告で。SONYが仕掛けたこの広告が劇的な変化をもたらしました。

小田急線に本厚木という駅があるでしょう。南側がSONY、北側がHEMTの開発拠点であった富士通の研究所です。「SONYのHEMT」というキャッチフレーズが飛び込んできたときは、本当にびっくりしました。低雑音デバイスとして注目されていたHEMTの特徴を生かす作戦です。一般の人に、「HEMTはSONYの製品なんだ」という印象が刻まれるでしょう。となると、発明した会社としてはたまりませんね。

松本：SONYがHEMTの優秀なことを、富士通に代わって宣伝してくれたようなものでしょう。その中づり広告が出た時期はいつごろですか。

三村：はっきり覚えていないのですが、1984年か1985年ぐらいだったと思います。富士通には残念ながら家電に応用するとか、民性的なセンスはあまりなかった。その点はさすがです。SONYは特許料を払ってくれたんじゃないですかね。僕の懐には入りませんでしたが（大笑い）。その広告を富士通の半導体事業のトップが見つけて。

権田：「何だい、これは」と。

三村：事業部は慌てましたね。富士通の最初の応用は、BSショック直後から始まった電波望遠鏡に使う高感度受信機です。アメリカやオーストラリアの天文台から受注し、さらに、野辺山の国立天文台にも納入されました。遠い宇宙空間から飛んでくる電波は微弱なため、高感度、低雑音の性能をもつアンプが必要です。当時はパラメトリックアンプが使われていましたが、安定性に欠けていた。微弱電波

は1週間、150時間くらい連続して受けないとデータにならないといわれていましたので、その用途にHEMTの高性能と信頼性の高さという特徴がピタリはまったのです。1985年に野辺山に設置された高感度受信機が、その翌年に早くもタウルス分子雲から放出されたマイクロ波帯に未知の星間分子C₆Hがあることを発見した。驚くべき成果で、それ以来、HEMTは世界の電波天文台から引っ張りだこになりました。

五明：電波天文学の進歩にも貢献したのですね。新しいデバイスや製品が使われるには、それを生かす市場があるかどうかが重要です。

三村：そう思います。新しいデバイスにとって普及しやすいマーケットがあれば、ポジティブなフィードバックがかかりますので、もっとよくしよう、安くしようと材料の研究やコストダウンも進むし、テクノロジーも上がる。ほかの研究にも力を注ぐことができるという非常によい循環ができるんです。HEMTもBSや電波望遠鏡向けに使われたことが、ほかの市場を開拓する後押しとなったようです。

五明：情報社会を演出している主役の一つといえる携帯電話をはじめ基地局、自動車のレーダー、パワーアンプなどにもHEMT利用が広がっているのが、その証しえですね。

三村：BS用、電波望遠鏡の受信機にとどまらず、携帯電話などに用途が広がってきたことは、発明者として特にうれしいですね。HEMTはGaAs系から始まりましたが、今では、電子移動度が最も速いInP系、GaN系などHEMTの材料バリエーションは増えてきました。材料の組み合わせによって、従来のHEMTにはない新しい性能が実現できるかもしれません。それがまた、新しい用途を開拓するという好循環につながれば。

10. 量産化を可能にした技術

五明：企業ですと、製品の信頼性や歩留まりが気になりますが、その点はいかがでしたか。

三村：新製品が普及の一歩を踏み出すころは、信頼性、歩留まりともあまりよくないのが普通です。HEMTも例外ではありません。電波望遠鏡用の受信機ともなると、歩留まりよりも信頼性を重視します。ただ最近のBS用は、1個100円以下になっているようで、その値段に一番びっくりしているのは僕ですね。冷水先生と一緒に研究していたころは、とてもじゃないが想像すらできなかった、2週間に1個、小さなかけらが冷水先生のところからくる時代ですから、ビジネスができたとしても、1個100万円以下ではとても受けられないと思っていました。BS受信機用や携帯電話のスイッチとして1個100円、ワールドワイドでの使用量は年間およそ10億個というのは、まさに隔世の感ですね。

五明：量産化を可能にしたのは何だとお考えですか。

三村：何回も言うようですが、第一に品質のよいエピタキシャル結晶が多く得られるようになったことです。それに加えて、材料の性質の差をうまく利用して加工できるよう

になったこと、つまり、GaAs と AlGaAs の性質の差を利用して選択的にエッチングする技術を見いだしたことです。これが量産化や均一性に効きました。1 個 100 円になったというのは、結晶成長技術とともに、性質のそろった製品を作れるようになったプロセス技術のたまものです。

松本：化合物半導体も、そこまできたのですね。

三村：技術の進歩は速い。選択エッチングは InP 系でも応用されますので、高速用途の InP 系 HEMT の価格も安くなりますよ。

松本：HEMT は、まったく思いもよらない BS 用から普及が始まりましたが、これまでのお話から、メモリーや CPU も開発できそうな感じを受けましたが。それこそスーパーコンピューター用のデバイスとか。

三村：最初に描いたのがスーパーコンピューターの CPU やメモリーでした。それに向けて、欧米の有力企業がチャレンジしています。解決すべき多くの課題を抱えていますが、僕らの後を受け継いでくれる若い人たちの斬新なアイデアと可能性に大きな期待をかけています。

11. 若手研究者へ「失敗の経験を次に生かせ」

五明：HEMT と取り組んだのは、アマチュア的直感と表現されました。むしろ先入観がなかったから、かえって強烈に研究に打ち込められたというように思いますが。こうしたところは、キャリア育成に役立ちますか。

三村：所属する会社や研究所に、研究者の発想やアイデアを見守る土壤があるかどうかでしょうね。現在の経済環境を考えると、どうしてもショートレンジの研究が多くなるをえない。失敗に対して寛容でなくなっているかもしれません。一時期、成果主義が声高に言われましたが、実現できる目標しか立てられなくなってしまった。これではどうしても目標が低いものになってしまいます。目標を 100% 達成したからいいのではなく、どれだけ高い目標を達成したか、ここに価値があるということを強調したい。成果主義を前面に打ち出しそぎると、自分のことに一生懸命になるので、一番大事なチームワークが成り立ちにくくなる。

権田：確かに、研究の風土は欧米と日本ではそれぞれ違います。よさがあると思いますが、欧米と比べて感じることはありますか。

三村：欧米で研究したことがないので何とも言えないので、C. A. ミードに話を戻しますと、彼は研究の発想などは、周りにいる人とのディスカッションから生まれてくると言っている。

江崎先生のトンネル効果についても、ミードは少し違った形で追試しようとして、フェルミレベルの上にエネルギーギャップをもつ金属を探していた (I. Giaever の実験より数年前のこと)。そのとき例えば、絶縁体の両側から超伝導のトンネル効果をなぜ測らなかったのかと悔やんでいる。そうすると、超伝導のエネルギーギャップがすぐ見つかるんですが、ミードのいた Caltech の隣の研究室でまさに超伝導の研究をやっていた。なぜそれを使ってトンネル

効果を測定することを思いつかなかったかと。コンセプトもテクノロジーの環境もあったのにミードは後悔しているのですが、異なる分野の人も含めて、研究者のつながりがいかに重要かを示唆していると思います。言い換えると、高いレベルで行う研究交流とチームワークですね。

僕は HEMT のアイデアが浮かんだとき、周りの人に全部説明して意見を求めたり、発表する前に先輩とかにどう思うかとコメントを求めたりしました。「面白そだからやってみろ」というコメントに大変勇気づけられました。

五明：HEMT はもともと筋のよい研究だったことが、多くの部門を巻き込みながら実用化までスムーズに展開できた要因なのかなと思います。筋のよい研究の見分け方などはあるのでしょうか。

三村：先輩たちがいろんな哲学を教えてくれました。あるアイデアが浮かんだら、3 分以内で実験して結果が出ないと駄目とか。筋のいいアイデアかどうかは、3 分でわかるとか。HEMT の場合、一つの素子構造について最終的な $I-V$ 特性が出るまで、だいたい 2 日か 3 日ですよ。そのくらい早くフィードバックをかけました。早く見極めをつけることです。それはやはり OJT じゃないですか。

五明：若手研究者へのメッセージをいただけますでしょうか。

三村：HEMT を着想したところでお話ししましたように、失敗を恐れることです。失敗はできればしたくないと誰しも思いますが、研究は未知との戦いです。まだ誰も知らない、誰も取り組んだことのない未来の扉をどのようなカギで開けるかに挑戦することですから、失敗はつきものです。問題はその失敗を次に生かすことができるかどうかです。すでに触ましたが、僕の研究哲学である「失敗したことは忘れてても忘れられない。それは必ずしも悪いことじゃなくて、クリエイティブな発想に結びつくかもしれません」。このことを若手研究者に贈りたい。

五明：三村さんは、2007 年度に第 1 回応用物理学会フェロー表彰を受けられていますが、学会への注文をひと言お願いします。

三村：HEMT に関連したことでいえば、ジャーナルなどの出版時期を早くすることですね。これは非常に大事だったと思います。あれがもし 3 カ月だったら、たぶんアメリカの論文誌に投稿していたと思います。

発表後、10 年ぐらい経って、ISI という調査会社から、「この論文誌 (JJAP) では初めて貴君らの論文が Citation Classic (被引用件数がきわめて多い論文) に該当しますのでコメントしてください」という手紙がきました。これは論文誌のクオリティーを上げることにつながります。今後とも同じような努力が必要かも知れません。

権田：こうしたことを学会の人に十分に広めたほうがいいですね。「自分たちのジャーナルを、自分たちの手で育てよう」と。そのためには、それにふさわしい人材や体制を整えるとかコンセンサスを作っていくべきでしょうね。

本日は貴重なお話をありがとうございました。