

単純で美しい「真理」の発見が研究の原動力

半導体の品質を「光」で評価し 太陽電池やLSIの発展にも貢献



工学博士 田島道夫氏

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
宇宙科学研究所 (ISAS) 名誉教授
明治大学 客員教授

1975年、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。通商産業省電子技術総合研究所に入所。その後、宇宙科学研究所教授、東京大学大学院教授などを務める。半導体研究振興会渡辺記念研究奨励賞、応用物理学会固体素子材料コンファレンス賞ほか、多数受賞。

半導体の発光現象を使って、不純物などを検出できないか——。1970年代半ば、若き日の田島道夫氏の着目が、その後の半導体産業の興隆を支えました。また、太陽電池開発の分野でも重要な役割を果たしています。研究者として「独創性」を追究しながら、技術普及による「社会への貢献」にも力を注ぐ。そんな宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所の名誉教授 田島道夫氏に、これまでの足跡や、研究にかけるご自身の想いなどを伺いました。

従来の常識を覆す 評価方法を開発

— 家電やパソコンをはじめ、半導体は幅広い製品に使われ、私たちの生活にも不可欠なものです。その品質評価で先生の開発した手法が広く活用されています。

半導体を一言で説明すれば、金属のように電気をよく通す物質と、電気を通さない絶縁体の中間の性質をもつシリコンなどの物質ということになります。そしてこの性質を決定づけているのが、材料中に含まれる不純物です。

不純物には、材料の機能向上に役立つものだけでなく、逆に材料の品質を劣化させるものがあります。ですから、不純物を利用してLSI(半導体集積回路)用シリコンウエハの品質を高めようと思えば、まず不純物元素を特定し、量を測る必要があります。というのは、どんな種類の不純物がどれだけ混ざっているかがわからないと、品質を安定させられないからです。私は、その測定を「フォトルミネッセンス法」を使ったオリジナルの技術で実現する手法を開発しました。

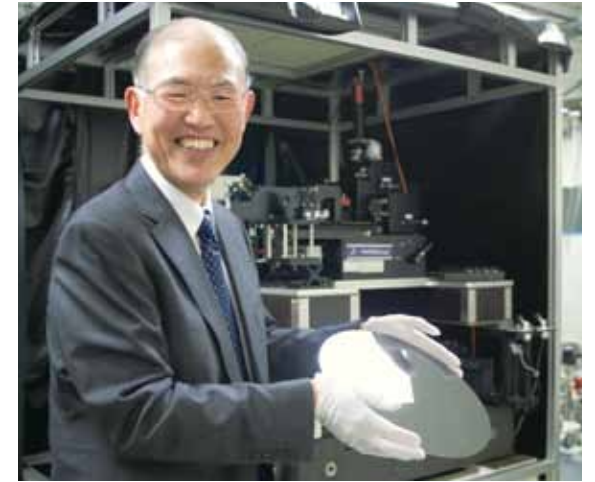
— 先生が開発された「フォトルミネッセンス法」という技術について、改めてご説明いただけますか。

少し専門的になりますが、一般に物質にエネルギーを与えると、そのエネルギーは吸収されます。そして吸収されたエネルギーは、さまざまな形で放出されます。このエネルギーの放出が発光という形で行われる現象が、「ルミネッセンス」です。ここで、光によりエネルギーを与えた場合の発光を「フォトルミネッセンス」といいます。

半導体電子産業の多くで使われるシリコン結晶に、レーザー光を当てると、欠陥や不純物が反応して光を放出します。私はそれを、結晶の評価に応用しました。放出された光を測定・分析し、半導体の中の不純物の種類や濃度を特定するわけです。研究にあたっては、東京大学大学院時代に、発光ダイオードの研究で微弱光の測定を行っていた経験が役に立ちました。



▲半導体の評価ではレーザー光線が大きな役割を果たしている



▲実物のウエハを手に測定装置の前で

— そうした結晶評価法の開発を、大学院修了後に入れた電子技術総合研究所での2年目を実現されたわけですね。ずいぶん順調だったようにも見えます。

そんなこともないんです。いま考えれば、怖いもの知らずだったがゆえにできたことと思います。シリコンウエハに含まれる極微量な不純物を10億分の1のオーダーで測定するのですから、やはり大変でした。ましてや、フォトルミネッセンスを活用するという前例はほとんどありませんでしたし。もし、いまの私が20代に戻ったとして、もう一度同じことをやるかといえば、やらないかもしれませんね(笑)。客観的には、それくらい見込みのないチャレンジだったのです。

それでも当時は、いわば若さに任せて、がむしゃらに研究を続けました。いろいろな試行錯誤を重ねていると、あるとき、結晶からの発光を確認できたのです。そしてたくさんのデータを眺めていると、とても単純で美しい規則性があることに気がきました。すぐさま測定条件などをまとめ直し、改めて検証したら、確かに再現できることがわかりました。このときのことは、いまでもはっきりと覚えています。

— フォトルミネッセンスによる評価法はASTM(米国材料試験協会)規格や日本JIS規格に採用され、世界中に広がっていきました。

このような評価法がJIS規格になることは、あまりありませんでしたし、世界的に権威のあるASTMに、日本発の技術が登録されたのも初めてですので、非常に光栄なことです。

もともと、半導体産業が成長する中、「そこで役に立つ技術」をなんとか開発したいという思いで研究を行っていました。また評価法を開発してからは、メーカー各社とも協力して、それを業界全体で使えるよう、「標準化」に向けた努力も重ねていましたので、規格として認められたことはとても意義深いことでした。

技術の標準化には、研究とはまた違った努力が必要になります。例えば基準となる試料を50セットほど作製し、世界中の名だたる半導体関連企業に配付するなど、周囲の協力を得ながら進めなければなりません。規格になるまでには10年以上もかかりました。

研究者は測定装置の原理を理解しておくことも大事

—半導体を材料とする太陽電池の分野でも、フォトルミネッセンス法が活用されています。

ご存知のとおり、いま太陽電池の需要は急速に拡大しています。加えて、その高品質化も急務です。太陽電池の品質が高まり、発電効率が上がれば、それだけ設置面積は小さくできますし、原料もコストも少なくて済むからです。

そうした中、私たちの研究室ではその基盤となるシリコンの品質評価法として、「フッ酸液浸フォトルミネッセンスイメージング法」を開発しました。これは、従来20分ほどかかっていた品質確認をわずか1秒以下に短縮しながら、分解能、つまり測定的能力は20倍程度向上させる方法です。

太陽電池は、宇宙産業、人工衛星とも深いつながりをもっており、私自身、これまで数多くの科学衛星プロジェクトに、電源分野の責任者として携わってきました。宇宙で使用する太陽電池には、特別な耐久性や性能が求められ、半導体も、複数の異なる材料の積層によってつくられる場合が多いのです。そこで私たちは、この分野でも従来のフォトルミネッセンス法を改良して、各層の半導体を選択的に評価できる方法を編み出しました。現在、非破壊、非接触で前処理も不要という特長から、この方法が、衛星搭載用太陽電池の欠陥の解析でも大きな役割を果たしています。

—先生にはHORIBAの測定装置をご活用いただいています。先生の研究では、「測る」ことが重要な意味をもっていますね。

まさに「測る」ということ自体が、私の研究テーマそのものです。半導体の品質を「評価」ということは、そこに不純物や欠陥を「測定」することにほかなりません。

測定装置に関していえば、新しい評価法を開発する際、メーカーの人の協力を得ながら、自ら改良していくことになります。だから最先端を走っているときは、ノウハウがたまっている装置を外物に見せたくないですね(笑)。以前、私が研究員として留学していたドイツのマックス・プランク固体物理学研究所もそうですが、ドイツは工作部門が優秀で、マイスターと呼ばれる人たちが研究活動を支えています。日本にもそれに勝るとも劣らないエンジニアの方々がいて、フォトルミネッセンス法を確立していく際も、いまでも私の装置を担当してくださっているHORIBAの方も含め、日夜一緒に取り組んでくれました。

—測定装置メーカーに対して何か要望はありますか。

まずは何より、きちんと再現性が出る装置、誰が測っても一定の保証ができる装置をつくっていただくことです。それに加えて、最近は装置が高度になり、いわば“ブラックボックス化”しているので、より細やかな対応してもらえると助かりますね。例えば、何か故障があったときなども、単に部品を交換しておしまい、ということだと、いったい何が起ったのか、こちらにはわからない場合があります。

一方、これは私たち研究者側が心がけなければいけないことですが、測定装置を使用するにあたっては、その原理をしっかり勉強しておく必要があります。ボタンを押して、結果を待っているだけでは、データに潜んでいる意味がわからず、非常に重要な何かを見落としてしまう可能性もありますからね。

「対話」を本気でやると化学反応が起きる

—これまでの活動の中で、「研究者」として大事にされてきたポリシーなどがあれば教えてください。



▲測定結果を必ずノートにも記入するのが田島先生のスタイル

研究活動では、「対話」を重視しています。実は、私がフォトルミネッセンス法の研究成果を発表した当初、国内外でさまざまな批判や議論が巻き起こりました。従来の評価法に比べ、感度が格段に高かったこともあり、「本当にそんなことが可能なのか」「信頼性はあるのか」という反応が多かったのです。

国際学会での発表でも、どんどん質問が飛んでくる。その場で答えられないものには、徹夜で頑張っ、翌日説明する。そんなやり方で一つひとつ必死に対応していく中で、考えも深まり、気付かされることも数多くありました。本気で対話をする、一人では決して出会えなかった発見にぶつかることがあります。実際、私自身のブレイクスルーのいくつかは、そうした対話から生まれています。当時の激しい議論も、いまとなってはいい思い出ですし、その対話の相手が国内外における、私の貴重な人脈になっています。

—なるほど、興味深いですね。そのほか、研究への取り組みで重視していることはありますか。

精神的な面では、「集中」と「ゆとり」でしょうか。独創性を発揮するには「集中力」が必要です。一方そのためには、心の「ゆとり」が欠かせない。少なくとも私の場合、振り返ってみると、ある程度気持ちに「ゆとり」のあった時期に、価値のある発見をしています。もちろんそうした発見にはある種の幸運も必要ですが、その幸運をものにできる余裕があったことも、大きかったように思います。

—先生は研究者として成果を上げられる一方、産業界発展の推進力ともなっています。研究活動におけるやりがい、エネルギーの源について聞かせてください。

宇宙科学研究所では、先に挙げた各種ウエハの精密評価が、おかげさまで宇宙用デバイスの実用化につながっています。またこれまで、半導体材料の高品質化にも貢献することができたと思います。やはり「工学」というのは、人の、社会の役に立ってこそそのものですから、産業の中で私たちの技術が活かされているという事は、モチベーションの向上につながります。

ただ私の場合は、何か特別な使命感をもって研究をしているというより、目の前の課題をいかに解決するかということに全力を傾けている、という実感が強いですね。シリコンから砒化ガリウム、そしてSOI(シリコン・オン・インシュレーター)、SiC(シリコンカーバイド)などと半導体が進化する中、それぞれに対して、いかに有効

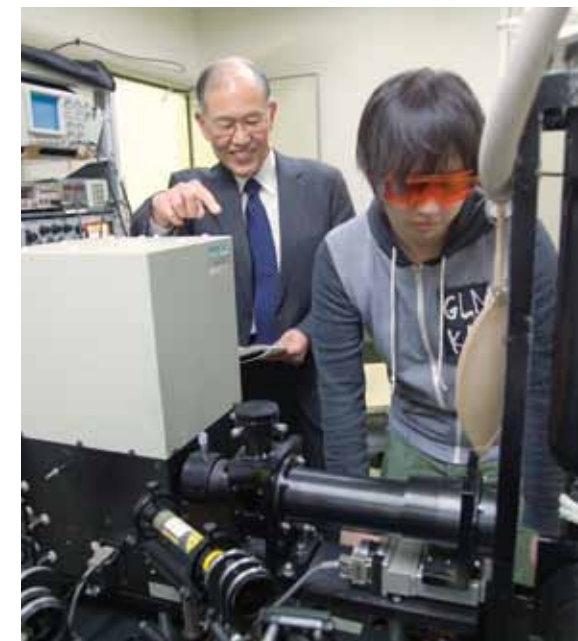
な評価方法を編み出すか。積み上げてきた技術やノウハウを基盤にして、一つひとつ問題点を解消してきた結果が現在の成果だと思っています。

そして、研究活動そのもので感じるやりがいについていえば、一番は「真理の発見」です。言葉で表現するのは難しいのですが、本物の真理というのは、非常に単純で美しい。それを見つけ出すことが科学者としての最大の楽しみです。

—最後に、これからを担う若い研究者や学生へのメッセージをお願いします。

研究者には、何よりも独創性が求められます。「誰もやっていないことを自分の力でやる」「小さくてもいいから何か新しいものを見つける」。この言葉は、指導している学生に常日頃からいっていることです。

新しい発見をする、あるいは新しい手法を確立するというのは、ある意味、孤独で苦しい作業です。先輩がやっていることを受け継いでいくことも大切ですが、それだけではおもしろくない。黙々と研究を続ける中で、何かキラリと光るものに遭遇できたら、研究の醍醐味を実感できます。そして、それを感じた人は、後は何もいなくても、指数関数的に成長していくものです。真理を徹底的に追究すること。そこに成長の力がある、と私は考えています。



▲学生たちの「新たな発見」を見守るのもいまの田島先生の大切な仕事だ