

Title	産学官連携と知的財産権戦略について酸化物半導体の事例からの分析：東工大細野秀雄教授によるIGZOの発明とライセンス、事業化
Author(s)	中田, 行彦
Citation	年次学術大会講演要旨集, 27: 39-44
Issue Date	2012-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10970
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

1D01

産学官連携と知的財産権戦略について酸化物半導体の事例からの分析： 東工大細野秀雄教授による IGZO の発明とライセンス、事業化

○中田行彦（立命館アジア太平洋大学）

1. はじめに

日本の産学官連携は、制度として 1998 年に「大学等技術移転促進法」（TLO 法）が策定され、1999 年には日本版バイドール法にあたる「産業活力再生特別措置法」が策定された。この日本の産学官連携を知的財産権の視点からみると、日本の大学の特許出願件数は 2005 年度に 9,527 件から 2020 年度 8,675 件と飽和傾向にあるが、特許権保有件数は増加傾向が続き、2010 年度は 9,396 件となっている[1]。大学の特許権の実施は、実施件数の増加傾向が続いており 2010 年度で 4,968 件となり、実施収入も総じて増加傾向であり、2010 年度は 14.5 億円となった[1]。しかし、米国と比較すると、2010 年度の特許出願数 20,642 件、特許登録数 4,469 件であり、特に実施収入は 24 億ドル（約 1,800 億円）と日本の 100 倍以上である[2]。

一方では、東京工業大学の細野秀雄教授らは、科学技術振興機構（JST）プロジェクトにおいて、酸化物半導体を発明した。この酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタ（TFT）をディスプレイに応用することにより、従来と比較して、高精細、低消費電力の画期的なディスプレイを実現できる可能性を持っている[3]。そして、日本の産学官連の現状を打破する可能性を秘めた大学発の発明である。

このため、本研究は、この酸化物半導体の事例について、研究、発明、開発、ライセンス、および事業化の過程を分析することにより、日本の産学官連携と知的財産権戦略を考察し、提言することを目的とする。

2. 産学官連携に関する先行研究

渡部・隅藏は、スタンフォード大学のニールス・ライマース等の事例から、学から産業への技術移転する大学技術移転機関（TLO: Technology Licensing Organization）の重要性を述べている[4]。また、原山は、TLO と製品へ育成するサービスを提供するインキュベータという 2 つの仲介機関を取り上げ、東北大学を事例として、種々の科学技術政策の制定に伴う進展と課題を述べている[5]。青木は、大学を教育・研究のモジュール、産業界を開発・商業化のモジュールと捉え、この間をつなぐメカニズムとして TLO 等の仲介組織の必要性を上げている[6]。

馬場・後藤は、産学連携について、東京大学の事例を中心として調査し、日本の産学連携に関する制度変革が、大学の研究者に大学の産業貢献を重視する意識の変化をもたらし、その成果があがりつつあると述べている[7]。また、企業から大学研究室へ研究人材の派遣に代表される大学と企業の「緊密な連携」が重要であり、中核は大学による企業の人材育成としている[7]。

しかし、先行研究では、日本の産学官連携で大きな成功をおさめた先事例が無かったため、成功事例の分析と提言は無かった。

3. 分析方法

分析対象としては、東京工業大学の細野秀雄教授らが、科学技術振興機構プロジェクトにおいて、発明した酸化物半導体を取り上げる。分析方法として、事例研究のアプローチを用いた。また、事例研究の分析方法として、研究の意図や活動などを見出す目的で、主にインタビュー調査の方法を取った[8]。インタビュー形式としては、インフォーマルな自由な会話の中から分析するため、自由回答方式を取った[9, 10]。

著者は、企業において、液晶ディスプレイに用いる、アモルファスシリコン（a-Si）や低温多結晶シリコン（LTPS）を用いた TFT の研究開発、また特許の評価、共同研究、ライセンス等に約 10 年間従事しており、十分な知識と経験を有している。このため、自由回答方式によるインタビューを取る方が、自由な会話の中から産学官連携に意義のある情報が得られると考えた。

インタビュー調査は、筆者が東京工業大学細野秀雄研究室を 2012 年 8 月 11 日に訪問して、細野秀雄教授に約 2 時間行った（図 1）[11]。

また、特許、学術誌、細野秀雄教授の一般向け書籍[12]およびホームページ、そして月刊技術雑誌の記事等も用いて分析した。



図 1 東工大 細野秀雄教授

4. 酸化物半導体 TFT を用いたディスプレイの研究から事業化への過程

4.1 独創的な研究テーマの設定

細野教授はガラスなどの透明性を持つ酸化物の光・電子機能を追究する研究に興味を長年持っていた[12]。1993年に名古屋工業大学から東工大に助教授として移籍したことをきっかけに、ありふれた元素でできている酸化物を基に光・電子機能材料を研究することを中心テーマに据えた。

材料分野にたずさわる人間は、ありふれた既存の材料を活用して新しい機能を産み出すことに重点を置く必要がある。このため、ありふれた材料である酸化物、より正確に言えば透明な酸化物を研究対象とした[12]。当時の常識では、ガラスなどの酸化物は代表的な絶縁物とみなされていた。しかし、平凡な材料からこそ非凡な成果を生み出したいため、細野教授は、酸化物に電気を通すという、当時の非常識で独創的な研究テーマを設定した。

なぜ、細野教授は非常識で独創的な研究テーマの設定が可能であったのか？「まちがったらどうしよう」という失敗への不安が大きいと、失敗やリスクを回避しようとする。しかし、研究も日々失敗だらけで、その失敗の堆積の上に成果がでる。つまり失敗の回避が成功ではなくて、失敗を通過したものが成功である。失敗を恐れるのは、成功と失敗を対立物にとらええると、成功しなければ成果は無いと考えるからである。しかし、やってみれば、かならず何かしら得られるものがある。失敗から得られるものも多いし、失敗からしか得られないものも多くある。「オール・オア・ナッシング」ではなく「オール・オア・サムシング」である[12]。研究の中から、学術論文や博士論文はかけるものだ[11]。

このように、失敗からも何かしら得られ、それが独創的な研究成果につながるという信念が、非常識で独創的な研究テーマの設定を可能にしている。

4.3 酸化物半導体の設計指針の発表と実証

細野教授は、酸化物の光・電子機能を追究する研究の一つとして、透明なアモルファス酸化物半導体 (TAOS=Transparent Amorphous Oxide Semiconductor) を開発する物質設計の指針を、1995年に神戸市で開催された第16回「アモルファスおよびナノ結晶半導体国際会議」(ICANS 16)で発表した[13]。

設計指針は、各原子の軌道の空間的広がりを基に、透明なアモルファス酸化物半導体ができそうな候補材料の範囲を元素の周期律表の上で示したものである。この透明なアモルファス酸化物半導体の設計指針に対して、発表を聞いた学会のメンバーの注目をほとんど集めなかった[13]。ガラスなどの酸化物は絶縁体であるという常識にとらわれている研究者が多かったからだ。

設計指針の発表の翌年の1996年に、透明なアモルファス酸化物半導体である CdO-GeO₂ 等の薄膜をホール効果を用いて測定し、設計どおりの大きな電子移動度を示すことを報告した。アモルファス IGZO (a-IGZO) 薄膜については、2001年にホール効果を用いて測定により電子移動度が約 30 m²/V·s という発表をした[14]。この a-IGZO 薄膜を TFT に用いた場合に、大幅に TFT 特性が向上する可能性が示唆されたわけである。

4.4 創造科学技術推進事業の研究総括へ

こうした従来の常識を覆す研究成果を基に、細野教授は、科学技術振興機構 (JST) の大型の研究開発支援制度である創造科学技術推進事業 (Exploratory Research for Advanced Technology ; ERATO) の研究プロジェクト「細野透明電子活性プロジェクト」の代表研究者に選ばれた[13]。研究期間は1999年10月から2004年9月の5年間であった。

ERATO は、JST において、科学技術の創造的な研究、特に基礎的な研究をより一層充実させ、しっかりとした工業立国を建設していくために、1981年に発足した[15]。その後、第2期科学技術基本計画や総合科学技術会議の推進戦略など、新しい時代の要請を踏まえ発展的に解消し、2002年度より戦略的創造研究推進事業・総括実施型研究 (ERATO) として新たなスタートをした[15]。

ERATO では、「戦略目標等の達成に向け、新技術の創出に資する可能性が高い研究領域及びその研究領域の運営の責任者である研究総括を定め、研究総括が自らの研究構想 (=研究領域) の実現を目指して研究者を結集し、直接指揮して研究を推進する」となっている[15]。また、ERATO は、1年間当り研究開発資金としては、研究場所賃料、人件費等を全て含んで、約3億円と多額の予算がつく[13]。つまり、研究総括が、研究者を結集し直接指揮する、自由度と責任を持つ研究開発支援制度である。

細野教授は、「これだけの高額予算を与えられることの責任を感じると同時に「総括責任者の名前がプロジェクトの冠名としてついているために、優れた研究成果を上げないと様にならないと思い、新領域の開拓に専心した」という[13]。

この ERATO プログラムの総括責任者の人選は公募ではなく、科学技術振興機構の調査チームが学会などで優れた研究成果を発表した教員・研究者をリストアップし、その研究遂行能力を調査し、さらに、その候補者に研究開発内容を直接、インタビューして人選し、候補者リストをつくる[13]。

細野教授が ERATO の総括責任者に選ばれた当時の JST 理事長は北澤宏一氏であり、北沢氏が細野教授の研究領域に精通していたことが、選定の精度を上げた[11]。

4.5 戦略的創造研究推進事業・発展研究へ

5年間の研究成果は従来無かった新規の酸化物材料の可能性を多数提示した。5年間でかなりの額の研究開発費の支援を受けたことから、細野教授は「産業界で役立つ新材料を提供しないと申し訳ない」と考えた[13]。

独創的な研究成果を上げた細野透明電子活性プロジェクトは、その後継プロジェクトとして戦略的創造研究推進事業・発展研究(SORST)を2004年10月から5年間、実施することが認められた[13]。SORSTは、ERATO等の研究課題のうち、優れた研究成果が期待され、かつ発展の見込まれる研究について、当初の研究期間を越えて切れ目なく研究を継続することで、今後の科学技術の鍵となる大きな研究成果または将来実用化が見込まれる研究成果の創出に資することをねらいとしている。つまり、SORSTは、ERATOやCREST、さきがけ等JSTの戦略的創造研究推進事業の研究成果を更に発展させるための研究開発支援制度である。

4.6 創造科学技術推進事業と発展事業の研究成果

細野透明電子活性プロジェクトの、ERATOとSORSTでの研究成果について述べる。

透明なアモルファス酸化物半導体(TAOS)の光・電子機能を系統的に研究した。2003年頃に、単結晶酸化物であるZnOやInGaZnO₄を用いた高い移動度をもつTFTが発表された[16,17]。ZnOおよびIn₂O₃は単結晶しかできず、移動度は高い。しかし、キャリア密度を小さく制御できず、結果としてオフ電流を抑えられず、ディスプレイに応用した場合に光がもれて黒を黒と表示できなくなる。このため、細野教授は、材料としてa-IGZO(a-InGaZnO₄)材料を選定した[16,17]。キャリア濃度が高いとTFT特性を示さない。このため、ZnOとIn₂O₃膜中に生成する酸素欠陥に起因するキャリア発生を抑制するために、酸素との結合が強いGaを選定した[16,17]。ZnOとIn₂O₃とGa₂O₃の3元系の酸化物薄膜を、系統的に作成し、結晶性とホール効果を用いた移動度等を測定した[16,17]。結晶系IGZO(c-IGZO)も研究し、学会発表している[18]。これらの研究の結果、ZnOとIn₂O₃は結晶化し、他の条件ではアモルファス状態である。また、In-Zn-O系にGaを添加していくと移動度が下がることが判った。この様に、In-Ga-Zn-O系の系統的な研究により、a-IGZO材料をTFTへ応用する好適および最適な成膜条件を見出した[16,17]。

そして、細野教授は、SORSTプロジェクトでは、産業に役立つ研究開発成果を上げることを強く意識し、2004年11月に英国の著名な学術誌「Nature」に、「アモルファス酸化物半導体を用いた透明で曲がるTFTの室温作成」の論文を発表した[19]。図2に示すa-IGZO TFTは、多結晶InGaZnO₄のターゲットに、酸素雰囲気中で、パルスレーザーを照射して飛散させて、樹脂フィルム(PET)上にa-IGZO薄膜を、室温で堆積させて作成した。移動度が6-9 m²/V・sと、通常のa-Si TFTより1桁高い良好な特性であった。なお、オン/オフ電流比は、10³に留まった。これは、TFT作成工程の問題による、ゲートのリーク電流のためであり、a-IGZO薄膜の材料的な問題で無く、その後短期間に10⁶以上になった[11]。なお、この製法は実験室向きであるが、大型液晶の生産に用いられているスパッタ法に容易に置き換えることができる。

この論文は、他の研究者から多くの引用があり注目され、この論文を契機に、透明なアモルファス酸化物半導体の研究が盛んになった[13]。

このプロジェクトは、透明なアモルファス酸化物半導体(a-IGZO)TFTの発明のほか、電気を通すセメントとして酸化カルシウム・アルミナというありふれたセメントの物質を電子材料、鉄系高温超伝導体の発見などの卓越した独創的な研究成果を多数上げて終了した[12]。

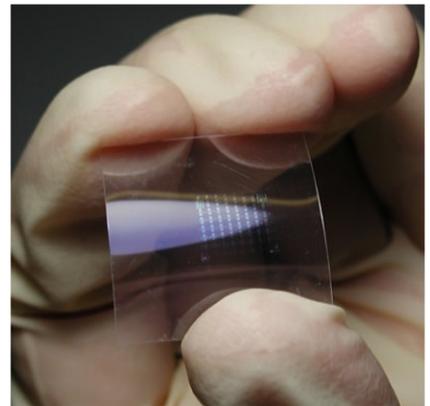


図2 細野教授が発明したIGZO TFT

4.7 産業化のための共同研究、開発

「Nature」にa-IGZO TFTの論文を発表した時点では、国内の大手液晶パネルメーカーの反応は鈍かった[20]。当時、国内液晶パネルメーカーの多くは、ZnO TFTの実用化につまずいた経験があった。その組成が似ている上に、レアメタルのInを使IGZOに拒絶反応をおこしていた[20]。また、生産のばらつきが大きい移動度100 m²/V・sがでるLTPS(低温多結晶Si)技術に傾注していたことも背景にあった[20]。

細野教授は、産業界の企業に採用してもらうためには、企業との共同研究による応用を考えた研究が必要と考え、キヤノンと共同研究を始めた[13]。ところが、キヤノンはディスプレイ技術を持たないため、ディスプレイの映像表示能力を評価して、フィードバックをかけることができなかった[20]。

キヤノン以外にも、応用に意欲がある凸版印刷や、韓国のサムソン電子の研究所、LG電子などと、プロジ

エクトの研究現場で議論を重ねた [13]。この結果、凸版印刷は a-IGZO TFT を用いた電子ペーパーを試作するなどの応用開発を始めた [13]。

LG 社は研究成果をオープンにせず、実用化投資判断も遅れがちであった [20]。一方サムスン電子は、研究成果の議論に非常にオープンで、リスクも積極的に取った [20]。つまり、基礎研究から液晶パネルの実用化まで立ち止まらずに進んだのは、サムスン電子だけであった [20]。

また、2009 年頃からは、a-IGZO TFT を用いた高解像度・3 次元・大型液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレイの試作・展示が国内外の国際会議や展示会で目立つようになった。2010 年 5 月 23～28 日に米国シアトルで開催された Society for Information Display (SID) 2010 において、a-IGZO TFT を用いたディスプレイとして、AUO 社は 32 型液晶と 2.4 型有機 EL、LG は 2.8 型液晶、SMD 社は 19 型有機 EL、ソニーは 11.7 型有機 EL 等を発表・展示した [21]。

4.8 酸化物半導体の特許とライセンス

a-IGZO 薄膜を活性層に用いた TFT の特許は、2002 年 9 月 11 日に登録 [22]、2008 年 8 月 8 日に登録された [23]

特許については、JST から研究予算を得ていたこと、国立大学の法人化前であったことから、JST が関連特許をパテントプールとして一括管理し、利用者が活用し易いようにした [11]。東工大とキャノンは、a-IGZO TFT の共同研究を行い、多数の特許を共同出願していたが、キャノンがディスプレイを事業として実施することは結果として無くなったため、東工大とキャノンが共同出願した応用・周辺特許も、パテントプールに一括され、技術移転によるライセンスを JST に委託することになった [11, 20]。基本特許をはじめ、約 70 の多数の特許がパテントプールとして管理されている [11]。

細野教授は、使われてこそ材料との信条から、国内国外の企業に分け隔てなくライセンスしたいという考えを当初から持っていた。

しかし、日本企業は、既に事業化している a-Si TFT や LTPS TFT との得失比較や、結晶 ZnO TFT の特性評価、またディスプレイを事業化するか判断等により、ライセンスに消極的であった。サムスン電子だけが、基礎研究から液晶パネルの実用化まで立ち止まらずに進んだ [20]。その結果、JST はサムスン電子と a-IGZO TFT に関する通常実施権のライセンス契約を 2011 年 7 月 20 日に締結した [24]。

しかし、一般の方などには経緯と状況が伝わらず、技術流出と「非難をされることもあった」と、細野教授は語った [13]。米国では、大学の多数の特許が技術移転機関 (TLO) を通じてライセンスされるが、事業化される確率を高めるため、一つの企業に専用実施権をライセンスするのではなく、多くの企業に通常実施権がライセンスされるのが殆どである。このことから、技術流出と非難されるのはならず、日本の企業の「目利き」能力を向上する必要がある。

なお、JST はシャープと、a-IGZO TFT に関するライセンス契約を 2012 年 1 月 20 日に締結した [25]。

なお、細野教授は、「特許取得、パテントプールの形成、ライセンスには、旭化成株式会社出身で JST の知的財産戦略センターに勤務している尾崎勝氏が、大きな役割を果たした。この活動が無ければ、多くの関連企業にライセンスできるには至らなかった可能性が高い。」と述べている [11]。まさに尾崎氏が、産学官連携コーディネーターの役割を果たしている。

細野教授は、大学が独創的な基本特許を産み出しても、応用に関心を持つ企業と共同研究を実施し、多くの応用・周辺特許を出願しないと「産業化が難しいということ、企業との共同研究などから学んだ」という [13]。

4.9 ライセンス後の商品開発の動向

2012 年 1 月米国ラスベガスで開催された Consumer Electronics Show 2012 (CES 2012) において、サムスン電子と LG 電子は、55 インチの有機 EL ディスプレイを展示した [26]。

シャープは、JST からのライセンスを受け、世界で初めて a-IGZO TFT を採用した液晶パネルの生産を、2012 年 4 月から本格的な生産に移行した [27]。亀山第 2 工場は、2006 年 8 月より稼働し、テレビ用液晶パネルを生産していたが、モバイル機器向けの中小型液晶パネルの需要急拡大に対応し、第 2 工場の既存ラインを IGZO 用に改造した。シャープは、ライセンスを受けた IGZO の量産技術の開発には、半導体エネルギー研究所の協力を得た [28]。2012 年 6 月 1 日のシャープによる IGZO 技術発表会では、高い移動度によつ TFT の小型化と配線の細線化により「2 倍の高精細化」、高いオフ特性を活かした新駆動方式による「1/5～1/10 の低消費電力化」を発表した [3]。

2012 年 6 月 3～8 日に米国ボストンで開催された Society for Information Display (SID) 2012 において、LG 電子が CES12 で展示した 55 インチ有機 EL ディスプレイは、a-IGZO TFT を用いていることを発表するとともに、有機 EL テレビを展示した [29]。また、SID 2012 では、a-IGZO TFT を用いたテレビとして、シャープが

32 型と 13.5 型液晶 4.9 型有機 EL、ソニーが 9.9 型有機 EL、東芝が 11.7 型有機 EL、そして AUO が 32 型有機 EL 等を展示した[29]。

なお、シャープの亀山第 2 工場で生産される a-IGZO TFT 採用した液晶パネルは、アップルのタブレット iPad 用に出荷されている[30]。

4.10 特許成立への大学の取り組み姿勢

細野教授が出願した基本特許は、日本国内では成立していたが、韓国の特許庁は「容易に推定できる」という理由で、特許としての独自性を否定し、2009 年 5 月に拒絶査定するという判断を下した[13]。

細野教授は、学会などで国際的に独創的な研究成果と認められていても、特許としては認めないことに対して「5 年間の研究成果を否定されたものと感じたため、当該特許の成立に精力を傾けた」という[13]。

特許庁の審査官は原則、文献主義によって特許の新規性や独創性などを判断する。このため、細野教授は当該特許申請の請求人である JST の代理人弁理士の補助説明者として、韓国の特許庁の拒絶決定不服の場に入った[13]。その結果、韓国でも特許として査定され登録された。

この経験から、細野教授は「研究者本人がその研究成果の新規性などを丁寧に説明することが大切で、発明者が本気で特許成立に取り組まないと、特許係争には勝てない。」と述べている[13]。

5. 事業化とライセンス収入

シャープは、既に述べたように、世界で初めて a-IGZO TFT を採用した液晶パネルを亀山第 2 工場で生産している。また、多くの企業が a-IGZO TFT を採用した液晶と有機 EL の商品を発表している。

この様に、IGZO は、スマートフォンやモバイル向け液晶のみならず、有機 EL やテレビにも、大きな革新をもたらすと期待される。

現在までにサムスンやシャープ、JX 日鉱日石金属など国内外 8 社とライセンス契約を結んでいる [31]。ライセンス契約を結んだ企業が IGZO を使った TFT で収益を上げた場合、JST や東工大、共同研究した各企業に特許収入が入る。特許収入は、液晶パネルメーカーであれば、パネル売上高の 1%前後に相当すると見られる。世界のディスプレイ市場が約 10 兆円と大きいことを考えれば、特許収入は青色 LED の技術で名古屋大学などが得た国内研究機関で過去最高の約 56 億円を超える可能性が十分にある [31]。長い時間が費やされる基礎研究で取得した特許は、実用化時には特許切れになってしまうことも多いが、IGZO の特許はまだ 10 年以上有効期間が残る。

この IGZO の事例が、大学の発明がライセンスされ事業化される、産学官連携と知的財産権戦略の成功事例となる期待が高まっている。

6. IGZO の事例の含意

IGZO の事例は、産学官連携と知的財産権戦略の成功事例と成りえる。この事例から得られる、産学官連携を成功させるための含意をまとめる。

- 1) 独創的な研究テーマの設定と研究管理ができる教員、研究員の育成
- 2) 科学技術の創造的な研究、特に基礎的な研究を支援する大型の研究開発支援政策・制度
- 3) 「目利き」、ライセンス等に精通した産学官連携コーディネーターの育成
- 4) 企業で「目利き」、ライセンス等の戦略企画・実行できる「孵化・事業化プロモーター」の育成

企業においても、「目利き」から、大学や企業内で企画、交渉、判断、実行を行って、研究・開発から孵化・事業化へ誘導する戦略企画・実行ができる人材が必要である。この人材を「孵化・事業化プロモーター」名付け、その育成が必要である。

7. まとめ

東京工業大学細野秀雄教授による酸化物半導体 IGZO の事例について、研究、発明、開発、ライセンス、および事業化の過程を分析した。

その結果、IGZO は、JST から多数の企業にライセンスされ、事業化が進んでいる。

このため、IGZO の事例は、産学官連携と知的財産権戦略の成功事例と成りえる。この事例から、産学官連携を成功させるための、以下の含意をまとめた。

- 1) 独創的な研究テーマの設定と研究管理ができる教員、研究員の育成
- 2) 科学技術の創造的な研究、特に基礎的な研究を支援する大型の研究開発支援政策・制度
- 3) 「目利き」、ライセンス等に精通した産学官連携コーディネーターの育成
- 4) 企業で「目利き」、ライセンス等の戦略企画・実行できる「孵化・事業化プロモーター」の育成

この事例から得られた含意から、さらに日本の産学官連携と知的財産権戦略が進展することを期待する。

参考文献

- [1] 科学技術振興機構 産学官連携データブック 2011~2012,
http://sangakukan.jp/top/databook_contents/2011/cover/2011-2012_databook_ALL.pdf
- [2] AUTM Association of University Technology Managers; Licensing Activity Survey Highlights: FY2010,
http://www.autm.net/AM/Template.cfm?Section=FY_2010_Licensing_Survey&Template=/CM/ContentDisplay.cfm&ContentID=6874
- [3] AV Watch、シャープ、IGZO 液晶新技術, 2012 年 6 月 1 日
http://av.watch.impress.co.jp/docs/news/20120601_536950.html
- [4] 渡部俊也、隅藏康一 **TLO とライセンス・アソシエイト**, 株式会社ビーケイシー (2002)
- [5] 原山優子「産学連携の仲介機関：TLO とインキュベーターの現状と課題」Stanford Japan Center, (2003)
- [6] 青木 昌彦 **比較制度分析序説 経済システムの進化と多元性** 講談社, (2008)
- [7] 馬場靖憲、後藤晃 (2007)『産学連携の実証研究』東京大学出版会
- [8] Patton, Michael Quinn, **Quantitative Research & Evaluation Methods**, Sage Publications, (2001)
- [9] Kvale, Steinar, **Interviews: An Introduction to Qualitative Research Interviewing**, Sage Publications, Inc. (1996)
- [10] Goetz, J. P. & LeCompte, M.D. **Ethnography and Qualitative design in education research**, Academic Press. (1984)
- [11] 中田行彦 細野秀雄教授へ東京工業大学細野研究室にてインタビュー 2012 年 8 月 11 日
- [12] 細野秀雄, **好きなことに、バカになる**, サンマーク出版 (2010)
- [13] 丸山正明 酸化物半導体の基本特許を出願して、さまざまなことを体験しました Tech-On,
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20120221/205372/?P=4>
- [14] M. Orita, H. Ohta, M. Hirano, S. Narushima, H. Hosono、Phil. Mag. B, 81, 501-515, (2001)
- [15] 創造科学技術推進事業 (Exploratory Research for Advanced Technology ; E R A T O)
<http://www.jst.go.jp/erato/index.html>
- [16] K. Nomura, A. Takagi, T. Kamiya, H. Ohta, M. Hirano and H. Hosono, “Amorphous Oxide Semiconductors for High-Performance Flexible Thin-Film Transistors”, **Japanese Journal of Applied Physics**, Vol. 45, No. 5B, 2006, pp. 4302-4308, (2006).
- [17] T. Kamiya and H. Hosono, “Material characteristics and applications of transparent amorphous oxide semiconductors”, **NPG Asia Materials**, 2(1) pp. 15-22, (2010)
- [18] K. Nomura, H. Ohta, K. Ueda, T. Kamiya, M. Hirano, Hideo Hosono, Thin-Film Transistor Fabricated in Single-Crystalline Transparent Oxide Semiconductor, **Science**, Vol. 300 no. 5623 pp. 1269-1272, (2003)
- [19] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono, “Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors,” **Nature**, Vol. 432, 2 November, 2004.
- [20] 野澤哲生, 「酸化物半導体 TFT の特許、JST が Samsung 社に実施権」、**日経エレクトロニクス**、2011 年 8 月 22 日号、pp.16-17.
- [21] 佐伯真也 「FPD 新技術 SID 2010 報告」**日経エレクトロニクス** 2010 年 6 月 28 日 p61-69
- [22] 太田裕道、細野秀雄、神谷利夫、平野正浩 「ホモロガス薄膜を活性層として用いる透明薄膜電界効果型トランジスタ」公開特許公報 特開 2004-103957 号、公開日 2004 年 4 月 2 日
- [23] 太田裕道、細野秀雄、神谷利夫、平野正浩 「ホモロガス薄膜を活性層として用いる透明薄膜電界効果型トランジスタ」特許公報 特許第 4164662 号、特許権者 科学技術振興機構、HOYA、登録日 2008 年 8 月 8 日 (出願日 2002 年 9 月 11 日)
- [24] 科学技術振興機構、東京工業大学、高性能の薄膜トランジスターに関する特許のライセンス契約をサムスン電子と締結 2011 年 7 月 20 日
- [25] 科学技術振興機構、ニュースリリース J S T とシャープが酸化物半導体に関するライセンス契約を締結 2012 年 5 月 29 日
- [26] 高橋史忠、佐伯真也 「韓国大手が有機 EL テレビ 2012 International CES」**日経エレクトロニクス** 2012 年 1 月 23 日 p10-11
- [27] シャープ ニュースリリース 「世界発酸化物半導体を採用した液晶パネルの生産を開始」 2012 年 4 月 13 日 <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/120413-b.html>
- [28] シャープ ニュースリリース 「シャープと半導体エネルギー研究所がディスプレイを革新する酸化物半導体の新技術を共同開発」 2012 年 6 月 1 日
- [29] 佐伯真也 有機 EL が液晶に挑む SID 2012 詳報 **日経エレクトロニクス** 2012 年 7 月 9 日 p63-72
- [30] 田中深一郎 「シャープ再建、アップル次第」**日経ビジネス** 2012 年 9 月 3 日 p13
- [31] 田中深一郎 「ディスプレイ特許の成否は」 **日経エレクトロニクス** 2012 年 4 月 23 日号 p18