

《研究ノート》

インタビュー録： GaN系青色LED開発の先駆者Herbert Paul Maruska博士(1)

藤 井 大 児

1. はじめに

Herbert Paul Maruska博士はRCA (Radio Corporation of America) 勤務中にスタンフォード大学にて物質科学の領域で博士号を取得(1974年)、その間にGaN系青色LEDの第1号試作品とされる成果を得ている。Maruska博士はRCA倒産後も民間企業の研究員を務め、2003年からサウス・カロライナ大学の特任教授 (Research Professor) を1年半勤め、その後も技術コンサルタントとして活躍をした。我が国における青色LED研究者のノーベル賞受賞を受けて、アメリカの学会等でもMaruska博士の業績を再評価する動きもあるようなので、ここではかつて筆者が行ったインタビュー録を原文からほぼそのまま翻訳した全文を掲載する。インタビューは2004年10月15日にサウス・カロライナ大学のMaruska博士のオフィスにて行われ、昼食や研究施設・市中の見学等を合わせると3時間以上ご一緒して戴いたが、ここではオフィスでの1時間程度の説明を掲載する。翻訳には技術的な内容も含まれることから、富士写真フイルム株式会社機器事業本部長・技術主幹、元一橋大学イノベーション研究センター教授、元東京理科大学総合科学技術経営研究科教授の宮原諄二博士に指導を得た。

2. インタビュー録全文

Maruska:

アメリカで青色LEDが開発されず、その代わりに日本で開発されてしまったのはなぜか、お話ししましょう。なぜなら日本のひとびとは、実際に非常に賢かった。この仕事を完遂するすべての事柄について。科学的な観点からは必ずしも賢いとは言えなかったかもしれないが、多少なりとも優れた視点を有していた。これが最初のGaN系青色LEDです。

藤井:

ああ、やはり暗いですね。

Maruska:

これは1972年7月7日に作られた、最初のGaN系青色LEDです。32年前になりますね。

藤井：

お話は、このLEDについてのことなのですね。

Maruska:

そうです。だいたい1965～6年ごろ、アメリカはベトナム戦争に巻き込まれていった。この戦争は、共産主義者が世界を支配することを防ぐための戦争だと教えられた。日本人を含め、ひとびとが共産主義者の台頭を今でも恐れていることは私も疑っていない。中国も共産主義となったわけだし、われわれより日本人の方がはるかに脅威と感じていたはずだ。彼らは兵力を増強し、多くの金を軍備につき込み始めた。

共産主義への戦いへの努力が積み上げられる中、政府は防衛産業への支出をますます増加していった。多くの研究者も雇用された。工学系の学校も数多く設立された。学生も増えた。すべての学生はアメリカ人だった。留学生ではない。規模拡大は止まることなく、若いひとびとをこの領域に駆り立てていった。RCAはすでによく知られた会社であり、当初家庭用やエンターテインメント用の製品を作っていた。ラジオやテレビといったようなものだ。

それがいまや防衛産業にも関わるようになった。彼らはますます多くの研究者や研究所に投資をしていった。そして私が電子工学で修士号を取得した時、彼らは私を雇った。初めての就職で実家を離れて、そこで働くことになった。彼らには非常に素晴らしい計画があった。新人に3つのプロジェクトをアサインし、それぞれ4ヶ月の期限を課すという計画だ。それで研究職に慣れてもらうという具合だ。学校では本を読んで試験を受けるだけだったので、ここにきて実際にプロジェクトに加わって研究をするチャンスがやってきたわけだ。そして私はJacques Pankoveのプロジェクトにアサインされた。それが彼に出会った最初のきっかけだ。

彼がやっていたことというのは、GaAsやGaPの直接・間接遷移を測定することだった。GaAs, GaP合金を成長させる人たちがいて、彼らは出来たものをわれわれのラボに運んでくる。半導体レーザーにしてから、化合物の素性の関数として、その発光効率を測定するのが私だった。

これは青色LEDのことなど何も知られていない時代の話です。そして次のアサインメントを探すようにと言われた。それでPankove博士はこういう半導体材料の育て方を見てきたらどうだ？と言うので、同じ建物の別部署へ行って、J. J. Tietjenの名前に出会った（GaNに関する最初の論文に上がっている）。J. J. Tietjenは半導体材料の研究室のマネジャーだった。彼は、ここでアサインメントをやってもらうことにしよう、今使っていない反応器があるから、と言って私にGaAsの結晶成長をやらせた。

藤井：

では最初はPankove博士のプロジェクトに入っていたのですか。

Maruska:

そう。

藤井：

次にはTietjen博士の。

Maruska:

そう。ただしあまりうまくいかなかった。4ヶ月経って、Pankove博士のプロジェクトをやりきっていないので、2ヶ月の延長を願い出た。オーケーが出た。だから私は6ヶ月その作業を行ったことになり、論文をパブリッシュすることもできた。またTietjen博士のプロジェクトでも2ヶ月の延長を願い出て、許可をもらえたのだが、最後には、君の期限は終了したが、まだ2つしかアサインメントを完了していないと言われた。

それで私は、結晶成長のプロジェクトに居させてもらえますかと尋ねたら、また良いよという返事だったので、そこで私は定職を得ることになった。私は修士号しか持たず、中央研究所において、どんな大学でも同じように、博士号を持っていないなら、他のひとびとと対等には扱ってもらえなかった。私は間も無く、それが多くのことで妨げになることを気づくことになる。

中村氏は博士号を持っていなかったはずだけど、それが妨げになることはなかったと承知している。私の場合には違った。そしてベトナム戦争が本格化し、学生の徴募も開始され、次々とベトナムへと派兵されていった。私は戦争には行きたくなかった。そこでRCAで働く間、研究費が国防総省から出ていたことから、国防に携わるものとして登録してもらえた。毎年書類が作成されて、派兵以上に重要な任務に当たっていると承認手続きが取られた。

おかしな話なんだけども。1968年5月13日、Tietjen博士が研究室に入ってきて、アイデアがあると言った。彼が思いついたアイデアだ。われわれはGaAsP赤色LEDを持っている。またNドーピングのGaP緑色LEDを開発したところだ。もしも青色LEDの作り方がわかったら、フラット型のTVが作れるし、絵みたいに壁に掛けることだってできるはずだ。こうしてフラット型TVのアイデアを思いついた。あまり世間には知られていないけれども。彼はこの領域全体を統括するマネジャーだったが、この榮譽を預かる資格は十分にあると思う。彼がこのすべてのきっかけを作ったからだ。君、GaNを作ってみないか？私は反応器に近づいて行ってアルシンのカートリッジを外して、アンモニアのシリンダーを取り付けた。そしてシリコン基盤、GaAs基盤の上にGaNを成長しようとしたが、アンモニアが基盤と反応して無茶苦茶なことになった。

他のひとびとに相談に行くと、一人がこう言った。サファイヤのウェハがあるよ。親指の爪ぐらいの大きさに過ぎなかったが、当時としては最大の規模だった。分けてあげるから、それで試してみたら。それをもらって結晶成長をしてみたところ、サファイヤは不活性で腐食もなく、反応しなかった。そこでサファイヤが基盤として選択肢になると明らかになった。いわば偶然の産物であった。

当初、1930年から1940年代に書かれた初期の論文を全部読んで、ほとんどドイツで行われた研究で、低温での分解・変質について語っていた。Lorenz Binkowskiのこの論文では、真空状態で600度で窒素が抜け出てしまうことを示していた。もちろん低温バッファ層の作り方として、多結晶かアモルファス状態の何かしらを使うことは現在では知られた方法だが、当時は知らなかった。気相成長法でその結晶成長を行ったものはかつてなかったし、こういったことが起こるといこともまったく知られて

いなかった。私が成長した材料はすべて多結晶質のものだった。

藤井：

Lorenz Binkowskiの研究について、もう少し教えてください。

Maruska:

GaNの粉末を真空中で熱して、窒素ガスが600度で放出されることが彼らの測定法によって発見された。そこで私は500度、400度で成長してみた。すべての薄膜は低温での成長で、というのは高温では気相化すると考えていたから。まあ、私とそのプロセスを理解していなかったということだ。自分自身のやっていることをきちんと理解していないというミスだ。結晶成長の条件が得られたということは、それが分解するということはない。真空中で加熱している時、分解する。いずれにせよ、こうしたプロジェクトが始まったのは、RCAが当時国内で最大のカラーTVメーカーだったからだ。当時から壁掛けテレビの構想はあり、絵画を壁に掛けるようにしたかったわけだ。フラットパネル型TVを作るのがGaNの結晶成長の経済的な駆動力だった。

藤井：

LCDも同様の動機で開発が始まったと聞いたことがあります。

Maruska:

そうです。

藤井：

それは同じ時期なのですか？

Maruska:

同時期だった。RCAは誰よりも早かったのだが、その後オーナーが死んだ。その会社を創設した人が高齢で亡くなったのだ。それがこの会社の最後だった。Nichiaの創業者は生きているのか？きっととても高齢だろう。例えば100歳とか。しかし亡くなってはいない。RCAの創業者であるSarnoffは70歳で亡くなってしまった。彼は学はなかったが、ビジョンがあった。

彼は高校にも行ってない。学歴は皆無だったが、ひとびとの英知を集め、これをやれというビジョンを持っていた。FMラジオを作り、カラーTVを作った。これらがRCAで発明されたのは、彼が次のようなビジョンを持っていたからだ。サイエンスのことは分からないかもしれない。ただ私は最高の人材を雇って彼らにとにかくやってくれというだけだ。

そして彼らがカラーTVを開発しようとしていた1952年、彼はRCA研究所のスタッフに「金勘定はするな。必要なだけ使え。コストのことでとやかくは言わない。とにかく作れ」と言った。そして成功した。彼らはシャドーマスクを発明し、最初のカラーTVを作った。その特許もすべて取った。彼

らがすべてのビジネスをコントロールした。彼には「費用はともかく、とにかくやれ」というビジョンがあった。ひとびとは昼夜を問わず、週末も忘れて働いて、問題を解決していった。

そして彼が死んだ。この話すべてがおジャンになった。彼の息子が後継したが、彼はこの種のビジョンを持ち合わせない、まったく違うタイプの人間だった。彼が会社を倒産させたのだ。

彼は相次いでミスをした。経済的なミス。創業者の息子だからといってビジネスの能力を持っているとは限らない。私企業の家族内での継承の問題点だ。その結果この会社は倒産した。収益はどんどん低下していった。このことがTietjenが大胆に開始した開発を台無しにしてしまったのだ。

創業者の死と息子による後継がすべての問題の原因となった。われわれがLEDレベルでどんな成功を収めているようが、会社が倒産してしまえば、すべてはおしまいだ。LEDの話締めくくると、1969年Pankoveは1年のサバティカルを取得してパークレーに行った。そこで彼は教科書を書いた。彼がいない間、私はGaNの結晶成長をやっていた。1969年3月5日、今何ができるか、全部多結晶だしこのままでは望みがない、と自問していた。そして、GaAsと同じところまで温度を上げてみよう、と自答した。400度とか500度の代わりに950度だ。あたかもGaAsを結晶成長しているふりをしてみよう。アルシンじゃなくてアンモニアを使っているけれども。

そしてウェハを取り出してみたらサファイヤが透明で、何も成長していないみたいに見えて、以前の多結晶の材料は白っぽかったし、ご存じのようにそういうのは良くない状態で、小さい粒子の集合体ですから。走って階下に行ってX線装置でXパターンを撮って、輪状のものではなく6つの点が見えた。すなわち単結晶だった。これは単なる幸運と言えるし、また1年間もの間取り組んできて答えが見つかった瞬間と言っても良いかも知れない。Lorenz Binkowskiがなんと言っているようが、アンモニアを流している間は気相化は起こらない。なぜなら前方向の結合反応は起こるけど、逆方向の分解反応は起こらないということだ。

それで当然のごとくありとあらゆる条件出しを行って、より良い品質を得ようとして、物性の評価を行って行った。1970年1月Pankove博士がパークレーから戻ってきて、私のところを訪れて何をやってるか尋ねた。そして私は、これを見てください、これGaNです。誰もが初めて見るものですよと言った。彼は、それでは一緒に再現性を確認しようではないかと言ったので、私は、もちろんです、是非やりましょうと答えた。分からないけど、私は25歳で年若い一研究員に過ぎなかったし、彼は先輩研究者だったし。

そして彼はあれをやれ、これをやれと指示を出し始めた。私は指示通りにやり、彼は測定や物性評価を行って、共に品質を高めるべく協力した。そして26歳になると、軍への徴募はなくなっていく。ベトナムへ派兵するには高齢すぎると考えられていたからだ。徴募される心配からも解放された。

私は大学院に戻って博士号を取得したいと考えようになった。1969年秋、1970年に26歳になることはわかっていたので、良さそうな大学院はどこかと尋ねて回っていた。私は物質科学分野に進学したかった。今の研究を続けるために。1970年1月にはたくさん出願をして、全部合格通知を受け取った。私はすでに4年もの経験を企業の中央研究所で積んでいたから当然の結果だった。私はそこの学生とは一味違う人材だったわけだ。

当時のRCAにはDavid Sarnoff奨学金があって、学費に加えて月給を支払ってくれた。申請書を記入

して、Jim Tietjenは彼の上司に対して私がGaNで非常に良い仕事をしたことを話してくれて、奨学金を払ってやるべきだと主張した。そしてこのRosey博士のところを訪ねて、彼は、わかった、学費は面倒を見よう、しかし2つ条件がある、私が学校を決めると言った。Rosey博士は学校を決めようとし、お前はGaN系青色LEDの研究をしなければならない、それが可能な大学を探してやると言った。私は、わかったと。良い条件だと思ったからだ。

書類に全部サインをして、スタンフォードへ行けと言われた。われわれはいつもスタンフォードの卒業生を雇いたかったのに、うまくいかなかった。ノースイースタンからはたくさん来てるし、プリンストンやペンシルバニアもある。しかし私は西海岸の教育的バックグラウンドを持っているやつに会ってみたいんだ。私は、まともやわかったと二つ返事をした。サンフランシスコに行くことやその他のことが、全部本当に面白そうだったからだ。

早速私はガールフレンドと結婚をして、彼女についてきてもらうことにした。来年で結婚35年になる。彼女はついてきてくれた。そうしてくれた方がお互い都合が良かったし、会社は学費をすべて払ってくれて、生活費も負担してくれた。RCAは1970年代はまだ財政状態も良く、それが可能だった。サンフランシスコに引っ越し、授業に出席し、指導教員を探した。私はお給料要りませんよ、と言って回った。彼らにとっては理想的な学生だ。無償で研究をしてくれる学生なのだから。

Stevenson教授は主に電子化学を専門とし、この話に興味を示した。彼には半導体の知識はなかったし、実際問題としてあまり良い選択というわけではなかった。これは本当にミスだった。しかし彼はRCAのテーマをやらなければならないという条件を喜んで受け入れてくれたし、彼のテーマはなくて良いということだった。他の指導教員たちは私を受け入れなかった。他所から口を出されて研究してもらっても困ると考えたからだ。おかしなことに、実際にはPankoveが指導教員だったようなもので、Stevenson博士はそのトピックに全く精通していなかった。彼は人柄も良く、さまざまな事務的な事柄には快く協力してくれたが、技術的にはあまり助けとはならなかった。

以上の理由で、Pankove博士を私の指導教員とみなしている。彼が何をしていたのか、これまでどうだったのか、どんな内容の仕事かなどを尋ねて、インターネットなんてものはなかったから電話で議論をして、いろんなプロジェクトをやった。私は同じ反応器を作って、それは現在気相成長反応器と呼ばれるものだ。博士号請求資格審査をパスして、実験を開始しようとした。しばらくの間私はRCAから物理的に離れてはいたが、彼らはそのトピックをやめるということではなかった。その代わりEd Millerという名の男がいて、論文でPankoveと連名で出ているはずだ。彼がGaNの結晶成長をやっていた。

もし興味あるなら、Ed Millerが1971年に書いた手紙があるから、興味があるならコピーを差し上げます。古い論文に当たれば、Millerがいっぱい出てくるから、その人物だ。彼は結晶成長を始めた。私がコースワークをやっている間に、彼はなんとか緑色LEDまで実現した。亜鉛をドーピングした最初のもので、最初の論文の数本はRCAのPankoveとMillerということになっている。

そして私が結晶成長を始めた時、亜鉛はうまくいかない、P型化できていない、他に何か方法はないかと言った。周期表を見て私は、マグネシウムはまだ試してないよね。われわれはいつも周期表の右側ばかり使ってきた。亜鉛とかカドミウムとか水銀とかをP型化の時に使っていた。マグネシウム

を試してはどうだろうか。GaAsでも試されてないし、それにあれば蒸気圧が高いし。そこで幾つかのマグネシウムボールを反応器に入れて気相化した。蒸気圧が高いから。それから間もなく、1972年にはこのLEDの開発に成功した。照明下でも視認可能でしょう。とても明るいわけではないが、十分に明るいと書いてもいい。

それが出来てすぐに、博士論文審査委員会に行って、LEDが出来たから博士号をくださいと言った。すると、いやいや、そういうわけにはいかないと言われた。あなたのアサインメントはそのオペレーションを説明するモデルを作ることだ。確かにその通りで、さもなくば論文は空疎なものになるに違いなかった。そこで踵を返し、物性評価やら測定をたくさんやった。そこで発見したことは、すごく興味深いと思う。何百時間も走査電子顕微鏡にデバイスを入れていたので、何が起っていたかはともかく、性能が上がることは一切なかったということだ。電子ビームを何度当てようが、何も起こらなかった。その原因はその材料が非常に品質の悪いものだったため、性能の上がりようがなかったのである。この点が赤崎勇の非常に重要な点であり、もしかしたら中村より重要かもと思う。もしも赤崎・天野が高品質の結晶成長を成し遂げなかったら、中村も私と同じことに直面したはずだからだ。気相成長法で作成した材料は非常に品質が悪かったため、改善することすらできなかったのである。問題は酸素やシリコンの汚染が酷かったために、マグネシウムをどれだけドーピングしようがP型化がうまくいかないのである。

私の意見では、赤崎・天野が最大の貢献をしたと思っている。というのはこの国で関心が全く他所へ向かっている間、研究を続けていたからだ。非常にゆっくりと、しかし方法的に非常に慎重に。バッファ層を思いつき、結晶品質を高めるあらゆる条件を明らかにした。彼らがいなければ、何も成し遂げられなかったであろう。GaN結晶成長のヒーローは彼らだと思う。非常に素晴らしい仕事をした。論文もたくさん書いた。彼らは自らの歴史を整理して見せた。非常に、非常に素晴らしいものだ。

しばらくのちに、RCAは論文をまとめるのに3年の猶予をくれた。期限が切られた。昼夜なく物性評価や測定を行い、論文を書き上げた。もしも3年でできなければ首だとも言われていた。1973年末ごろ、彼らは呼び出し始めた。帰ってこい。われわれは今そのプログラムを74年に向けて拡張しようとしている。よりたくさんのひとびとを雇用するつもりだ。1月1日に帰ってきてなければ、首にする。仕方がないので私は狂ったように作業を進めた。コンピューターもなかったし、すべて手作業だ。図表なども非常に苦労した。

すべてを書き上げ、1月2日に戻ってみたら、RCAは完全に崩壊していた。粉々になっていた。収益は激減していた。空っぽになっていた。Tietjen博士は私を呼んで、Pankove博士も入ってきて、彼らはこう言った。これ以上GaNの研究を続けられない。金がないんだ。プロジェクトは解散した。突然の終焉だった。Stevenson教授は、大学に残ったらどうだ。ポストクのポジションを与えよう。スタンフォードでその研究を続けて大学教員になれば良い、と言ってくれた。

ただ、RCAがすべての費用を支払ってくれていたため、私は義理を感じていた。私はそうする必要もなかったし、彼らも私に戻れと強制することもできなかった。奴隷でもあるまいし。しかし良い人間であろうとしたし、戻って彼らのために働いて、私のために投じたお金を私が稼いでやった方が良かったと感じた。しかし戻った途端に会社が崩壊した。だからTietjenの間違ひではなかったし、彼は新

しいプログラムをやめたくはなかったのだが、結局多くのひとびとを解雇し、外に放り出さなければならなかった。彼は私に対して、君はPh.Dを取ったばかりで、新たなキャリアをスタートしようとしている。私はあなたを解雇する。あなたを雇ってお金がないからだ。これで終わりだ。すべてが終わってしまった。

私は会社に1年ぐらい在籍して、初期MOCVDのひとつを構築して、それが本当に良い反応器だった。MOCVDでの結晶成長にすぐに移行できたはずだし、1,2年のうちに理想的な高品質結晶を得ることができただろうし、76年までには青色LEDを構築できただろう。しかしRCAが倒産して経済的に破綻してしまい、会社は存在せず、私がPankove博士の研究成果はどうでもよくなってしまった。われわれはもうお終いだっただ。彼はコロラド大学に移っていったし、私はエクソン(Exxon)に移った。すべてのプロジェクトはここで中断となった。

藤井：

石油会社のエクソンですか？ ずいぶん研究ニーズが違うと思いますが。

Maruska:

そうだ。理由はというと、オイルショックの到来でガソリン価格が上昇していたので、エクソンは太陽電池ビジネスに参入することに決めたからだ。彼らは大量にその分野の人材を雇用した。それでエクソンに移ったわけだが、受光素子と発光素子は似たようなものだし。[音声不明瞭、おそらくGaN]の代わりにシリコンを使うが関連性があるし、相互に補完できる部分があった。このプロジェクトに対してエクソンは1億ドルを投入した。この企業は極めて裕福な企業だったからだ。ただお金はあったのだが、それをどうして良いのかわからなかった。そして1億ドル使ったところで、彼らはやめてしまった。そのプログラムも停止した。誰か上の人間がそういう風に決めたのだ。

これらのことが、いかに経済的な事情によって推し進められてきたかを見ると非常に興味深い。石油会社が代替エネルギーの開発をやるというのが非常に理にかなっているという点だ。RCAのような企業が代替エネルギーの開発をするというのなら、あまり意味がない。彼らは家電製品の企業であってエネルギー市場のことなどよく理解できないだろう。エクソンならそれが可能だ。彼らの土俵だ。マサチューセッツ州に世界最大のシリコン太陽電池工場を有していた。世界中に供給もしていた。しかも赤字で。

彼らはソーラーパネルの費用を価格転嫁しなかった。ただ赤字を甘受した。モバイルも同じことをした。ソーラーパネルを製造した。赤字で販売もした。カーター政権の時、政府から石油企業に対して、エネルギー問題への何かしらの対応や中東の原油への依存度を減らすための取組みが強く求められたからだ。しかしレーガンが大統領になった途端、もう問題ない。その点は不問に伏すとなった。業界への風当たりは途端になくなった。

かように政府からの圧力というのは、石油企業に目をつけ、帳簿を調べ上げて監査し、石油に対して不当な価格付けをしていると難癖をつけ、カーターは石油企業に善行を促したわけだ。ところがレーガンがやってきて、もはや何も口出しすまいと言い出した。そうすれば石油企業は、何でわざわざ将

来のための研究開発をやらなければならんのか?となる。そしてそれを止めてしまった。これは悲劇だと思う。エクソンのような裕福な企業が信じられないような資金を持っていて、彼らが1000万ドルものお金、そんなものは彼らにとっては端た金だった、を代替エネルギーの研究に使っていたのだ。そんな端た金は彼らの年次報告書のバランスシートにも載らないほどの金額だった。しかし彼らはそれを続けることができなかった。政府がプッシュしなければ彼らはやろうとすらしないと私には思えてしまうのだ。

営利企業とはことほどかような調子だ。現在の利益を最大化したいのだ。未来のことは二の次である。株主に利益をもたらしたいのだ。だから政府が再びプッシュして、何らかの対策を取らせるしかないのだ。日本の場合には、私は信じているのだが、太陽電池の実用化へ大変な努力が向けられたと思っている。LEDについても同様だ。何か違う意見があれば言ってくれ。日本は異なる視点を有していたと思うのだ。違うか?

藤井：

そこはどうでしょう。

Maruska:

日本も同様に良くなかった?

藤井：

そんなに違いはないというか。例えば私の務める大学は、国内で傑出した大学というわけではないので、他の大学と同様にお金の問題は常にある。例えば大学生が1万人いたとして、日本の大学としては大きい方だけれども、アメリカの大学の方がスケールも大きいし、学費も自由に得られるように思う。

Maruska:

私立大学はそうだね。公立大学は違う。

藤井：

私立大学の学費は?

Maruska:

3万ドル。

藤井：

日本の場合、高くても200万円、2万ドル相当だ。

Maruska:

まあ、そんな変わらないな。

藤井:

そうですか？アメリカの方がリッチな気がします。アメリカの研究者はお金が潤沢で。

Maruska:

そうですね。それにお金が必要だからです。例えば公立大学の場合、1年の学費は千ドルだ。それだけ。誰もが払える額だ。納税者が公的大学を支援しているからね。

藤井:

私の大学は公立で学費は年間で50万円ぐらいですね。

Maruska:

さらに生活費だ。ただ、勉強をするだけならば、1年で1,000ドルしかかからない。ほとんどの人は問題なく払える。私立大学の場合には、部屋代、ドミトリー、食費、学費、全部で3万ドル程度だね。学費で2万ドル、生活費で1万ドルかな。

藤井:

日本でもそれぐらいかもしれない。そして赤崎博士が彼の研究関心を保持し続けられたのは、彼がベテラン研究者だったことが大きい。彼は名古屋大学を退官後に名城大学へ移籍した。そしてさらにその大学も定年退職した。そして天野博士がその後任の教授となった。こうしたベテラン研究者のポジションが、彼の研究資金をさまざまなソースから確保するのに役立ったと思う。普通だったらそれは難しいと、彼も言っていた。教授の仕事は研究費を確保することで、研究室に閉じこもることじゃないと。そしてその難題を彼はうまく解決した。おそらく日本の研究風土も一役買っているだろう。

Maruska:

Asif Khanを知っているか。彼はこの学部のトップで、1980年代からGa₂Nの研究にずっと積極的な人だった。論文は何百もあるし、特許もたくさんあると思う。彼はお金を調達することに長けている。これは本当に大事なことだ。だからこそここでの研究の責任者となっているわけだし、資金の調達や配分に非常に長けている。

もしも私の論文を読んでもらったら、彼の名前が何度も出てくる通りに、彼が先駆者なのだ。ミネソタの2つの会社、ハニーウェルと3Mで彼は先駆的な仕事をした。1970年代にパキスタンから留学してMITで博士号を取得した。その後先の2社で働いた。続いてAPA Opticsという非常に小さい企業で働いた。そこで彼はGa₂N系のMOCVDを用いた結晶成長の研究を行った。オリジナルのトランジスターやHEMTを作成した。彼の業績だ。1997年にこの大学に移って、この大学は半導体材料には何の

存在感も発揮していなかったが、現在40名の教授、大学院生、ポスドクなどのスタッフを率いている。これらの立上げが可能なのは、彼が研究資金を調達するノウハウを持っているからであり、それを必要なひとびとに配分する方法を熟知しているからだ。彼が研究を行い、すべてを取り仕切り、結果を出している。彼は我が国で赤崎と同じ立場の人間であると言える。彼は非常に優秀だ。科学的な知識は広いが、けっして研究室で結晶成長することはない。研究室に顔をみせることはあっても、何か実際にすることはない。もっと高いところにいる。

藤井:

赤崎博士とKhan教授にはどんな違いがあると思いますか？プロジェクトのマネジメントの仕方とか…

Maruska:

赤崎博士とは一緒に働いたことはないし、学会で知るだけだから、彼の働き方については知る由もない。Khan博士については、彼は非常にフェアだと思う。彼はゴールを掲げるが、ひとびとの望まないことは無理強いしない。非常に親身になってくれるように思うし、みんなが必要な研究資金を調達できるように苦労してくれる人だ。狙いやフォーカスもきちんと共有される。彼はそういうのに長けている。彼の下で働くことを、みんな楽しんでやっていると思う。

藤井:

彼もGaN系の研究で苦労しましたか？

Maruska:

彼がここにやってきた時には、何の基盤もなかったが、彼は何とかそれらをかき集めた。このサウスカロライナ州立大で。リソースも乏しく、プロジェクトを立ち上げるお金をかき集めたのだ。政府機関からお金を得ようとすれば、何か成果を見せなければならない。ほさっとしていても仕方がないのだ。

そこで大学を何とか説得して、最初のスタートアップ資金を取り付けた。そしてこの学部のこの仕事に投資した。これは彼の功績だと私は考えている。ここではその仕事での実績もなかったし、ここはいわゆる普通の電子工学部だったわけで、電子回路やコンピューターやその手のことは行われていた。そして彼は電子材料をやりたいと言ったのだ。そして大学は彼にお金を渡し、最初の反応器を構築させた。間もなく成果も出た。それを元手に彼は政府機関へ赴き、成果があがっている、軌道に乗り始めている、だから支援をお願いしたい、今後の成果を期待して欲しいと言ったのだ。

現在この国では、連邦政府は防衛関係の研究を大学に行わせる傾向がある。日本ではどうかはわからないが、ここでは大学にお金を払って防衛関係の研究をさせる。これはだいぶ昔からそうになっている。したがってRCAでも、GaN系プロジェクトのお金はDARPA (Defense Advanced Research Project Agency, 国防総省防衛高等研究計画局) から来ていた。それゆえに私はベトナムに送られずに済ん

だし、私が国防に携わる仕事していると徴兵委員会に説得することができたわけだ。そういう状況なので、国防総省は膨大な資金を大学に投じて研究をさせているわけだ。これは非常に奇妙な状況でもあって、大学で研究していた学生はそのうち去っていく運命にある。その知識を全て携えて、どこかへ行ってしまふ。もし企業であれば、その会社に留まるとか何なら一生居ても良いと言えるかもしれないが、大学では学生はどのみち去っていく。したがって研究内容を機密にしておきたくても、知識を持って故郷へ帰って行ってしまうのだ。それを止めることもできない。政府機関にとっても非常におかしな状況と言わねばならない。

この点をもう少し詳しく説明しよう。例えば水素精製装置を買うとしよう。かつて私は政府契約の場合資本装置を購入してはいけなと言われてた。だから別の方法で買う工夫をしなければならない。そして業者はスベアの部品として納入しますという。当然全部組立てられて納入されるけれども。それなら装置を購入したようには見えない。ことほどこのような具合だ。

藤井：

日本でもある話ですね。

Maruska:

さて最初の話に戻そう。RCAが倒産後私は去り、またPankove博士も去った。RCAは解体されGEが買収し、GEはさまざまな事業を他企業に売却した。犬のトレードマークも売却した。RCAの商標も売った。まだ周囲にはRCAが存在するかに見える。その企業はもはや存在しないものの、その名残は他のひとびとによって引き継がれている。

この話もまた奇妙なのだ。時にひとびとが名前を覚えていて、彼らの中身を覚えていたり、それがそうではないものの区別に役立ったりするということはある。ビジネスというのはトリックの連続で、終わりを迎えるということがない。今現在でもそうなのか確認はないが、少なくとも数年前には当時のロゴがまだ用いられていて、まさにロゴだけのもので、空っぽの断片でしかないものなのに、愚かなひとびとを騙して何かを買わせようとするためだけに使われている。元の会社から供給されたわけでもないものだというのに。ロゴが使用されているという事実は、別にあなたがそれを信用しても大丈夫ということを必ずしも意味しない。しかしひとびとが安心するためには必要なことなのだ。例えばトヨタがビジネスをやめたとしよう。トヨタのシンボルが他の企業に売却されて、あ、トヨタのマークが付いていると顧客が思えばしめたものなのだ。

かようにして皆が去り、しばらくして赤崎氏や天野氏がGaN系の研究を続けた。1989か90年だったと思うが、サンフランシスコでのMRS (Material Research Society) の学会に行って、春の学会だったのだけど、誰かが日本の研究者が明るい青色LEDを作ったらしいと言ってきた。彼らは私をその研究者に紹介してくれて、今日私のホテルの部屋に9時きっかりに来てノックしてください。良いものをお見せしますと。その通りドアをノックすると、その彼はドアをこのように開けて、私の顔の前で青色LEDを輝かせてみせた。いかがかな？と尋ねるので、私はこれは明るいと応えた。私はそれしか言えなかった。そして彼はドアを閉めた。彼らは特許を申請している最中だったので、このような対応

だったのは当然だった。そして彼はどのようなことも詳細について議論しようとはしなかった。しかし非常に印象深く、また今ここにあるものよりもはるかに明るかったので、彼が解決法を見つけたのだと私は悟った。

そうすると当然のように、みんながバンドワゴンに飛び乗り始めた。人目につくやいなや、企業たちも再びこの分野に参入し始めた。私もついにマサチューセッツの小さな会社で雇われるようになった。彼らはGaN系LEDに参入しようとして、赤崎氏や中村氏のやり方を真似ようとしていた。皆がただ模倣しようとしていた。しかし彼らは特許がある。これはすごい数の特許だ。そして私は今では大学の教員なので、これらの特許論争に巻き込まれている。企業は私を雇い、プロジェクトの内容はここでは言えないけれども、彼らは日亜や他の企業と特許で争っている。私はその訴訟を見て、中村氏の特許をいかに回避できるかを指導する。これが大きなビジネスになっている。

藤井：

それはここでのお仕事ですか？特許などの法律文書を扱うことが。

Maruska:

私はそれに自分の意見を述べる立場なのだ。私は弁護士ではないし、科学的見地から報告書をまとめる。弁護士がそれを法律用語にして書き直す。それを私に送り返してきて、これは正確と言って良いでしょうか？と聞いてくるので、私はそれを読みくだして、法律用語満載で読み難い代物だが、それを再び添削して、これが来るべき訴訟資料として利用されることになる。細かいことは言えないけれども。

藤井：

興味深いですね。そういうのはあまり日本では聞いたことがなくて。

Maruska:

日亜は相当アグレッシブだから。アメリカでは。

藤井：

ZnSe, Zinc Selenideはどうですか。研究されたことはありますか？

Maruska:

やったと思う。ここで。ZnSe系白色LEDの劣化メカニズムと寿命について。住友電子からのものだ。

藤井：

そのタイプは幅広く研究されていたと思いますが。

Maruska:

だいぶ昔のことだけれどもね。アメリカだけではなく、他国でも。

藤井:

日本ではジャーナリズムによると、多くの研究者がこの材料に希望を託して、GaN系には目もくれなかったと。

Maruska:

一時はそうだったね。

藤井:

アメリカでもそうでしたか？

Maruska:

ZnSeの研究をしていた大学は少数あった。ZnSeは非常に古くから知られていたけれども、長い間P型化が困難だとも言われていた。1940年には論文が出始めていて、LED化のための研究は非常に多く行われてきたが、P型化ができずに全て失敗に終わった。1990年頃になると…

藤井:

1991年？3Mの？

Maruska:

そう、3Mは問題が何なのかを何とか突き止めて、P型化を成功した。そして最初のLEDが登場した。青っぽいというか、青とは言いい切れなような青緑色というべきか。しかし幅広い文献でその成果が見られるようになった。一方でGaNは70年代には忘れられていた。85、6年頃の書かれた論文の数では、おそらく1、2本しかない。それだけだ。

藤井:

では、1990年以前は両材料の間に大きな違いはなかったということですか？

Maruska:

そうだね。ただZnSeは非常に柔らかい材料だった。それが大問題になっている。ZnSeは結晶欠陥の形成を免れない。ほら、このLEDは32年間ずっとこのまんまだ。カプセルにも入っていない。空気中にあった。しかし32年間同じように輝き続けている。何か特殊な工夫はしていない。土台につけて小さなレンズを乗せてるだけで、エポキシ樹脂もないし蛍光体なども載せていない。だのに半永久的に機能しているようだ。一方でZnSeはもっと問題含みの材料のようだ。容易に結晶欠陥を形成して

しまう。柔らかいから、この柔らかさが結合を脆くさせていると思われる。

藤井：

それは自明の特性と言ってもいいものですか？

Maruska:

そうだと思う。原子間の結合が非常に弱いから、どうしても動いてしまう。だから結晶欠陥が増える。そして拡散していく。これら全てが大きな問題となってしまいます。硬くて丈夫な材料の場合、少なくとも室温レベルでは、欠陥が後から増えるということは相当難しい。環境には左右されないということだ。湿度などもね。だからZnSeはとてもたくさん問題があると言えるだろう。繰り返すが、基盤を作ることも、何人かは成功しているようだが、基本的には難しいことが明らかになっている。だいたいGaAs基盤上で結晶成長させているが、非常に高品質なGaAs基盤を使っても、すぐに界面層ができてしまう。

硫化マグネシムのようなもので、作業中に厄介なことになるのだ。硫化マグネシムは、空気中では不安定だ。硫化マグネシムは、これは日本で発見されたのだが、空中に置いておくと、湿度を取り込んで硫酸マグネシウムになる。いつも湿度管理が大変重要になってくる。硫化マグネシウムが20%を下回ると、空気中の湿気を取り込んで直ちに溶解し始める。この手のことがすべて問題になるのだ。ということはカプセルに入れなきゃならないし、それがさらに厄介だ。その点このLEDはそういう問題がない。空気中でも構わないし、何も起こらない。GaNは頑丈な材料なのだ。

もちろんGaNは多結晶体で、サファイヤ基盤上で成長させているから、結晶の構造的マッチングは悪い。無数の転位とともに無数の小島が同時に成長したような構造だ。したがってどうやってそれがうまく機能するのかという疑問が湧く。確かにその通りだ。InNとGaNが相互に馴染み合うことがないため、完全に分離層となっていて、聞いたことがあると思うが、インディウムが豊富に含まれる小島の層が形成されるのだ。だから再結合が、その微細な量子ドットの中で起こる。そしてその周辺の結晶欠陥が干渉しないことになる。それゆえに極度に結晶欠陥の多い材料で、GaAs系であれば到底LEDなど作れそうもないものが機能してしまうのだ。

結晶欠陥が10の5乗程度では、発光しないだろう。素子として破壊されるはずだ。ところが10の10乗程度の結晶欠陥でこのGaN系LEDは機能するのだ。ここでのわれわれの主目的は、紫外光LEDを作ることだ。そこに焦点が当てられている。最大の理由は蛍光灯と取って代わるためだ。最近波長250nmのLEDの開発に成功した。蛍光灯の水銀輝線は253nmだから、短波長の紫外線LEDで十分高いエネルギー効率が得られれば、これまでと同じ蛍光灯用蛍光体を用いながら、真空管技術を排除することができる。この技術は1925年に発明され、水銀を含んでおり、これを排除する非常に強力な理由になる。われわれが発見したところによれば、発光波長をより短くしてより多くのアルミニウムを入れると、効率がこう言う具合になる。何桁も落ちる。アルミニウムを50%以上入れると、とんでもないことになる。LEDが発光していたとしても、このGaN系LEDと同じ発光効率しかない。0.01%だ。

藤井：

0.01ですか。

Maruska:

本当にひどいものだ。多少の改善は可能かもしれないが、それでは不十分なのだ。商業用としては、市中にSETというスピノフ企業があって製造もやっているけれども、大学と企業とにシナジーがある。そして将来的には彼らが白色LEDを作れるようになることだ。非常に野心的な希望なのだけれど、蛍光体を紫外線LEDに乗せて白色LEDを作成する。そして家庭や商業用照明を全て代替する。巨大なビジネスだ。それがドライビング・フォースになっている。

多くのひとびとや企業がこれに関心を持っている。視察も多くある。開発資金も出したいと言っている。もしも白色LEDができれば、素晴らしい未来が待っているからだ。これが目下の目標だ。多くはここに焦点を合わせている。結晶欠陥を少なくして50%以上の割合でアルミニウムをドーピングしてP型化する方法を探り、デバイスの性能を上げていくのだ。

われわれの目下の発光効率は非常に低い。電流のほとんどが熱に変換されてしまうことになる。LEDが熱でやられて、効率がさらに悪くなってしまう。これは非常に悪いスパイラルで、99.99%の電気エネルギーが熱になってしまっているという状況だ。パルス電流を流すとそれほど悪い感じではないのだが、直流電流を流すと発熱して大変なことになる。あらゆる努力を投じて熱を除去しようとしている。ケースへのマウントの仕方などをいろいろ変えて。しかし最大の問題はやはり、励起した自由電子を正孔に放り込む方法を変えることしかない。高濃度アルミニウムのドーピングによるP型GaNの自由正孔がうまく機能していない…

3. 要約

RCAはRadio Corporation of Americaの略称で、1919年にGE（General Electric Corporation）のOwen D. Youngが無線通信事業を確立したアメリカン・マルコーニ（American Marconi）を買収し、名称を変更することで設立された。したがって、本文中のDavid Sarnoffが創立者というわけではない。むしろ現場からの叩き上げ経営者というイメージに合致する。Sarnoffは1971年に亡くなっており、その前年に息子へと経営権が譲られたようだが、この頃に経営多角化が進められたようなので、本文中のRCA解体への道筋はこの時期のことを指しているようである。またGEに買収されて解体されるのが1986年であり、またオイル・ショック後に政府が、エクソンなどの石油会社に対して代替エネルギー開発への圧力をかけた（カーター政権下の1977-1981年）との言及があったので、RCA内部での化合物半導体に対する研究開発投資は、買収されるかなり以前の段階で削減されていたことが見て取れる。

Maruska博士とGaN系青色LED開発の運命は、当時の政治経済事情に大きく翻弄されていたことが本文から伺われる。GaN系の研究開発は、ベトナム戦争を背景として軍事予算や防衛支出が大きく膨らむ中で理工系研究者の育成や、民間企業での基礎研究所の設立を促した時代背景の中で、修士号を得たばかりの彼がon-the-jobトレーニングの一環として始めた研究活動のひとつだった。その後1970

年から74年にかけてRCAの支援を受けてスタンフォード大学で博士号を取得する。その過程で最初の青色LEDを開発した。学位を取得後にRCAに帰ってみれば、所属する研究室は解散の危機に見舞われていた。その結果エクソンに転職して、太陽光発電の研究に携わるがそのプロジェクトもレーガン政権に移行して、代替エネルギー開発への関心が薄れる中で頓挫する。

本文中でそれ以降のキャリアについては、あまり語られていない。2003-2005年のサウスカロライナ州立大学Department of Electrical Engineeringの特任教授（Research Professor）となり、その後はSETというスピンオフ企業のコンサルタントを務めたのが、現在確認できる最終経歴である。日本人3研究者によるノーベル賞受賞で、アメリカでもMaruska博士の業績を評価し直す機運が再興しつつあるからこそ、キャリアの終盤で大学教授に招聘される機会にも恵まれたと言えるが、ご本人の心中は、察するに余りあるものがある。

本文最後に登場するGaN系LEDで、高水準の結晶欠陥がありながらもうまく発光するメカニズムについては、インジウムの添加とかつて量子井戸構造（quantum well）と呼ばれたものによる効果とされている。量子井戸構造は、本文中では量子ドット（quantum dot）と呼ばれている。インジウムと窒素の原子数個レベルの集まり、ないしは原子サイズでの不均一結晶（局在状態）が、非発光再結合を促してしまう結晶欠陥（転位）よりも正孔を引きつけ、発光再結合を促し易いと説明されているようである。素人の想像で言えば、ゴツゴツの砂利を積み上げたのを多結晶の状態だとすると、サラサラの砂を積み上げたものが量子井戸構造と言えようか。またこの局在状態の応用は、他の半導体材料を用いた発光デバイスでも有望視されている。

また白色LEDについて、本文中に登場するのは、紫外光を発するLEDに蛍光体を添加したパッケージをして、従来の蛍光灯と類似の方式で白色光を取り出す方式である。ただし当時は電気エネルギーを光エネルギーとして取り出す効率（内部量子効率）が0.01%と非常に低かった。現在一般的にどの水準の出力が可能かまでは分からないが、紫外光LEDを利用する方式には技術的優位性がないわけではないので、現在でも有望視された選択肢のようである。すなわち現在一般化している方式は青色LEDを利用し、黄色光に変換する蛍光体との組合せで擬似白色光を取り出すものだが、紫外光を利用したものは演色性に優れている（自然光に近い）と言われているからである。