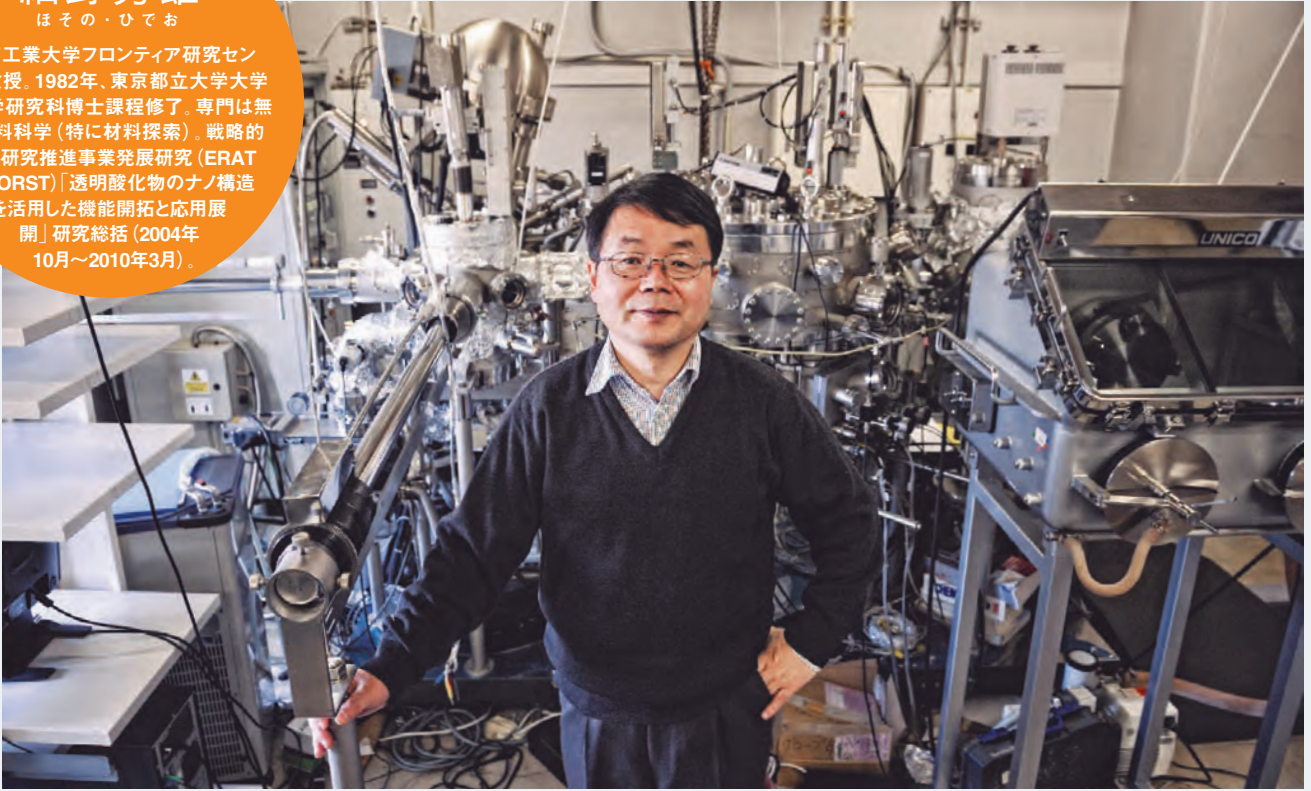


細野秀雄

ほその・ひでお

東京工業大学フロンティア研究センター教授。1982年、東京都立大学大学院工学研究科博士課程修了。専門は無機材料科学（特に材料探索）。戦略的創造研究推進事業発展研究（ERATO-SORST）「透明酸化物のナノ構造を活用した機能開拓と応用展開」研究総括（2004年10月～2010年3月）。



Close up 透明アモルファス酸化物半導体（TAOS）が実用化へ！

実用化には“運”も必要

「3Dテレビ元年」のいま 注目を集める新材料「TAOS」

今年の家電業界の注目商品の1つが「3Dテレビ」だ。画面から飛び出すような立体映像といえば、これまではアミューズメント施設や映画館に足を運ばなければ体験できなかった。しかし、技術の進歩により、いまや3D映像は家庭で楽しめる時代を迎えつつある。2009年末には韓国・サムスン電子が世界初の3Dテレビを発売し、2010年に入って国内メーカーも相次いで製品を発表。市場は大いに熱を帯びている。

より立体感のある3Dテレビなどの実現には、さらに高性能で大画面のディスプレイが求められる。これまでは、ディスプレイの画像情報を制御する薄膜トランジスタ（TFT）には、アモルファスシリコン半導体が長く使われてきたが、アモルファスシリコン半導体は電子の速さの指標である「電子移動度（モビリティ）」が低く、このままでは要求を満たせない。次世代TFTとして研究が進められている有機半導体も、それ以上にさまざまな課題を残している。そんななか、ひととき注目

を集めている新材料が、透明アモルファス酸化物半導体（TAOS=Transparent Amorphous Oxide Semiconductor）だ。

TAOSはモビリティがアモルファスシリコンの約10倍で、理論的には十分に要求を満たせる。また、工業的プロセスである低温スパッタリング法により、製造も簡易でコストの低減も可能だ。実用化に向けクリアすべき問題は残されているものの、新たなTFT材料として大いに期待されているのだ。

ディスプレイ分野最大の国際会議である国際情報ディスプレイ学会（SID）で、2007年、初めてTAOS-TFTを用いたディスプレイの試作品が展示された。以来、年々サイズが大型化。2010年1月には東京工業大学で国際ワークショップ「TAOS2010」（P07右上記事参照）が開かれ、超満員の参加者を集めた。

「大学などの研究機関の関係者ではなく、大半が、日本・韓国・台湾の企業関係者だったんですよ。これは、大学主催のワークショップとしては異例なことだと思います」

そう語るのは、ワークショップの主催者代

表である東京工業大学の細野秀雄教授。TAOSの生みの親だ。

「世界デビュー」を果たすも 国際会議でゼロに近かった反応

細野教授は物質科学のトップランナーだ。1つの材料を突き詰めながら、同時に、いくつものフィールドを自在に行き来するスタイルで、「電気を通すセメント」や「鉄系超伝導物質」など、常識を覆す新材料を見出してきた。そんな細野教授の最大のテーマが、「透明で電気を通す物質」なのだ。

ガラスのように透明な物質は、一般に電気を通さない。ガラスはアモルファス物質である。アモルファスとは「結晶」の対語で、原子の並び方に規則性がない状態を指す。一般に、結晶状態ではよく電気を通す物質も、アモルファス状態ではモビリティが格段に低下してしまう。細野教授はそんな壁を越えるべく研究を重ね、1994年に大きな成果を挙げた。

「結晶透明酸化物半導体の薄膜を作っていたとき、失敗した出来損ないのなかに、ア



TAOSをめぐる近頃の状況



2010年1月25日(月)26日(火)、東京工業大学すずかけホールにて、「透明アモルファス酸化物半導体の現状と将来を探る」をテーマに、国際ワークショップ「TAOS 2010」が開催された(東京工業大学・JST主催)。参加者は国内外企業の技術者240名以上をはじめ360名以上にのぼり、入りきれない参加者は別室でモニターを見ているという盛況ぶりだった。

基調講演では、韓国・サムスン電子の前副社長・昔俊亨氏が「次世代ディスプレイの駆動源にはTAOS-TFTは最有力候補であり、早期の実用化に向けて開発を加速させる」と発言。その他の発表者からも、最新研究成果や世界的な開発動向が紹介された。

台湾のAUO社は、TAOS-TFTを



世界を代表する研究者がそろい、次世代ディスプレイの最前線の講演が聞けるとあって、企業の技術者を中心に多くの関係者が訪れた。

用いたフルHD対応の37型液晶ディスプレイの試作品を発表。これまでTAOS-TFTを用いた液晶ディスプレイのサイズは20型未満にとどまっていただけに、大型化を一気に進めたこの試作品は大きな注目を集めた。大型化に成功した要因としては、TFTの電

極材料によく使われているモリブデンではなくアルミニウムを使用し、それに合わせて構造を見直したことを挙げていた。

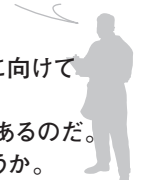
日本のシャープ、NEC、NEC液晶テクノロジー、日立製作所、キヤノン、凸版印刷、大日本印刷、日鉱金属、三井金属、豊島製作所、韓国のサムスン電子、サムスンモバイルディスプレイ、LGディスプレイなどの企業も、TAOS-TFTの長期の信頼性や、光が特性におよぼす影響などの研究発表を行った。

2010年代後半には量産化できるとの見通しを発表した企業もあり、TAOS-TFTを用いたディスプレイの市場導入が近く、今後、国際競争が激しくなることを予感させてワークショップは幕を閉じた。

戦略的創造研究推進事業発展研究(ERATO-SORST)「透明酸化物のナノ構造を活用した機能開拓と応用展開」

です。

3Dテレビなど、ディスプレイ産業が新時代を迎えるいま、「TAOS-TFT」という新技術が実用化に向けて大きな注目を集めている。物質科学の基礎研究が製品化技術に結びついたことに、細野秀雄教授は「運ですよ」と言いきるが、もちろん、そこには運だけでは片づけられない理由があるのだ。自分の発見した成果が世の中の役に立つ——。それは、科学者なら誰もが見る夢ではないだろうか。



モルファス状態でも導電性を保っているものがあることに気づきました。そこからヒントを得て、モビリティがアモルファスシリコン半導体よりはるかに大きな材料が、透明酸化物のアモルファスで実現する発想が得られたのです」

記念すべきTAOSの誕生だ。しかし、いまだこそ脚光を浴びているTAOSも、当初はまるで相手にされなかった。

TAOSが「世界デビュー」を果たしたのは1995年のこと。神戸のポートアイランドで開催された第16回アモルファス半導体国際会議で、細野教授は発表を行った。ところが、反響はゼロに近かったという。

「ポスター発表だったと勘違いしている人もいますが、ちゃんと口頭発表したんですよ(笑)。しかし、質問者は1人か2人。口の悪い人からは、『キミの来る会議じゃないんじゃないの?』なんて言われもしました」

関係者にしてみれば、すでにアモルファスシリコン半導体が市販の製品に組み込まれたしかな実績を積み重ねているのに、生まれたばかりで海のものとも山のものともつか

ないTAOSにあえて手を出す必然性はなかったのだ。しかし、冷ややかな反応にも細野教授はめげなかった。

「認められなくてももともと、というつもりで出た会議でしたから。勝負はこれからと思っていました。何しろ新しいタイプの半導体なのですから」

10年後、同じ国際会議に基調講演者として招かれる

その後、しばらくは研究の土台を固める時期が続いた。1999年から始まったERATO「細野透明電子活性プロジェクト」の一環として、TAOSの持つポテンシャルについて決定版ともいえる論文を発表(2002年)。翌年にはアモルファスではなく、結晶の透明酸化物半導体を用いて高性能のTFTの作成に成功する。そして2004年、大きな転機が訪れた。

「この年から、ERATOの継続研究としてSORST(課題名「透明酸化物のナノ構造を活用した機能開拓と応用展開」)が始まりました。課題を解決するための基礎研究の継続なので、実用化につながる成果をなん

とかささなければいけない。そこで、TAOSのコンセプトのなかでTFTに適した特性を持つ材料を設計しました。それが酸化インジウム・ガリウム・亜鉛(IGZO)だったのです」

アモルファスなら結晶にくらべて均一で大きな薄膜を安く作れる。しかも、IGZOはふだんはほとんど電気を流さないが、電圧をかけるとよく電流が流れるようにすることが容易にできた。これは、実用化に向けて大きな武器になると細野教授は確信した。満を持して研究を進めた結果、アモルファスシリコンや有機半導体を用いた場合の約10倍のモビリティを持ったTAOS-TFTの作製に成功。この研究成果は『ネイチャー』に掲載され、世界中に公表された。そこから、状況が一変する。

「日本はもちろん、韓国、アメリカ、ドイツと、さまざまな国の企業からもすごい数の問い合わせがありました」

あまりの反響にとまどっていた2005年5月、1本の電話があった。9月にリスボンで開催される第21回アモルファス半導体国際会議での基調講演の依頼だ。

「ビックリしましたね! 10年前にはまったく反響がなかった会議に、今度は向こうから、それも基調講演者として来てほしいと言ってきたんですから。そんなこと、夢にも思っていなかったですよ」

そのときの講演を、細野教授はこんなふうにした。[This presentation is a kind of revenge. (この発表は一種のリベンジである)]。

いくら科学的に価値があっても世の中で使われるとは限らない

自分の生み出した新材料が世の中の役に立つことは細野教授の大きな夢だった。


「いくら新材料の論文をたくさん書いたところで、デバイスなどとして世の中で使われないと意義は半減します。でも、実際には、物質科学とデバイスとの距離は遠い。せめて一生に1つでいいからそんな材料を生み出せたらいいなと思っていました。だから、こうして実用化されようとしている状況は、ほんとうにうれしいですね」

その遠い距離をつなげ、実用化へと導くことがTAOSにできたのはなぜか。そう尋ねると、細野教授はこう即答した。

「運ですよ! 間違いなく運です!(笑)」
運、とは言うが――。

世界のだれも作ったことがない、まったく新しい性質を持った透明な物質を作りたい――細野教授は、そんな科学者としての情熱から研究に取り組み、課題解決のために、それを継続させてきた。その先に、TAOSが生まれたのだ。

「まったく新しい特性をもつ物質を見出した自信はありました。でも、いくら科学的に価値があっても、世の中で使われるとは限りません。たとえば野球で、能力の高い三塁手がいたとしても、チームメイトに同じ三塁手の長嶋茂雄がいたら出番はないでしょう?」

TAOSの場合は、液晶ディスプレイのTFTというポジションで、当初は隙がないように見えたライバル選手に、ときが経つにつれてほころびが生じてきたため、出番がやって来たといえる。 

ディスプレイ開発は携帯電話やノートPCが主流で、大型のものは求められていませんでした。それなら既存のTFTで十分。だれも困っていなかったのです。しかし、より高性能で大型のディスプレイが求められる時代になってくると、従来のTFTでは対応できません。市場が新しいTFTを求めていたところに、TAOS-TFTが登場したのです」

TFTというデバイスにしたから世の中がTAOSの価値に気づいた

細野教授は、ニーズが生まれることを見越してTAOSの研究を始めたのではない。しかし、ただ手をこまねいて「運」が来るのを待っていたわけでもない。TAOSを見出した後は、実用化に結びつけるための努力を怠らなかつた。

すでに述べたように、2004年に細野教授が自らTAOSを用いてTFTというデバイスの試作品を作製したことが、TAOSがブレイクするきっかけとなった。注目してほしいのは、TAOS-TFTが薄くて指で簡単に曲がること

「物質科学とデバイスとの距

まったく新しいタイプの物質を作れたのです。



ディスプレイ業界のトップ企業で、細野教授の協力を得てTAOSの実用化に取り組む韓国・サムスン電子の太田隆司専務・技術顧問はこう解説する。

「TAOSが最初に発表された1995年当時、

細野教授が開発したTAOS-TFT。薄いプラスチックの基盤は指で簡単に曲がる。中央に光って見えるのが、TAOSで出来たトランジスタ部分だ。

だ(左下写真参照)。

従来のTFTは硬いガラスなどの基盤の上に半導体の薄膜が作製される。その基盤を薄くて曲げられるプラスチックに変えれば、下敷きのように曲がるディスプレイ、紙のようにペラペラの家電など、従来の常識を覆す製品が実現可能だ。

こうした技術革新の方向性はフレキシブル・エレクトロニクスと呼ばれ、数年前から注目を集めてきた。しかし、アモルファスシリコン半導体の場合、薄膜作製に必要な温度が高く、基盤となるプラスチックが耐えられないため適していない。一方、有機半導体は室温での薄膜作製が可能だが、十分なモビリティを獲得するにはまだ時間がかかりそうだ。

そんなとき、細野教授がTAOSを用いたTFTを作り、「ほら、こんなふう曲がるんですよ!」とデモンストレーションしてみせた。しかもTAOS-TFTは室温での薄膜作製が可能で、モビリティも優れている。このタイムリーな提案に、これこそフレキシブル・エレクトロニクスにうってつけの材料だと、業界が騒然となった。

TAOS-TFTを知った企業は、その高いモビリティに、フレキシブルに限らない大きな可



実用化には“運”も必要です。



能性が秘められていると気づいた。こうして、高性能で大型のディスプレイ実現に適した新材料として、実用化への道が踏み出されたのだ。

TAOS-TFTというアンコウをいち早く食べてくれたことに感謝

TFTというデバイスを自ら作製することで企業の注目を集めた細野教授だが、それだけでは急速な実用化への進展はなかったと考えている。一部の企業がすぐに関心を示し、もう一步先へと進めてくれたことが大きかったというのだ。

「アンコウは外見がとてもグロテスクな魚です。おいしいと知らなかったら、食べてみようとは思わないでしょう。勇気を出して初めて食べた人がいたから、他の人たちが食べようと思えたのです。TAOS-TFTだって、おいしいかどうかは食べてみなければわからない。でも、サムスン電子など業界のトップ企業がいち早く注目して、ディスプレイという形に料理し、おいしさを実証してくれた。だからこそ、他社

の場合にもそんな状況が生まれつつあると思います。TAOS-TFTについては、日本のメーカーも含め、どうもただごとではなさそうだという気運が高まってきてますね」

体の底にある研究者魂に正直に成果が出れば世に出す努力を

太田さんは日立製作所で長年、ディスプレイの製造ライン開発に携わり、カラーブラウン管およびTFTで世界初の全自動ラインなどを建設。数々の世界シェアナンバー1を実現してきた。しかし、2002年、社が大型ディスプレイの開発から撤退の方針を決めてしまう。図らずも人生の岐路に立たされた太田さんは、熟慮の末、日立を離れ、サムスン電子へ移った。自らの開発者魂に正直に、長年の経験を生かせる道を進もうと決断したのだ。そんな太田さんは、細野教授の成功要因を3つ指摘する。

「まず、長年の経験に裏打ちされた直観力がある。やり抜いてきた人ならではの直観です。次に、失敗してもくじげず、成功を追い求める

執念がある。そして、元気で明るい。これはたいせつなことだと思います」

細野教授の原点には、大学院生時代の忘れられない感動がある。当時、電子技術総合研究所（現・産業技術総合研究所）にいた田中一宜博士（現・JST研究開発戦略センター上席フェロー）の講演だ。

「アモルファスカルコゲナイドというガラス半導体が、光によって全体の構造が変わることを発表した講演でした。非常にオリジナルで、情熱的で、田中さんの個性が輝いていて、心の底から感動しました。そのとき、『自分もアモルファスの半導体の研究をしたい』と強く思ったんですよ」

体の底にある研究者魂に正直に、粘り強く研究にあたり、成果が出ればそれが世に出るための工夫や努力を惜しまない——シンプルではあるが、そうした姿勢こそが「運」を引き寄せ、物質科学とデバイスとの距離を縮めたのではないだろうか。細野教授の明るく前向きな笑顔には、そう思わせるだけの魅力とパワーがあった。■

離は遠い」と細野教授は言う。

も追隨し、開発が進んだのだと思います。デバイスならともかく、製品という形で試作品を作るには莫大な費用がかかる。大学の研究室ではなかなか実現できません。企業の方が必要なのです」

そう考える細野教授は、研究結果をできるだけオープンにし、国内外のどの企業からの問い合わせにも、科学に根ざしたものであればよるこんで答えてきた。サムスン電子ともそうしたやり取りを続けてきたが、感心したのは企業側のまっすぐでオープンな姿勢だったという。

「研究状況などを率直に明かし、現場も見せてくれたのです。対応はいつも紳士的で誠意にあふれ、気持ちよくつきあえます」

サムスン電子にいる太田さんも、そうしたオープンな姿勢が、TAOSの開発を促進していると指摘する。

「他社との競争に勝つために、自社の研究を秘密にするのも1つの考え方でしょう。しかし、サムスは違います。研究初期の段階で、どんどん成果を外に発表してしまうのです。刺激を受けた他社も、負けじと同じ研究を進める。それによって業界全体が、なだれを打って自分たちの目指す方向に向かう。TAOS

太田隆司さん

韓国・サムスン電子専務・技術顧問。1972年東京都立大学大学院工学研究科修士課程卒。日立製作所で世界初カラーブラウン管（TV用）全自動ライン、世界初カラーディスプレイ管（PC用）全自動ラインなどを建設。2002年にサムスン電子に入社し、LCD-TV事業化などに携わる。専門は新ライン建設、新プロセス量産適用および不良対策。



市場が新しいTFTを求めていました。



ディスプレイ写真提供：東京工業大学