

# 酸化物半導体の夢 CMOS回路実現に重要な進展： 一酸化スズのP/N制御とホモ接合ダイオードの試作

東京工業大学 細野秀雄、神谷利夫、柳 博(現 山梨大), 小郷洋一

## 1. 背景

酸化物は金属が錆びた物質ですので、大気中で高温まで安定で、電気を流さないという特徴があり、陶磁器、ガラスなどセラミックス製品の原料に広く使われています。酸化物の中には少数ながら電気を流すものが古くから知られています。ITO や酸化亜鉛が代表的なもので、液晶ディスプレイに必要な透明電極の材料として不可欠になっています。最近では、室温で作製でき、アモルファスシリコンの10倍以上の性能を持つ酸化物半導体が次世代ディスプレイ用材料として急速に開発が進められています。

これらの物質はいずれも電子が電気を運ぶN型半導体であり、実際、酸化物の半導体はN型ばかりでした。正孔が電気を運ぶP型の酸化物半導体が作られたのは、1997年になってからでした。

N型半導体だけでも電子デバイスを作ることはできますが、高性能の太陽電池やセンサー、トランジスタを作るには、P型とN型の半導体をくっつけたPN接合が必要です。シリコンなどでは、不純物の種類を変えるだけでP型/N型の制御が可能ですが、酸化物半導体で同一の物質でP型/N型を制御することは難しく、これまでありませんでした。

## 2. 今回の成果

当研究グループは、1997年にP型酸化物半導体をいかに設計するかという指針とともに初めての透明P型酸化物半導体を報告しました。それ以来、一連のP型酸化物半導体を報告してきましたが、それらはいずれも一価の銅イオンを含む化合物で、P型化は容易ですが、N型化が困難でした。そこで、新しい指針に基づき、銅のような遷移金属を用いなくて形状が球形のs軌道が正孔のパスを形成する金属イオンの化合物を探索し、一酸化スズ(SnO)で、良好なP型伝導を実現し、P型動作する酸化物トランジスタを2008年に初めて報告しました。このような材料では、p軌道を使って電子が動くことができますので、N型になることも期待できます。今回の成果は、上記の一酸化スズが、適当な不純物を添加することによって伝導性をP型からN型に変化させることに成功したこと、そして、これを用いてPN接合ダイオードを試作できたということです。

## 3. 成果の意義と波及効果

① 酸化物トランジスタによる相補型回路の実現 (Complementary Metal Oxide Semiconductor; CMOS) : N型の酸化物半導体は、電子の移動度がアモルファスシリコンよりも1桁大きいので、次世代ディスプレイ (高速液晶、有機EL) を駆動するためのトランジスタ材料として、内外の企業群によって、早期の実用化にむけた研究開発が急ピッチで進んでいます (本大会でも、大型ガラス基板上に作製した酸化物TFT特性など多くの発表が予定されています)。この技術は将来、さまざまな電子回路やセンサーなどを集積することで多機能ディスプレイやプラスチック上のコンピュータなどへ展開していくことが期待されていますが、そのためには、低消費電力回路に必要なCMOSを酸化物半導体で実現することが重要です。これまでPチャンネルで駆動する酸化物半導体のトランジスタでまともな特性をもつものは、2008年に発表したSnOを使ったものが唯一です。今回の成果でN型化も可能なことが分かりましたので、SnOトランジスタにかける電圧の正負によって電気を運ぶ担体 (電子または正孔) の制御ができる双極性トランジスタの実現と、同じト

ランジスタによる CMOS 回路実現に接近しました。

② 酸化物太陽電池：酸化物は化学的・熱的に安定なので、その PN 接合ダイオードは太陽電池への応用が期待されます。一酸化スズのバンドギャップは 2 eV 程度と Si などより大きいので、タンデム型太陽電池のトップ層（単結晶形では N 型が、薄膜型では P 型が必要）の候補と考えられます。

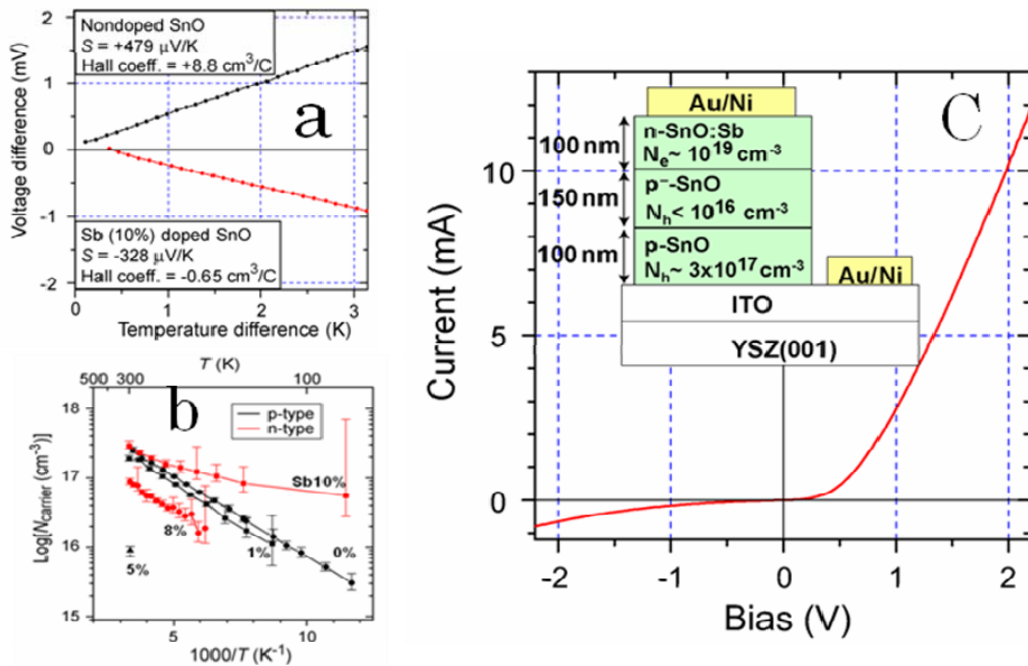


図 1. SnO 薄膜の PN 制御。(a) 熱起電力とホール係数 (b) PLD ターゲット中の Sb 濃度と作製した SnO 薄膜中のキャリア濃度、(c) PN 接合ダイオード

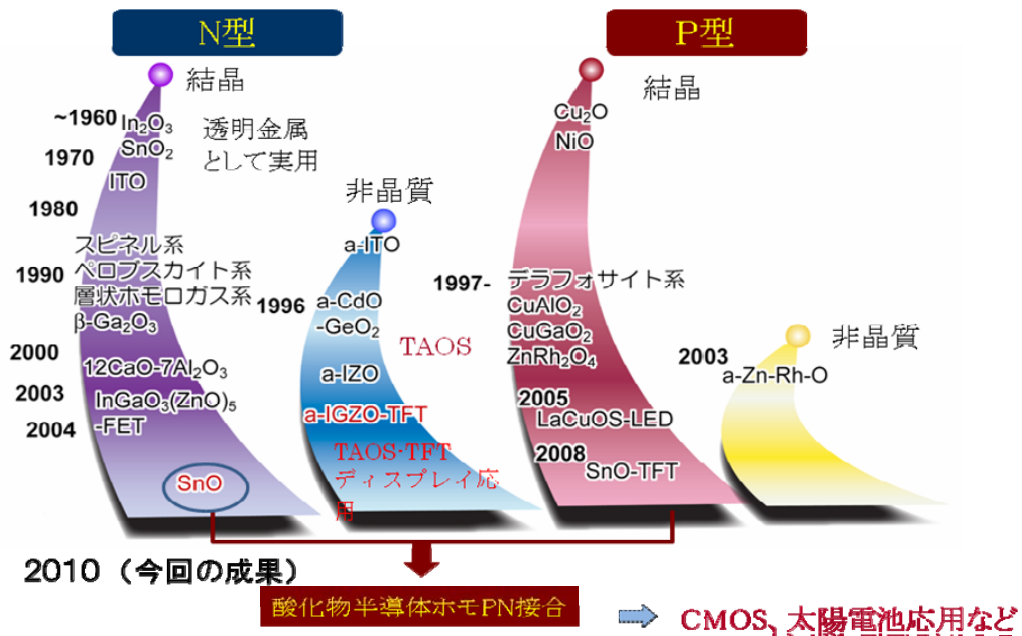


図 2. 酸化物半導体の進展と今回の成果の位置づけ  
 <連絡先 東京工業大学 フロンティア研究センター 細野秀雄  
 TEL 045-924-5359、E-mail [hosono@mssl.titech.ac.jp](mailto:hosono@mssl.titech.ac.jp)>