

2004 年度 ナノ材料に関する動向調査 概要

1. はじめに

ナノテクノロジーは、最先端のもの作りを標榜する我が国の産業政策の中でも情報通信、バイオテクノロジー、環境・エネルギーなど、非常に広範囲の産業に変革をもたらす重要技術分野として位置付けられている。我が国のみならず先進各国でも、ナノテクノロジーは国家的プロジェクトとして位置付けられており、激しい国際競争が繰り広げられている。

2004 年 4 月に設立された特定非営利活動法人「未来技術フォーラム神戸」では、一般企業の中長期計画では見通しにくいと思われる 10～20 年先の技術トレンドを予測し、今後の技術開発の一助となることを願って活動を行っている。2004 年度は、ナノテクノロジーを用いて作製される「ナノ材料」に焦点を当てて、調査活動を実施した。

2. 調査方法

本調査では、半導体分野、エネルギー分野等の国内外の先端技術に関する各種展示会や、米国 Stanford Research Institute(SRIC-BI)のマルチクライアント調査等の情報源から、国内外のナノ材料技術に関する動向を広くサーベイすることに注力した。

本報告では、半導体分野、ディスプレイ分野、エネルギー分野へのナノ材料の活用状況を中心にまとめた。また、ナノテクの代表格として注目されているフラーレン、カーボンナノチューブなどのカーボン系新材料の技術動向についても述べる。

最後に、ナノ材料が環境や生体に及ぼす影響を明らかにする試みが始まっていることから、ナノ粒子を含むナノ材料の社会適合性評価に関する国内外の動向についても触れる。

3. 半導体分野のナノ材料

半導体分野は、微細加工技術のスケールがすでにナノメートルの領域に達し、トップダウンのナノテクノロジーと呼ばれる。半導体デバイスメーカーや半導体製造装置メーカーにより、国際半導体技術ロードマップ(ITRS:International Technology Roadmap for Semiconductors)が策定されている。テクノロジーノードと呼ばれる LSI 用 MOS トランジスタの代表的なサイズ(隣り合うトランジスタの間隔の 1/2 の長さ)は、2004 年の 90nm から、2007 年には 65nm、2010 年には 45nm となり、ナノテクノロジーの領域に入る。半導体業界には、「素子のトランジスタ数が 2 年毎に 2 倍になる」というムーアの法則と呼ばれる技術トレンドがあり、2018 年まではムーアの法則に沿ったロードマップになっている。しかし、ロードマップを実現するための材料技術・製造技術は確定しているわけではなく、今後もムーアの法則により素子の高密度化、高速化を追求していくには、解決すべき技術課題は多い。注目すべき技術として、高誘電率ゲート絶縁膜、低誘電率配線層間絶縁膜、ナノインプリントリソグラフィ(NIL)等がある。NIL は、CD のスタンプのように、樹脂に金型を押し当てて形状を転写する技術であり、10nm 程度までの加工が可能とのことであり、光学的ステッパ(スキャナ)のメーカーにとっては競合技術となる可能性を秘めている。

一方、半導体分野のボトムアップのナノテクノロジーとしては量子ドットやスピンエレクトロニクスがある。

4．ディスプレイ分野のナノ材料

フラットパネルディスプレイ(FPD)も、ナノ材料によるブレイクスルーが期待される分野である。現在主流のアクティブマトリックス方式の液晶ディスプレイ(LCD)やプラズマディスプレイパネル(PDP)以外に、有機エレクトロルミネッセンスディスプレイ(OLED)や電界放出ディスプレイ(FED)等が開発されている。OLED は、一部の小型ディスプレイに利用され始めており、有機トランジスタの開発とも併せてフレキシブルディスプレイや電子ペーパーへの利用も視野にいたった開発が行われている。FED については、カーボンナノチューブ(CNT)やダイヤモンド、Si 微結晶等の電界電子放出源の開発競争が繰り広げられている。

また、ディスプレイ用の透明電極として広く利用されているインジウムスズ酸化物(ITO:Indium Tin Oxide)は、インジウムが希少金属で高価であることから CNT や各種ナノ粒子を用いた代替材料の開発が活発になってきた。

5．エネルギー分野のナノ材料

エネルギー分野でも、燃料電池や、電気二重層キャパシタの電極材料への応用を目指したナノ材料の開発が行われている。

固体高分子形燃料電池の Pt 触媒担体として CNT の一種であるカーボンナノホーンを用いることにより、Pt 使用量を大幅に低減する技術が開発されている

また、電気二重層キャパシタの電極カーボン材料にナノサイズの均一な微細孔を加工する技術により、蓄積電荷の容量を飛躍的に向上する技術が開発され、実用化研究が進んでいる。

6．カーボン系ナノ材料

近年、ダイヤモンド薄膜やダイヤモンドライクカーボン(DLC:Diamond Like Carbon)膜の気相合成方法が開発され、さらに、フラーレン、CNT など多様な結晶構造を持つカーボン系新材料が相次いで発見された。特に、フラーレンと CNT については、ナノ材料特有の特異な性質から様々な用途が期待され、国内外の国家プロジェクトが活発化している。

カーボン原子は多様な原子構造の物質を形成する。3次元ネットワークであるダイヤモンド構造(sp^3 構造)と2次元ネットワークであるグラファイト構造(sp^2 構造)が基本であり、フラーレンや CNT は、グラファイト構造が変形して3次元ネットワークを構成したものである。また、ダイヤモンド構造とグラファイト構造が混在した DLC がある。

CNT の応用分野として注目されている用途としては、LSI 用配線材料、電界効果トランジスタ(FET)、量子細線などの電子デバイスへの応用、電界放出型ディスプレイ(FED)用の冷陰極などの電子源への応用、固体高分子形燃料電池(PEFC)用 Pt 触媒担体や、Li イオン電池用負極などの化学反応部材への応用、水素貯蔵材料としての応用、医療バイオ関連への応用、樹脂・金属への添加による高強度化や導電性付与等が検討されている。

フラーレンの応用分野として、ドラッグデリバリー等の医療バイオ関連、樹脂・金属への添加による高靱性化・低摩擦化、電子デバイスへの応用が検討されている。民生用としては、既に、ボーリング用のボールやゴルフクラブ等のスポーツ用品の分野で複合材料として利用されている。また、最近、金属をドーピングすることにより超電導体となることが発見された。

ダイヤモンドは、最も強固な結合をもつことから、物質中最高の硬度、熱伝導率を

有するとともに、バンドギャップの広い半導体材料でもある。気相合成ダイヤモンドの、工具コーティング、光学用コーティングへの適用市場は立ち上がっており、エレクトロニクス関連応用製品への適用が検討されている。ダイヤモンドは、銅よりも5倍高い熱伝導特性を有することから Si デバイスのヒートスプレッドのような熱吸収拡散用途が注目されている。気相合成ダイヤモンドは、電界放出型ディスプレイ(FED)用の冷陰極などの電子源への応用が見込まれている。さらに、消費電力の低減を目的に、液晶バックライトに用いられている冷陰極管の放電素子の代用としても検討されている。パワーFET、紫外線センサ、紫外線発光素子など、電子デバイスとしての用途は、もっとも気相合成ダイヤモンドの利用が期待される分野である。この分野では単結晶製造技術の開発、n型半導体の製造技術開発が律速になっており、これらの技術のブレイクスルーが待たれている。

DLC は、ダイヤモンド構造とグラファイト構造との中間的な結晶構造をもつため、高硬度で耐食性に優れるなどダイヤモンドに似た特性をもつアモルファス薄膜である。DLC 膜は、CVD やスパッタリング等のプラズマプロセスを用いて作成され、成膜方法や条件により、ダイヤモンド結合とグラファイト結合の比率を制御することができ、耐摩耗コーティング等の各種保護膜、生体材料の表面処理等に利用されている。

7. ナノ材料の環境・生体への影響

2004 年は、フラーレン、CNT などナノ材料の大量合成技術の開発が本格化するとともに、一部のフラーレンに発癌性が認められるなど、ナノ材料の生体への影響が懸念され、これらナノ材料の社会適合性についての議論が活発化した。ナノ微粒子が環境中に拡散する前に、何らかの規制の必要があるかどうかを確認するために、環境・生体への影響を確認するプロジェクトが国内・海外でスタートした。

8. まとめ

ナノ材料技術には、国家プロジェクトや民間レベルでの投資が集中し、シーズ先行ではあるが着実に研究開発が進展してきた。ドラッグデリバリーや電子ペーパーなど、従来夢の技術とされてきた領域を可能にする技術となる可能性がある。一方で、環境・生体への影響などの社会適合性の評価もしながら、実用化技術として育成していくことが期待されている。

神鋼リサーチ(株)大西良彦