

ナノマテリアル

Nanomaterials

山本 和徳 Kazunori Yamamoto

新事業本部 筑波総合研究所 高機能材料開発センター

ナノテクノロジーは、ナノプロセス、ナノデバイス・ナノマテリアル、ナノ計測に大別され、将来のモノづくり技術として多くの産業に貢献すると期待されている。当社はいずれのナノテクにも関わっているが、本報では、プリントドエレクトロニクス用材料の導体層形成銅(Cu)インクを具体例として取り上げ、その開発状況を紹介します。また、今後重要となる国際標準化やパートナーとの協業について、その取り組みを紹介する。

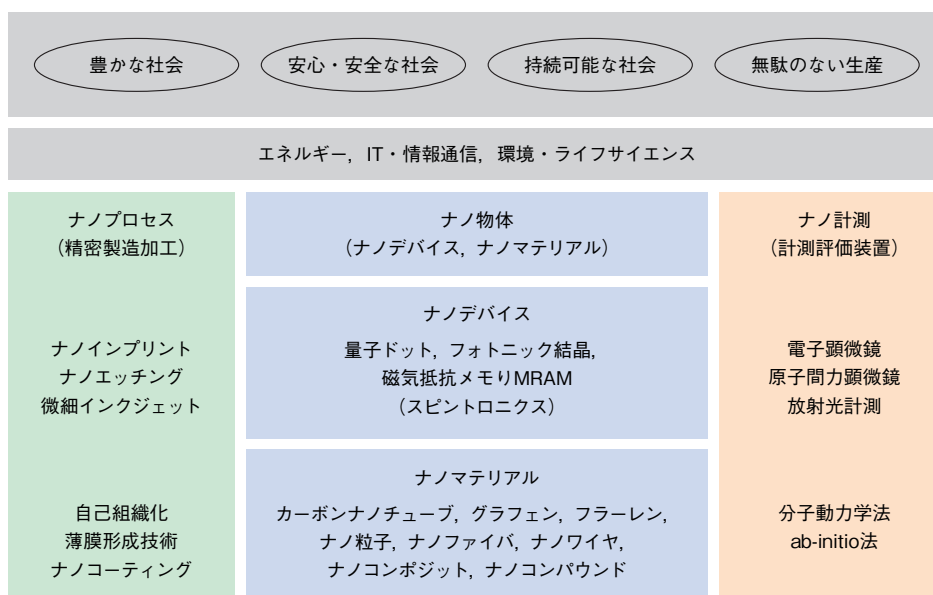
Nanotechnologies, major fields of which include Nanoprocess, Nanomaterials, Nanodevices, and Nanomeasurement, are expected to become fundamental technologies for manufacturing in a wide range of industries. In this paper, Cu ink for Printed Electronics is introduced as a typical Nanomaterial with which Hitachi Chemical is familiar. The scope also includes our efforts to attain the international standard and cooperate with partners to overcome inconsistencies in advanced technologies. We, Hitachi Chemical, will apply those advanced technologies to applications in the near future, expanding next generation ICT (Information and Communication Technology) and other industries.

1 緒言

ナノテクノロジー(以下、ナノテク)に関する研究開発は、2000年の米国における国家戦略化以降、世界中で加速されている。欧州は、EUの研究開発プログラム第6次フレームワークでナノテク予算を拡大し、アジアでは韓国がナノテクマスタープランを2001年から10年間計画で策定した。一方、日本は1991年のカーボンナノチューブの発見や1992年から10年計画のアトムテクノロジープロジェクトなどにより、原子間力顕微鏡や磁気抵抗メモリを産み出し、基盤技術で海外に対して先行している¹⁾。

ナノテクを大別すると、精密製造加工を可能にするナノプロセス、新規機能や高性能を発現するナノマテリアルやナノデバイス、及び計測評価装置を提供するナノ計測の技術に整理することができる(表1)。当社の製品は、いずれの技術にも関わるが、特にナノマテリアルとの関係が深い。本報告では、ナノマテリアルに焦点を当てて、代表的な事例紹介、国際標準化の動向、および今後の展望について述べる。

表1 ナノテクノロジー分野の技術マップ
Table 1 Technology map of Nanotechnologies



出典：経産省ナノテクノロジー分野の技術マップ2009年を基に作成

2 ナノマテリアルと応用技術・応用製品

ナノマテリアルの定義として、「少なくとも一次元の大きさが100 nmよりも小さく製造された材料」が一般的に知られている^{2),3),4),5)}。ナノマテリアルの代表例として、カーボンナノチューブCarbon NanoTube(CNT)が挙げられる。CNTは、炭素原子の6員環ネットワークで形成される中空のナノファイバで、高強度や低電気抵抗、高熱伝導性という特徴を有している。特に多層CNTは特定用途に向けた実用化が進展中である。単層CNTについては基礎的な研究段階で、最近は分離・精製技術が報告されている。

当社のナノマテリアルの適用例として、半導体パッケージ基板用の低熱膨張銅張積層板が挙げられる。ナノシリカを充填材として用い、ナノコート技術で表面処理した後にスラリー化し、エポキシ樹脂ワニス中に分散させ、通常の塗工プロセスを経て銅張積層板を製造している⁶⁾。また、研究開発を進めているナノマテリアルとしては、CNT、板状ナノ粒子、ナノフィルム、プリンテッドエレクトロニクスPrinted Electronics(PE)用銅インク(以下、Cuインク)の導体成分などが挙げられる。ここでは、代表例として、CNTとCuインクを紹介する。

当社は、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)「ナノテクノロジープログラム／革新的部材創出プログラム／ナノテク・先端部材実用化プログラム／単層カーボンナノチューブの大量合成と透明電極の研究開発」に参画した。Chemical Vapor Deposition(CVD)法により合成する当社CNTは、mmオーダーの長尺、98%以上の高純度であることを特徴としている(図1)(表2)⁷⁾。透明電極の他にも機能付与のための各種添加剤として期待されている。また、Cuインクは、平均粒径70 nmのCu化合物を導体成分として用い、190℃以下の大気圧気相処理で、無電解銅めっき配線と同等な $2\sim 4\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ という低体積抵抗率の緻密な導体層を形成することができる(表3)。分散剤を用いないので分散剤の除去に必要であった導体化処理温度を低く抑制できるうえに、気相処理であるため液管理や廃液処理工程などの負担を軽減できる^{8),9),10),11)}。このように、Cuインクを使用する印刷法は、少ない工程数、省資源、省スペースで配線形成できることを特徴としている(図2)。PEでは、真空プロセスやフォトリソプロセスなどの従来技術からの脱却をはじめ、薄型半導体実装や曲面配線のニーズがある。当社は、2011年に設立された次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合の「印刷デバイス製造技術」及び「フレキシブルデバイス技術」の実用化加速のための基盤技術開発に参画しつつ、近未来の実現可能な用途からPEを実用化し、次世代のIT・情報通信分野での展開を目指している。

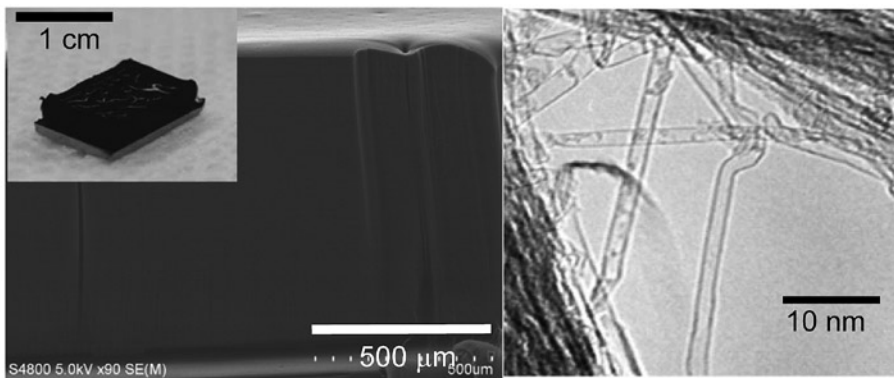





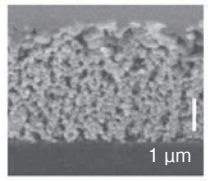
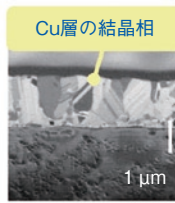
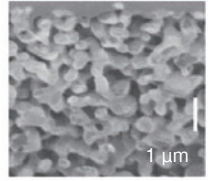
図1 CNTの電子顕微鏡写真
Figure 1 Electron Micrograph of CNT

表2 各種合成法によるCNT特性の比較
Table 2 Comparison of CNT properties by various synthetic methods

項目	当社CVD法	HiPCO法	CoMoCat法
直径	2-7 nm	1-2 nm	≒1 nm
長さ	1-5 mm	数μm	数μm
触媒残渣	<0.1%	30%	10-20%
純度	≧99.8%	≦70%	≦10%
原料	炭化水素	一酸化炭素	一酸化炭素

表3 Cu印刷層に与える導体化処理条件の影響

Table 3 Dependence of the reactive conditions on the Cu layer structure

減圧気相処理 (6 μΩ·cm)	大気気相処理 (3 μΩ·cm)	大気圧液相処理 (100 μΩ·cm)
導体化処理後 		
断面SIM像 	Cu層の結晶相 	

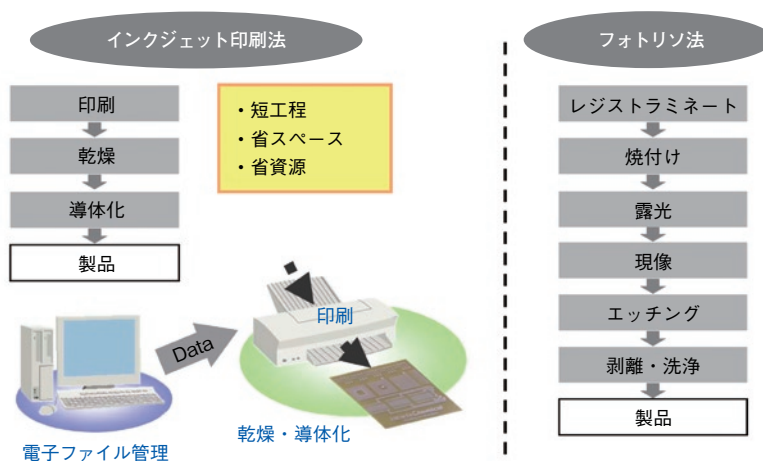


図2 インクジェット印刷法とフォトリソ法の工程対比

Figure 2 Comparison of the manufacturing process between Ink-jet printing and photolithography

3 国際標準化の動向と当社の取り組み

国際標準化の目的は、混乱や多重作業の回避、用語や評価手法を含む成績表の統一などだが、標準化の利益を享受して競争優位に導くこともできるため、各国の主導権争いが激しい。ナノテクの国際標準化は、2005年に国際標準化機構(ISO)が技術委員会TC229を、日本では、日本工業標準調査会(JISC)がナノテクノロジー国際標準化国内委員会を設置している¹²⁾。日本の役割は計測キャラクタリゼーションで、特にCNTの安全性について取り組んでいる。また、PEの国際標準化も2011年に国際電気標準会議(IEC)が技術委員会TC119を設立しており、日本はマテリアルWGの主権者としての活躍が期待されている。また、JISCは電子情報技術産業協会にPE国際標準化専門委員会を設け、米国に本拠を置くIPC(IIInstitute for Printed Circuits)との円滑な国際標準化を調整中である。当社は、これらの国際標準化活動への参画を積極的に進めている。

4 今後の展望

当社は、情報通信・ディスプレイ、環境・エネルギー、自動車、ライフサイエンスの4つの事業領域に注力している。情報通信・ディスプレイ領域では、クラウドコンピューティング、Internet of Things(IoT)、ビッグデータ、ウェアラブルなどの技術的な潮流を見据えて、従来技術の延長線上にある高機能化・高性能化だけではなく、第2章に記したPEや有機エレクトロニクスの研究開発を推進している。電子デバイスの形態が変わるので、新たな事業機会を迎えている。また、環境・エネルギー領域では、再生可能エネルギーの大規模開発、エネルギー消費効率を高めるスマートシティのように次世代の社会構築に向けた改革が始まっている

ので、絶好の参入機会と捉えている。とはいえ、技術潮流が明瞭なのでグローバルな競争が加速され、材料に寄せられる期待が大きい。顧客価値を高める差別性が競争力になるので、組合せ技術や最適化だけでは、業界トップのポジションを維持することが難しい。ナノ材料は、差別性を発現させるために役立つものと考えますが、ナノ領域の構造制御も同様に重要と考える。例えば、反対の電荷を有する成分を交互に積層させてナノフィルムを生成する技術や、グラフト化により官能基を付与するポリマブラシなどが相当する。このような要素技術を短時間で構築するためには、オープンイノベーションが有効である。学会活動などや技術交流会を通してパートナーとの良好な関係を築き、差別性のある独自技術を育てて行きたい。

5 まとめ

ナノテクは、原子分子レベルの機能創成という従来技術の延長とは異なる非連続性を有している。実用化の際には、技術の非連続性が障壁となることもあるので、付加価値を産み出すためにはパートナーとの協業が重要となる。ここに、グローバル化した技術を共有するための国際標準化が必要な理由がある。優れた独自技術だけでは成功につなげることができない時代を迎えつつある。ナノテクの応用例として挙げたPEでは、当社のCuインクの特徴を述べたが、最先端技術が従来技術を凌駕する破壊的技術として活用されることになると信じる。

【参考文献】

- 1) ナノテクノロジー政策研究会中間報告「ナノテクノロジーによる価値創造実現のための処方箋」, 経済産業省 ナノテクノロジー・材料戦略室, 2005年3月31日
- 2) The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, UK, "Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties." July, 2004
- 3) ISO TS 27687 "Nanotechnologies-Terminology and definitions for nanoobjects: Nanoparticles, nanofibers, and nanoplate"
- 4) 日本工業規格JIS/TS Z0027「ナノテクノロジー-ナノ物体(ナノ粒子, ナノファイバ及びナノプレート)の用語及び定義」, 2010年
- 5) Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Scientific Basis for the definition of the term "nanomaterials", European Union 2010
- 6) 中村吉宏 他, PoPの実装信頼性を高める低熱膨張基材の検討, (社)溶接学会 第16回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム要旨集, P.359-364, 2010年
- 7) 羽場英介 他, 単層カーボンナノチューブ膜の透明導電特性とその膜厚依存性, 第36回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム要旨集, 2P-20, 2009年
- 8) 特開2011-140598, ナノ粒子分散液の製造方法、及びインクジェット用分散液
- 9) Y. Kumashiro, et al., "Printing Materials for Flexible Electronics Device", Proceedings of International Conference on Electronics Packaging 2010, TB3-1,(2010)
- 10) M. Inada, et al., "Material Technology of Conductive Wiring for Ink-jet Print", Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, Vol.4, No.1, P.114-118, (2011)
- 11) K. Kuroda, et al., "Development of Copper Materials and Processing for Printed Electronics", Proceedings of International Conference on Electronics Packaging 2012, TB3-4,(2012)
- 12) ナノテク国際標準化ニューズレター 創刊号(2006)