

研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名： 透明酸化物のナノ構造を活用した機能開拓と応用展開

2. 研究総括： 細野 秀雄（東京工業大学フロンティア研究センター 教授）

3. 研究内容および成果：

本研究の目的は、ERATO細野透明電子活性プロジェクト(1999年10月から2004年9月)において見出された透明酸化物および関連化合物の新規機能の応用展開を図ること、並びに関連する新たな化合物を探索することであった。酸化物・関連化合物中に自然に形成される「ビルドインナノ構造」を有効に活用することや、多様な元素の組み合わせによる、「使われる」材料の提案やそれを用いた電子デバイスの作製、物質科学の常識を打ち破る新たな物質を見出すことが、本研究の主体であった。

本研究は、研究総括の属する東京工業大学フロンティア研究センターを中核として進められ、二つの研究グループ(応用展開グループと機能探索グループ)が置かれた。この二つのグループにおいて、それぞれ世界的にも高く評価されている成果を中心にまとめる。

(1) 「応用展開グループ」での最大の成果は、透明アモルファス酸化物半導体(TAOS)を用いた薄膜トランジスタ(TFT)の作製である。既にERATO期間に、 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_5$ 単結晶をチャネル層とするTFT作製に成功していたが、単結晶であることや作製温度(1000°C)などの理由で、実用面での障壁が懸念されていた。そこでSORSTでは、In-Ga-Zn-O(IGZO)アモルファス酸化物に着目し、室温で成膜したTFTがアモルファスシリコンをチャネル層にしたTFTと比べて、1桁以上大きな電子移動度($\sim 10\text{cm}^2/\text{Vs}$)を有することを見出した。

この成果を2004年末にネイチャー誌に発表して以降、国内外の研究機関やディスプレイメーカーが多数この研究に参入し、幾つかの国際会議で特別セッションが設けられるなど、研究開発が活発となった。一方、実用化に向けての開発競争も加速し、第8世代以降のフラットパネル液晶ディスプレイの駆動源への応用が具体化されつつあり、有機ELディスプレイや電子ペーパーなどへの展開も期待されている。

(2) 「機能探索グループ」での最大の成果は、鉄ニクタイト系高温超伝導化合物の発見である。その発端には、ERATO期間に見出した透明酸化物半導体 LnCuOCh (Ln =ランタノイド、 Ch =S, Se)系を拡張した $\text{LnTMO}Pn$ (Ln =ランタノイド、 TM =3d遷移金属、 Pr =P, As)の機能探索があり、その結果、2006年に LaFePO の超伝導(超伝導転移温度 $T_c = 4\text{K}$)を、2008年2月には、 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ の超伝導($T_c = 26\text{K}$)を、それぞれ発見した。

特に $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ の超伝導発見以降は、中国の研究グループを中心とした周縁化合物の発見($\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ など)、異なる結晶構造からなる鉄系超伝導物質(FeSe など)の発見が相次ぎ、新たな「高温超伝導フィーバー」と称される波及効果を生み出した。米国化学会誌(JACS)に発表さ

れた研究総括らの $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ の超伝導に関する論文は、サイエンス誌の「2008年のブレークスルー」の一つとして採り上げられ、現時点で1300件以上の論文被引用回数を誇っている。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文:(邦文) 2件/(英文) 245件

口頭発表:(国内) 529件/(海外) 108件

特許出願:(国内) 46件/(外国) 14件

研究成果の状況という視点では、上記のような量的な側面のみならず、質的な側面においても文句の付けようのない成果を産み出したと評価できよう。

具体的に、3-(1)で述べた「TAOS-TFTの作製」は、既存主流のトランジスタの性能を凌駕する性能を、極めて簡便に作製することができることを指し示した。研究総括からの報告によると、関連する特許は21件出願され(国内15/海外6)、既にTFTを作製するためのスパッター用ターゲットについては、7社とのライセンス契約が締結(もしくは契約交渉)されており、SORSTにおける研究成果をもとにした実用化が、近い将来十分に期待できる。研究総括の切り拓いたTAOSの物質科学研究は、既に企業を中心とした実用化開発へと展開し、使われる材料へと変貌を遂げようとしている。実用化開発の中から質的に新しい基礎研究のシーズが見つかれば、さらに実り多いかも知れない。

また、3-(2)で述べた「鉄ニクタイト系高温超伝導化合物の発見」は、学術的な意義深さが強調されよう。超伝導とは相性の良くない磁性の典型元素である鉄を含む化合物が超伝導を示したということは、従来の物質科学における常識を覆したものであるといえる。

4-2. 成果の科学技術への貢献

「TAOS-TFTの作製」や「鉄ニクタイト系高温超伝導化合物の発見」に代表される成果が、それぞれ主に、産業面や学術面で多大なインパクトをもたらしたことを高く評価したい。

現在10兆円の産業規模にまで成長したフラットパネルディスプレイは、今後発展を遂げ、2015年には13兆円の規模に、2025年には20兆円の規模にまで成長することが予測されており、このうちの約3割がSORSTにおける成果(TAOS-TFT)が反映されることが推定される。このことを以てしても、産業面でのインパクトが推し量れるであろう。

既に3-(2)でも述べたように、「鉄ニクタイト系高温超伝導化合物の発見」のインパクトは、論文被引用回数などに象徴されている。同じく4-1.でも述べたように、鉄を含む化合物が超伝導を示したということは、より高い T_c を持つ超伝導物質探索において、様々な可能性を指し示したといえる。新しい超伝導物質探索の今後に期待したい。

4-3. その他特記事項(受賞等)

研究総括は、一連の業績が評価されて、紫綬褒章や藤原賞などを受賞した。また「TAOS-TFTの作製」に関連しては、SID (Society for Information Display) Special Recognition Award を、「鉄ニクタイド系高温超伝導化合物の発見」に関連しては、Bernd T. Matthias Prize をそれぞれ受賞した。本研究に参画した若手研究者についても、文部科学大臣表彰(若手研究者賞)や日本化学会進歩賞などを受賞した。

また研究総括は、2009 年度に、内閣府の「最先端研究開発支援プログラム」における 30 人の中心研究者の一人として採択された。遂行する研究課題は「新超電導および関連機能物質の探索と産業用超電導線材の応用」であり、本研究で得られた成果や知見がさらに大きく発展することを期待しつつ、その一方で新たなブレークスルーにも期待したい。