



## 応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2022年 9月 14日

基調講演：アモルファス酸化物の半導体とその社会実装

Amorphous oxide semiconductors and their social Implementation

# 常識を覆したアモルファス酸化物半導体が 新たに巨大なディスプレイ市場を創出

細野 秀雄（東京工業大学名誉教授・元素戦略センター長）

### 【発表概要】

- ・アモルファス酸化物半導体の1つ、IGZO薄膜トランジスタ（TFT：Thin Film Transistor ※1）は、従来のシリコン半導体と比べて電子の移動度が1ケタ大きい（図1）。
- ・この性能を活用して、IGZO-TFTはスマートフォンやタブレットPC、有機ELテレビなどのディスプレイに幅広く使われ、市場も急成長している。

アモルファス酸化物はガラスと同様な構造を持ち、絶縁体であり電気を通さないのが一般的。ところが細野教授は独自の物質設計に基づき、優れた電子輸送特性を持つ透明な酸化物半導体を創出した。

1995年の国際会議で細野教授が初めて「透明アモルファス酸化物半導体（TAOS：Transparent Amorphous Oxide Semiconductors ※2）」を発表したが、当時はアモルファスシリコンの全盛時代だったため、ほとんど反響はなかった。

その後、時間をかけて設計指針の正しさを理論と実験で確かめた。そして、透明アモルファス酸化物半導体を薄膜トランジスタに使った論文が、2003年『Science』誌（結晶IGZO-TFT）、続いて2004年に『Nature』誌（アモルファスIGZO-TFT）に掲載されると世界の見る目が一変した。その成果が現在の大型有機ELテレビにつながっている。

## 【詳細】

### 大型有機ELテレビの普及を推進、新たなターゲットはメモリーへの応用

それまで誰も考えもしなかった、本来なら絶縁体である透明な酸化物で半導体を創るという発想を、細野教授は具現化し証明した。細野教授の論文が掲載されるとアモルファス酸化物半導体に関する研究が世界中で立ち上がり、上記の2つの論文の引用数は約1万回に達している。

透明アモルファス酸化物半導体の1つであるアモルファスIGZO-TFT（インジウムIn-ガリウムGa-亜鉛Zn-酸素Oを使ったTFT ※3）は、それまで使われていた水素化アモルファスシリコンよりも電子移動度が1ケタ大きいいため、画素を小さくしても電流が十分にとれる。よって、高解像度化が可能、オフ電流が極めて小さく、さらに透明度が高い。これらの理由から、アモルファスIGZO-TFTを採用する液晶ディスプレイは、高精細化と低消費電力などのメリットを得られる。そして、その特徴を最も生かせるのが大型有機ELテレビの駆動だ。有機ELは液晶と異なり、発光強度はTFTに流れる電流に比例する。そのため、大型有機ELテレビはアモルファスシリコンでは駆動が困難だったのだ。

こうした特性が評価され、アモルファスIGZO-TFTはまずスマートフォンやタブレットPCの液晶画面の駆動TFTとして採用された。またアモルファスIGZO-TFTは低コストで製造でき、大型化も容易であるため、大型のディスプレイに向いている。特に大型の有機ELテレビは、IGZO-TFTの採用によってはじめて可能なり、製品化された。このようにアモルファスIGZO-TFTは、液晶・有機ELを問わず、現在では世界標準となりつつある。

昨今では、スーパーハイビジョンやメモリーへ酸化物半導体を応用しようというニーズが強くなっている。これらのニーズに応えるために電子移動度がポリシリコン並みの高い移動度が要求される。ところが、酸化物半導体のTFTでは、移動度を高くすると安定性が低下してしまう。細野教授らはこの原因を解明し、電子の動きやすさと安定性の両立を可能にしたTAOS-TFTを実現した。この成果は2021年の『Nature Electronics』誌に掲載された。また、IGZOを中心とした透明アモルファス酸化物半導体についての初めての書籍『AMORPHOUS OXIDE SEMICONDUCTORS』（細野秀雄・雲見日出也の共編著 / 図2）が、この5月に刊行されている。この本は、世界のエキスパートによって執筆されたもので、一冊で基礎から応用までが網羅されている。IGZOを使ったメモリデバイスは、低消費電力でシリコン半導体との積層に適合するので、これからの展開が大いに進展しそうだ。

### 特許を巡る争いにひるまず

細野教授の研究成果は、科学技術振興機構（JST）のERATO「透明電子活性プロジェクト」（1999-2004）で得られたもの。2003年に結晶IGZO-TFTについて、2004年3月にアモルファスTAOS-TFTについて、国内での特許出願後、韓国、アメリカ、台湾、中国、インド、ヨーロッパなど世界各国で特許が成立しており、JSTがライセンスの許諾を行っている。

「使われてこそ材料だ。しかしライセンスについて、当時は多くの国内企業に打診してもどこも希望しなかった。そこで方針を変更し内外の企業に分け隔てなく供与することにした」と細野教授

は語る。ただし、特許成立までの過程は決してスムーズなものではなかった。まず韓国の特許庁で拒絶され、審決無効訴訟を起こし、それに勝利して成立した。それからJSTがサムソン電子にライセンスを許諾すると、「なぜ日本メーカーではなく、韓国メーカーなのか」と日本のマスコミから非難されている。

それでも「使われてこそ材料」との信念は揺るがず、「インパクトの大きい特許は係争になる。係争にならないような特許は儲からない」と語る細野教授は、2019年には特許をめぐるすべての争いを終了させている。

## 融通無碍の精神で新市場を目指そう

応用物理学学会については「応用とは鷹揚に通じ、鷹揚さにこそ当学会の魅力がある。面白いと思えば融通無碍の精神でどんどん新しいものを取り入れて、そこから世の中に広めていく精神を堅持してほしい。何しろ私自身、1995年の半導体の会議に出たときには“ここはガラス屋が来るところではない”と冷ややかにあしらわれたにもかかわらず、今もこうして研究を続けているのだから」と語り、開拓者精神で社会実装を睨んで臨機応変に研究を進める精神の大切さを強調した。

### 【注釈】

#### ※1 薄膜トランジスタ (TFT : Thin Film Transistor)

トランジスタは、電子回路内での電気信号の増幅やスイッチ動作をする半導体素子で、現代の電子デバイスでは必要不可欠なパーツ。TFTは、基板上に構成される薄型のトランジスタである。ディスプレイにおいては、画面を構成する各ドットでTFTによる表示制御がなされている。

#### ※2 透明アモルファス酸化物半導体 (TAOS : Transparent Amorphous Oxide Semiconductors)

原子が規則正しく配列した結晶の半導体を、配列が乱れたアモルファスにすると、電子の動きやすさ(移動度)が桁違いに低下する。例えばシリコンの場合では、2-3桁も落ちる。しかし細野教授は1995年に、金属イオンと酸素イオンとの電子軌道の空間的広がりと対称性から、結晶と遜色ない移動度をもつアモルファス酸化物半導体を実現する仮説を提唱し、これらの物質群を「透明アモルファス酸化物半導体 (TAOS)」と命名した。その結果、ガラスのように透明で、しかも電子が結晶中のように動きやすく、しかも電気の流れやすさを制御できる半導体を実現した。

#### ※3 アモルファスIGZO-TFT

構成元素がインジウム (In) ・ガリウム (Ga) ・亜鉛 (Zn) ・酸素 (O) からなる、アモルファス酸化物の略称で、細野教授が提唱したTAOSの物質系の1つ。現在では“IGZO=イグゾー”として国際的に認知されている。アモルファスシリコンよりも10~30倍程度の高い電子移動度を持ち、薄膜は可視光を透過させるため、透明の薄膜を作製できる。薄膜は、低温プロセスでのスパッタリングで容易に作製が可能である。従ってプラスチックフィルムなどへの成膜が可能ななどのメリットもあり、さらなる用途拡大が期待されている。

【図】

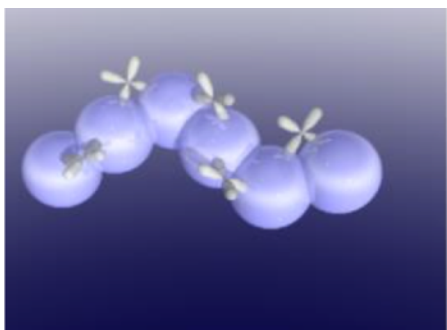


図1. 透明アモルファス酸化物半導体の電子が流れる伝導帯の軌道の構成。電子の流れるパスを大きな空間的広がりをもつ金属の球状の s 軌道で構成すれば、球自体は規則正しく並んでいなくても電子はスムーズに流れるはずという発想で、金属的な伝導をする半導体を創出。この成果により、アモルファスシリコンよりも数十倍も電子がよく動く薄膜トランジスタを実現。

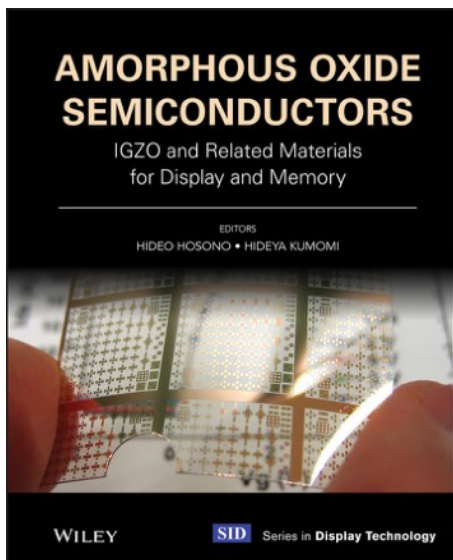


図2. 2022年5月にWiley Series in Display Technologyとして発刊された細野教授の著書。IGZOに関するこれまでの研究成果と、今後の展望であるメモリーへの活用までが網羅されている（雲見日出也氏との共編著）。