

知っておきたいキーワード

透明回路

野村 研二[†], 細野 秀雄[†]

[†] 科学技術振興機構 ERATO-SORST/東京工業大学 応用セラミックス研究所

"Transparent Circuit" by Kenji Nomura (Japan Science and Technology Agency, Tokyo) and Hideo Hosono (Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

キーワード: 透明回路, 透明アモルファス酸化半導体, 透明トランジスタ, ウィンドウディスプレイ, フレキシブルディスプレイ

透明回路とは

透明回路とは、透明な基板上に透明半導体素子を透明金属配線で繋げてつくった、目には見えない電子回路のことです。透明回路自身は、窓ガラスなどへ組込まれることにより目では見えなくなりますが、この窓ガラスは視覚的情報やさまざまな新しい機能の提供を可能とします。このような電子回路が実現すれば、これまでにない新しいディスプレイなどのいくつかの興味ある新しい電気製品や新しいビジネスの扉を開くこととなります。

身近なところでは、いくつかの情報表示機器への応用が考えられます(図1)。例えば、自動車のフロントガラスに運転者向けの運転支援情報を提供するウィンドウディスプレイがその一つです。フロントガラスの自体が直接自発光ディスプレイになるので、明るく高精彩な画像情報を得ることができます。同様に電車などの座席窓でも、地図や停車駅などの乗客向けの支援情報を提供することができるようになります。また、メガネのレンズにも自発光型ディスプレイを作りこむことができ、電子ペーパー同様に必要な時に必要

な情報をどこでも入手できるようになります。このほかにも、紫外線により発電する透明太陽電池などへの応用も期待できます。従来なら、太陽電池といえば、屋根の上に設置され存在感を放っていましたが、透明太陽電池では窓ガラスに設置されていてもわかり

ません。このように目立っては困るような場所にも電子回路をつくることのできるため、既存概念にとらわれない新しいデザインや新しい使い勝手を備えた電気製品が登場する可能性が高まります。

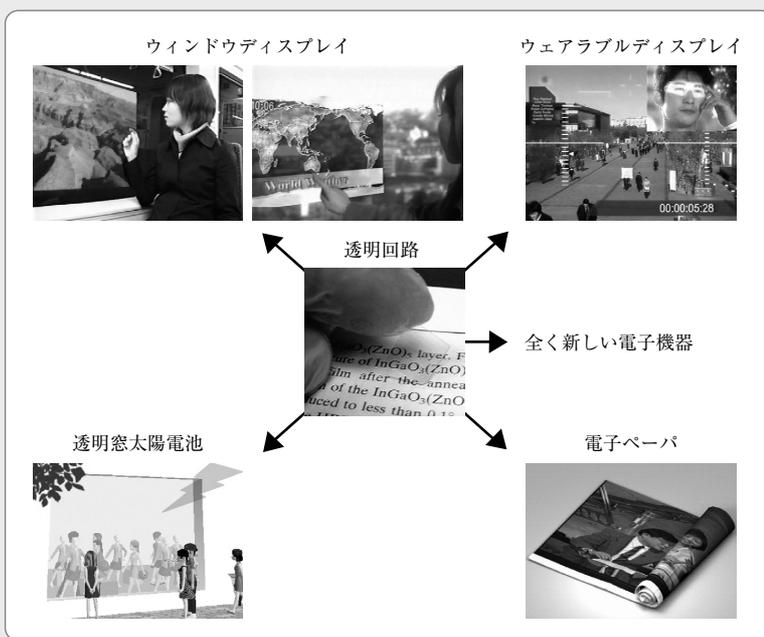


図1 透明回路の応用

透明酸化物半導体

透明回路を実現するためには、基板材料を含めすべての素子、つまり素子を形成する半導体や金属材料自身が透明である必要があります。すでに透明金属材料として、錫ドープ酸化インジウム (In_2O_3 : Sn, ITO) が液晶ディスプレイや太陽電池の透明電極として幅広く使用されています¹⁾。一方、現在、トランジスタを形成する半導体材料には、主にシリコン (Si) が用いられています。しかしながら、シリコンはそのバンドギャップが小さいため、人間の目には灰色に見え透明ではありません。したがって、従来の半導体材料では透明トランジスタなどの素子を作ることはできません。また、透明回路はガラス窓やプラスチックなどの身の周りにあふれた透明基板上に作ってこそ応用が広がるので、低温 (室温) で作ることができ、大面積で均一な性能を示すアモルファス材料が望ましくされています。

最近、可視光に対して透明でしかも性能が高く、室温でも作れる透明アモルファス酸化物半導体のインジウム-ガリウム-亜鉛酸化物 (アモルファス-

In-Ga-Zn-O, a-IGZO) が開発され、それを使った透明回路の研究開発が急速に進んでいます²⁾。多くの半導体材料では、その結晶材料に比べ、原子配列の乱れたアモルファス材料での性能 (キャリア電子の移動度) は、大幅に悪くなりますが、酸化物では構造無秩

序化に伴う電子 (バンド) 構造の変化が小さいため、アモルファス状態でも高い性能を維持します (図2)。このa-IGZOを使った透明トランジスタなどとITOなどの透明電極と組合せることで、透明回路を作ることができるようになってきました。

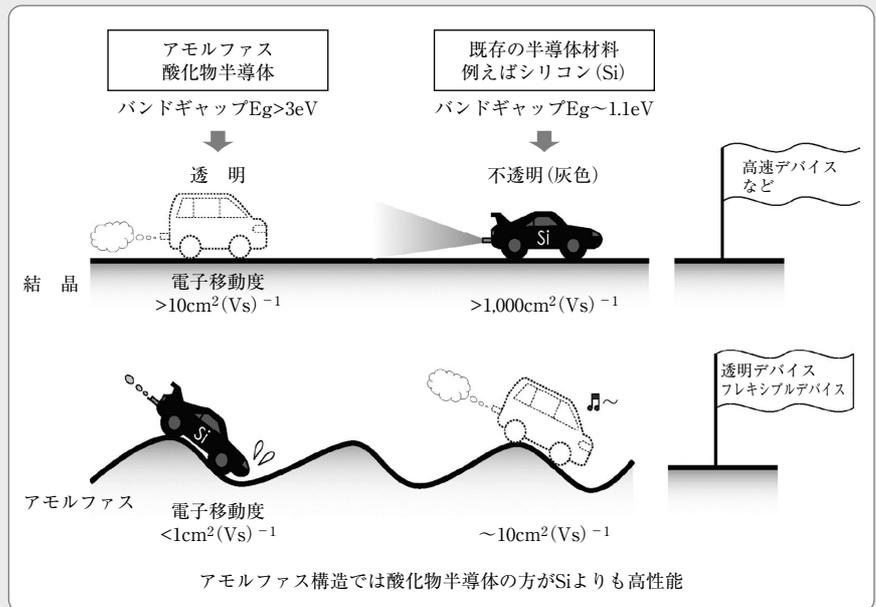


図2 透明アモルファス酸化物半導体とSiとの比較

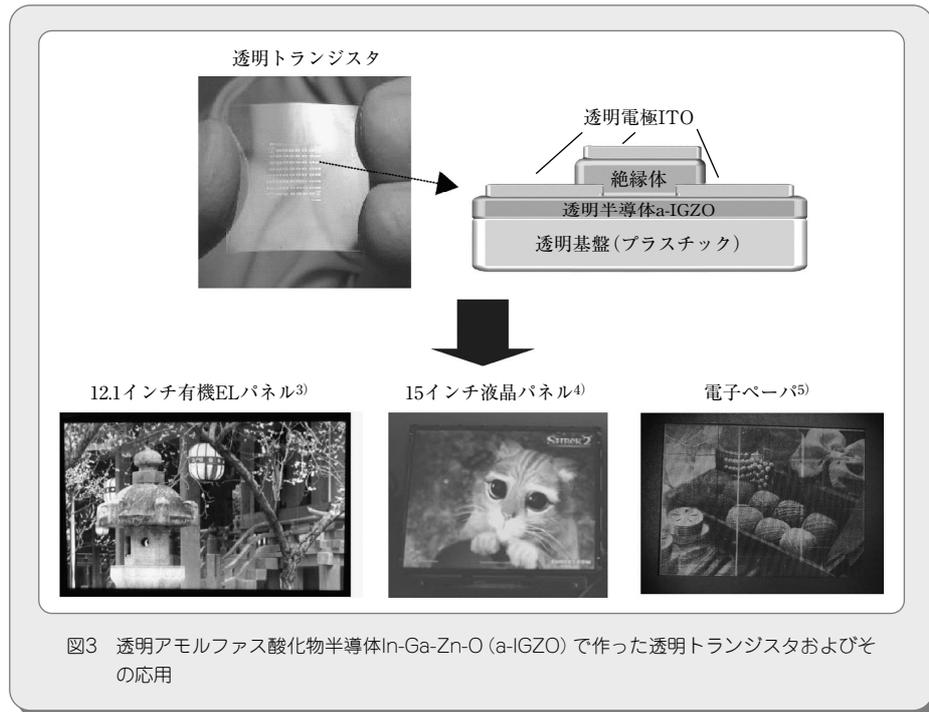
透明トランジスタ

よく知られているように、薄膜トランジスタは、マイクロエレクトロニクス技術を支えるキーデバイスであり、液晶パネルにおいて画素制御用に広く用いられています。この画素制御用トランジスタ部をアモルファス酸化物半導体で作った透明トランジスタにより置き代えることにより、高精細パネルにおける開口率の問題が解決されます。また、この透明トランジスタは性能が高いことから、電流駆動型の有機ELパネルの画素制御用として有望視

されています。

すでに、透明トランジスタを画素制御用として用いた15インチ液晶パネルや12.1インチ有機ELパネルなどが試作されており、透明トランジスタの有用性が実証されています^{3) 4)}。また、室温でも簡単に作ることができるので、フレキシブルなプラスチックや紙の上にも電子回路を作製することができます。これによって、軽量で持ち運びが可能な「電子ペーパー」、「曲がるディスプレイ」や「ウェアラブルなコンピュータ」などで代表されるフレキシブルデバイスへの応用が考えられま

す。さらに図3に示した透明トランジスタを使ったカラー電子ペーパーでは、トランジスタの透明性および低温作製が可能という二つの特長を活かし、カラーフィルタ上に直接透明トランジスタを作っています。こうすることで、カラーフィルタとトランジスタの面倒な位置合わせ (トランジスターが不透明なため) が不要になり、高歩留まりで量産性が向上します⁵⁾。このように透明トランジスタでは、トランジスタの設置箇所の自由度を飛躍的に上げ、素子構造および製造プロセスの中で利点をもたらすこともあります。



今後の課題

電子が移動するnチャンネルの透明トランジスタは、特性の長期安定性などの信頼性などの実用化に向けた研究・開発が活発に行われています。一方、正孔が動くp型透明トランジスタは、

材料開発の段階をでてはいません。したがって、室温で作ることのできるp型透明トランジスタや透明CMOS (Complementary-Metal Oxide Semiconductor) の開発は、透明回路実現への大きな課題です。しかし、これら課題が解決したとき、論理回路への展

開が可能になり、未来SF映画のシーンで見られるような目に見えない電子システムを巧みに利用して、生活する時代が来るのかもしれませんが。

(2009年2月20日受付)

参考文献

- 1) 細野秀雄, 神谷利夫: “透明金属が拓く驚異の世界”, ソフトバンククリエイティブ (2006)
- 2) K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono: Nature 432, 488 (2004)
- 3) J.-H. Lee et al.: Proc. SID'08, pp.625 (2008)
- 4) J. K. Jeong, et al.: Proc. SID'08, pp.1 (2008)
- 5) 伊藤 学: 応用物理, 809 (2008)



のむら けんじ
野村 研二 2004年, 東京工業大学大学院博士課程修了。日本学術振興機構特別研究員を経て, 現在, JST ERATO-SORST細野P研究員。無機材料科学およびデバイス応用の研究に従事。博士(工学)。



ほその ひでお
細野 秀雄 1982年, 東京都立大学大学院博士課程修了。名古屋工業大学工学部助手, 東京工業大学助教授を経て, 1999年より, 東京工業大学応用セラミックス研究所教授。現在, 同大学フロンティアセンター教授。JST ERATO-SORST研究代表者。無機材料科学の研究に従事。博士(工学)。