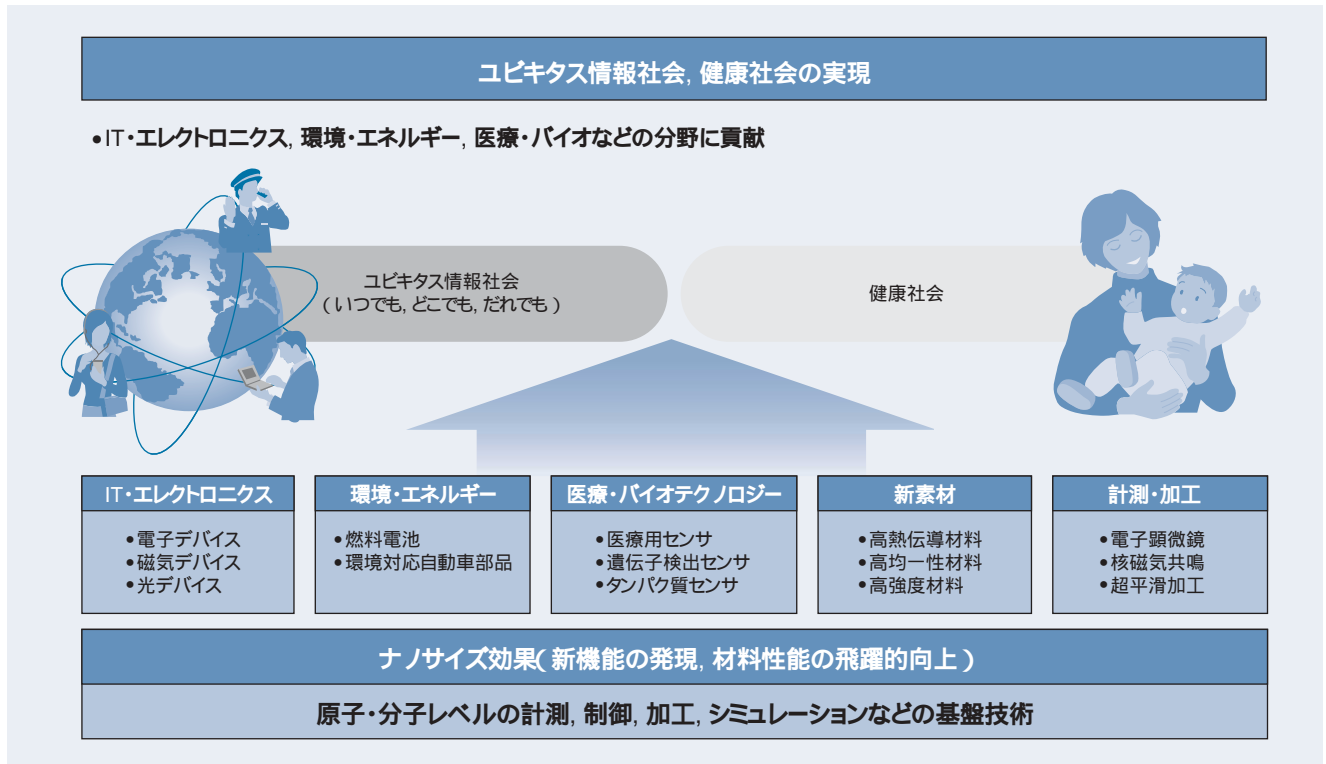


ナノテクノロジーへの 日立グループの取り組み

Nanotechnology Developments at Hitachi Group

小園 裕三 Yūzō Kozono 林原 光男 Mitsuo Hayashibara
三輪 崇夫 Takao Miwa 西内 重治 Shigeharu Nishiuchi



日立グループのナノテクノロジー・MEMSへの取り組み

日立グループは、ユビキタス情報社会と健康社会の実現に向け、IT・エレクトロニクス、環境・エネルギー、医療・バイオ、新素材、計測・加工などの分野において、ナノテクノロジーとMEMS(Micro-Electromechanical System)の研究開発に取り組んでいる。特に、原子・分子レベルの計測・制御技術などを活用し、革新的な機能・性能を持つ材料やデバイスの開発を進めている。

ナノテクノロジー・MEMS(Micro-Electromechanical System)は、人為的に形成した微細構造による新しい機能の発現や、材料の性能の飛躍的な向上を実現する技術であり、産業界の広範な分野に変革をもたらすものとして注目されている。これらが生み出す市場は国内で27兆円(2010年)と試算されており、わが国の「モノづくり立国」としての復興にとどまらず、21

世紀の産業革命の起爆材として、大きな期待が寄せられている。

日立グループは、ユビキタス情報社会と健康社会の実現に向けたさまざまなナノテクノロジーの研究開発を推進しており、関連する製品分野は、IT・エレクトロニクス、環境・エネルギー、医療・バイオ、新素材、計測・加工など多岐にわたる。

1 はじめに

ナノテクノロジーは、ナノスケールの極微細な構造を制御することにより、新しい機能や格段に優れた特性を発現させる技術である。歴史をさかのぼると、この概念は、1959年にリ

チャードP. ファインマン教授がコンピュータ用のナノメートルサイズの回路や、原子操作による材料の特性制御などを予言したことにたどりつく。わが国でも、久保亮五教授による微粒子の離散電子状態の議論(1962年)、岩崎俊一教授による垂直磁気記録方式の提唱(1977年)、上田良二教授による超微粒子の直接観察(1970年代)などが先駆的に行われてお

り¹⁾、現在でもわが国の材料ナノテクノロジーに対する国際的評価は高い。

ナノテクノロジーには、大別すると、原子や分子を1個1個積み上げて素子を作る「ボトムアップ技術」と、半導体やメモリの集積技術に代表される微細化技術によって素子を形成する「トップダウン技術」とがある。今後は、自己組織化という現象を活用しながら、ボトムアップとトップダウン技術を融合させた高度な技術へ発展すると考えられている。

ナノテクノロジーがこのように注目される理由は、情報・通信、環境・エネルギーをはじめとする基幹産業に変革をもたらすだけでなく、モノづくりのパラダイム転換や、社会生活、教育にも変革を引き起こす可能性があるからである。そのため、ナノテクノロジーは、21世紀の産業革命を生み出す基盤技術や「モノづくり立国」復興の切り札と期待され、わが国では、970億円の予算(2003年度)がIT(Information Technology)、材料、バイオなどの分野に重点的に投資されている。

ここでは、わが国におけるナノテクノロジーの概況と日立グループのナノテクノロジーの研究開発、および新市場創生に向けた取り組みについて述べる。

2 ナノテクノロジーの概況とわが国の取り組み

株式会社日立総合計画研究所がまとめたわが国のナノテクノロジーの市場規模の試算結果を図1に示す。ナノテクノロジーの市場規模は2005年で2.4兆円、2010年には27兆円となり、製造業の約6%を占めるようになると試算されている。2010年における市場の約半分は、半導体やネットワークデバイスを中心としたIT・エレクトロニクスで、ディスプレイ、磁気記録媒体を中心としたプロセスマテリアル、計測・加工、環境・エネルギー、ライフサイエンスなどがこれに続く。

社団法人日本経済団体連合会は、総合科学技術会議が

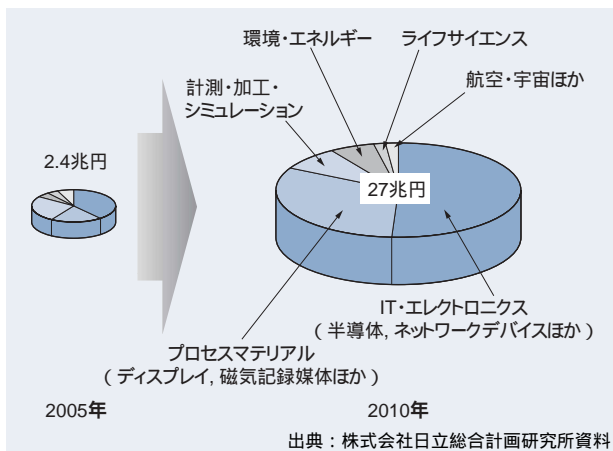


図1 わが国におけるナノテクノロジーの市場規模

わが国のナノテクノロジーの市場は2010年には年間27兆円に拡大し、中でもIT・エレクトロニクス分野とプロセスマテリアル分野で大きな市場が形成されると期待されている。

策定した「ナノテクノロジー・材料分野の推進戦略」をさらに具体化した形で、「ナノテックが創る新産業「n-plan 2002」」を提言している。この中では、ユビキタスネットワーク社会、健康長寿命社会、および環境に優しい社会を目指すべき10年後の姿とし、それらを実現するための施策があげられている。ストレージ、次世代半導体、診断・健康システム、燃料電池、ナノ触媒、マイクロ・ナノシステム、ナノ計測などが重点投資分野として位置づけられ、わが国がこれまで蓄積したナノサイエンスを生かしながら、ナノテクノロジー グランド プログラム(フラッグシッププロジェクト、チャレンジプロジェクトなど)を産官学連携で推進し、研究成果を産業につなげていくための提言がなされている。

さらに、わが国がナノテクノロジーの実用化競争に勝ち抜くためには、産業・企業の組織の枠を越えた活動が必要との認識から、2003年10月に約300社が参加するナノテクノロジービジネス推進協議会が発足し、産官学連携の製品・産業ロードマップ、新市場、国際標準化などの検討が行われている。

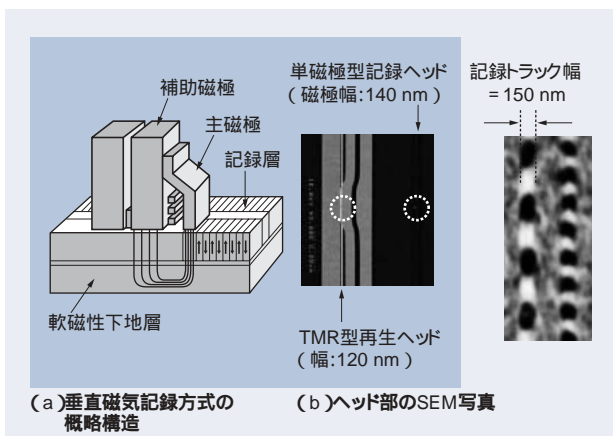
3 ナノテクノロジーへの日立グループの取り組み

日立グループは、ユビキタス情報社会や健康社会の実現を目指したシステム・サービスをナノテクノロジーから生み出すことを目標に、従来の延長線上にない技術(オフロードマップ技術)の創生、ナノテック統括推進センタを核とした日立グループによる産官学連携を開発方針として、IT・エレクトロニクス、環境・エネルギー、医療・バイオ、ナノテクノロジー新材料、および基盤技術の研究開発を推進中である。

3.1 IT・エレクトロニクス分野のナノテクノロジー

現在、携帯電話やモバイルパソコンに代表されるIT文化が急速に発展している。今後もこの傾向はとどまることなく、いつでも、どこでも情報にアクセスできるユビキタス情報社会の到来が待ち望まれている。この社会を実現するためには、テラビット級の情報処理技術に代表される、これまでより格段に高速化、小型化、低消費電力化、高機能化を実現できる優れた技術が不可欠である。日立グループは、このニーズにこたえるために、ストレージ、半導体ナノデバイス(メモリ)、有機トランジスタなどの分野で研究開発を行っている。

近年、磁気ディスクの記録容量は年率100%のペースで増大しており、今後は、垂直磁気記録が磁気記録の主流となると考えられている(図2参照)。日立製作所は、東北大学などの連携によって100 Gビット級の垂直磁気記録技術を開発中である。すでに150 nm以下の記録トラック幅での記録(1平方インチ(約6.452 cm²)当たり107 Gビット)に成功しており、産学連携の「IT21プロジェクト」と連携して、超小型ストレージ



注：略語説明 TMR(Tunneling Magnetoresistive)
SEM(Scanning Electron Microscope)

図2 100 Gビット級の垂直磁気ヘッドの概略構造と拡大写真

1平方インチ(6.452 cm²)当たり100 Gビット以上の記録密度の達成が可能な垂直磁気記録のヘッド構造(a)と拡大写真(b)を示す。

事業の創生へ向けた研究開発を推進中である。

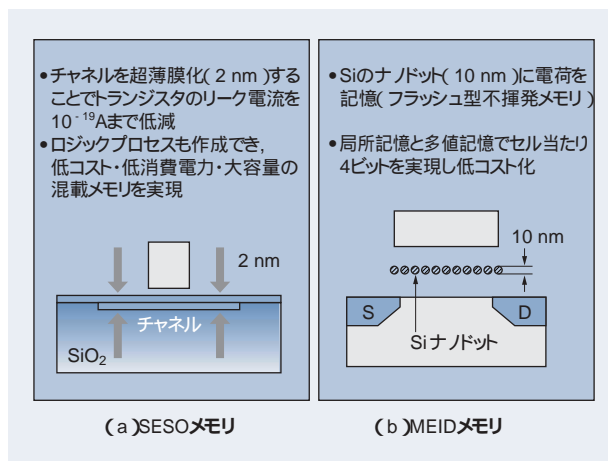
また、垂直磁気記録の次に位置づけられる、ビット径が10 nm以下の記録セルを持つパターンドメディア、近接場光応用技術、光磁気融合技術などに関するさまざまなナノテクノロジーの開発も並行して進めている。

次世代半導体では、ナノ構造を利用した低消費電力、大記録容量の半導体ナノデバイスの研究開発に期待が寄せられている。日立製作所は、ナノ時代を先行する技術として、単一電子メモリの室温動作に世界で初めて成功し、集積化のための技術開発を行っている。

また、従来技術に部分的なナノ構造を取り入れ、既存の量産設備による低コスト化もねらったSESEQ(Single Electron Shutoff)メモリ、MEID(Manufacturing Enhancement by Isolated Dot Storage)メモリなどが注目されている(図3参照)。

一方、材料開発の面からは、平面型MOS(Metal-Oxide Semiconductor)の限界を突破することを目指して、「あすか」や「MIRA(みらい)」プロジェクトを中心に、high-k(高誘電率)ゲート絶縁材料の開発を行っている。

これからのユビキタス情報社会で実用化が期待されているものとして、シートディスプレイ、ICタグ、超小型センサがある。これらが広く普及するためには、大量生産が可能な低コストの製造技術が不可欠である。有機トランジスタは、この観点から大きな期待を集めており、現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト「高効率有機デバイスの開発事業」を中心に研究開発を進めている。開発中の技術は、低コストの印刷法をベースに、有機分子や金属粒子などの自己組織化を利用して基板上にトランジスタを形成するものである(図4参照)。半導体デバイスを構成するナノ材料が自己集積、配列してデバイスを形成するという、従来の複雑な位置合わせの工程を必要としない新しい技術と、そこから生まれる半導体デバイスに大きな期待が寄せられている。



注：略語説明 S(Source), D(Drain), SESEQ(Single Electron Shutoff)
MEID(Manufacturing Enhancement by Isolated Dot Storage)

図3 SESOメモリとMEIDメモリの構造

ナノ構造を利用した、大容量・低消費電力化と既存量産設備への適合性に優れた二つの代表的なメモリの構造を示す。

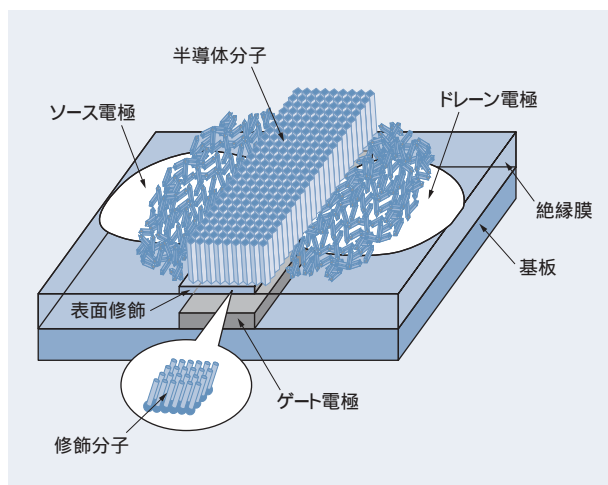


図4 有機トランジスタの構造

有機トランジスタは、印刷製法を用いた、低コストで大量生産が可能なデバイスとして期待される。

3.2 環境・エネルギー分野のナノテクノロジー

ユビキタス情報社会では、燃料電池や二次電池をはじめとする分散型のエネルギー源が不可欠であり、携帯機器の消費電力の増大に対応できる高性能電池の出現が強く望まれている。

携帯機器用の電源として注目されるメタノール燃料電池では、電解質膜と触媒が性能を決める重要なコンポーネントである(図5参照)。電解質膜では、メタノールの透過が発電効率低下の要因となっており、高い水素イオン導電性と低いメタノール透過性を両立させた膜の開発が重要なポイントになっている。また、メタノール燃料電池用触媒は、カーボン担体の上に貴金属触媒を分散させたもので、メタノール触媒活性を上げる技術の開発が重要な要素になっている。これらの課題に対して、分子構造設計により、高い水素イオン導電率を持ち、低いメタノール透過性(従来の $\frac{1}{10}$)を実現した新しい電解質膜の開発を進めている。また、触媒を担持するカーボン



図5 燃料電池の特徴と応用携帯機器

メタノール燃料電池の高性能化のかぎである電極部の拡大写真(左)と燃料電池を搭載した携帯機器の外観を示す。

注：略語説明
 PDA(Personal Digital Assistant)
 PIA(Personal Internet Appliance)

担体の表面改質によって、貴金属触媒を従来より微細かつ均一に分散させる技術も開発している。

高出力・高エネルギー密度を特徴とするLiイオン電池では、充放電に伴って高分子電解質中をLiイオンが移動する。現在、最も高いイオン電導度を示すポリエチレンオキド系高分子電解質では、官能基がLiイオンを捕獲することから、イオンの拡散係数が小さく、十分な充放電特性が得にくい。そのため、ナノオーダーの分子制御によって官能基の極性を低下させる試みがなされている。極性制御によってLiイオンの拡散係数を2倍以上に増大できることがこれまでの研究で確認されており、いっそうの高性能化に取り組んでいる。

3.3 医療・バイオ分野のナノテクノロジー

医療・バイオ分野におけるナノテクノロジーには、健康社会

を実現するうえで大きな期待が寄せられている。情報・通信分野と同様に、健康や環境に対しても、いつでも、どこでも迅速に検査や分析ができるシステムが求められるようになってきた。

特に健康に関する部分では、遺伝子や細胞に関する構造や機能が明らかになるにしたがって、観測対象の大きさはミリメートル(mm)からマイクロメートル(μm)、ナノメートル(nm)へ移行し、採取するサンプル液の量もミリリットル(mL)からマイクロリットル(μL)、ナノリットル(nL)へと少なくなっていることから、わずかなサンプルで高度な検査が可能な技術が求められている。そのため、MEMS(Micro-Electromechanical System)と呼ばれる微細で精密な機械が注目されている。MEMSを用いることによって、採取するサンプル量を低減できるだけでなく、溶液と試薬とを短時間で反応させることが可能になる。

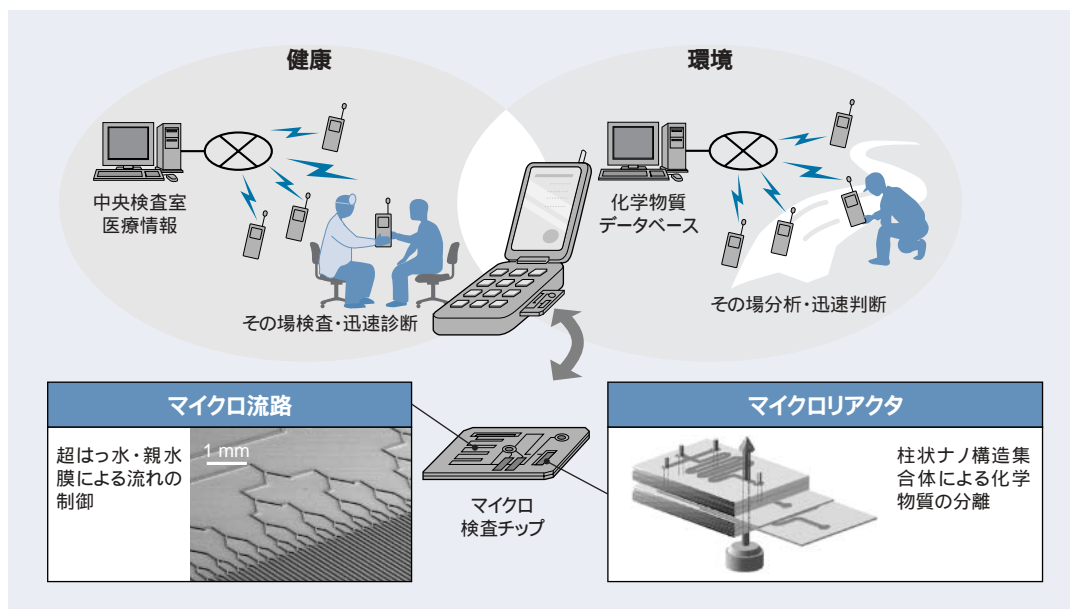


図6 MEMSを用いた健康・環境のチェックシステム例

マイクロ検査チップにより、わずかなサンプルで高度な健康・環境チェックが可能になる。

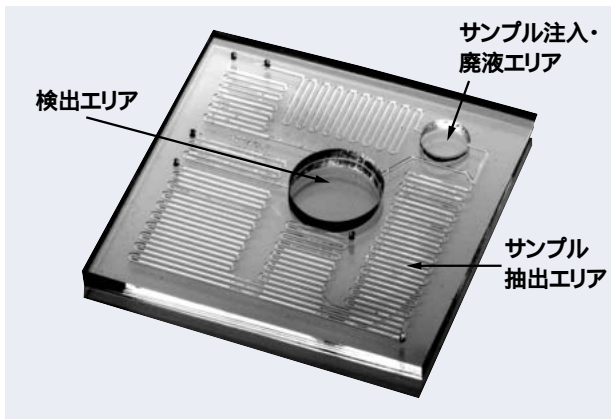


図7 検査チップの外観

ディスポーザブル材料を使用し、前処理(異物分離、遺伝子抽出)機能を搭載したマイクロ検査チップの外観を示す。

MEMSを用いたさまざまな技術の中でも、医療診断や細菌検査などの検査分野、医薬品を開発するための創薬支援機器、純度の高い医薬品を高効率に生産するためのマイクロリアクタなどが有望な用途と考えられている。具体的には、生化学・免疫分析・遺伝子診断が簡便・迅速に行えるマイクロ検査チップ(図6参照)や、遺伝子検出センサなどの開発を推進しており、ディスポーザブル材料を使用し、1検査分の試薬をあらかじめ内蔵するタイプや、遺伝子サンプルの前処理(異物分離、遺伝子抽出)機能を搭載したチップを開発している(図7参照)。

3.4 ナノテクノロジーによる新材料・基盤技術

情報・通信用機器や自動車用機器の進化に伴い、実装にかかわる樹脂材料にもナノテクノロジーを用いた新しい技術が現れている。例えば、実装技術では、半導体デバイスの高密度、高集積化に伴う発熱密度の増大、高周波数化に伴う伝送損失の増大が課題として顕在化してきている。そのため、これらを解決する手段として、樹脂にナノスケールの秩序構造を付与することによって熱伝導率を $W/m\cdot K$ オーダーにまで高めた樹脂や、分子レベルで配向分極を大幅に抑制することによって低誘電損失化を図った実装材料、さらに、高密度実装に不可欠な内蔵コンデンサ用の新材料も開発している。

世界最高の熱伝導率を持つ新開発のエポキシの微細構造を電子顕微鏡で観察した結果を図8に示す。高熱伝導を実現するうえで重要な役割を果たすナノオーダーの規則的な層構造が確認されている。

上述した、実装分野の代表的な新素材のほか、高強度ガラス、集光機能ガラス、耐熱材料など、それぞれの分野でのトレンドを先取りする新素材を開発しており、これらが、ナノテクノロジーの真価を発揮することを期待している。

微細加工技術の世界にも、新しい技術が生まれている。その一つがナノプリントである。これはナノオーダーの凹凸を持つナノ金型を樹脂薄膜に押し当て、ナノ金型のパターンを

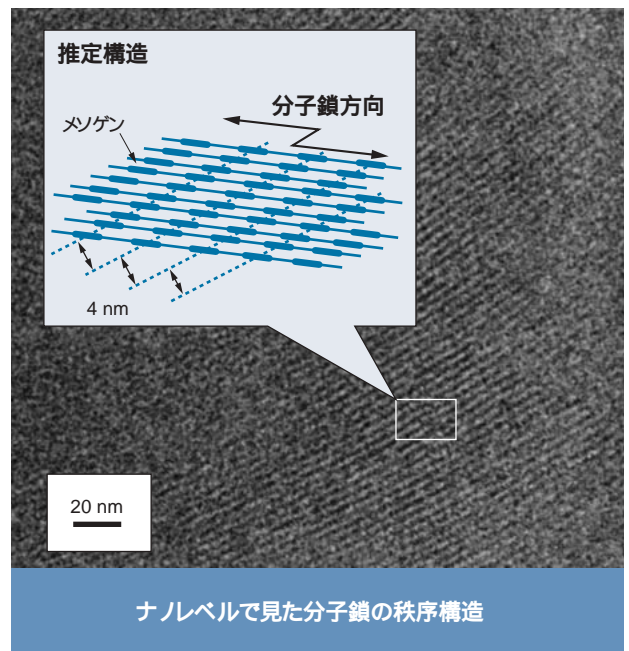


図8 高熱伝導樹脂の電子顕微鏡写真

電子顕微鏡で観察した高熱伝導樹脂の分子鎖と推定構造を示す。

樹脂に転写する新しい製造技術である(図9参照)。従来の微細加工装置は大型の設備投資を必要とするのに対し、ナノプリントでは、安価な製造装置で、ナノスケールの構造物を簡単に形成することが可能である。現在、日立グループは、プロセス技術、金型、被転写材料をはじめとする関連技術の開発を進めている。

半導体、磁気ディスク、有機テープ、粘着テープ、有機フィルムなどでは、異種材料を積層化することによって高機能化を図るケースが増加している。このような積層材料では、一般的に、異種材料間の界面が性能や信頼性と密接に関係し、界面の接着強度や、組成分布を最適化することが重要なポイントとなっている。特に、材料の種類が増えると開発期間やコストが増大するため、材料選定や界面の接着強度なども扱える新しいシミュレーション・計測技術など、開発期間短縮につながる新技術が求められている。

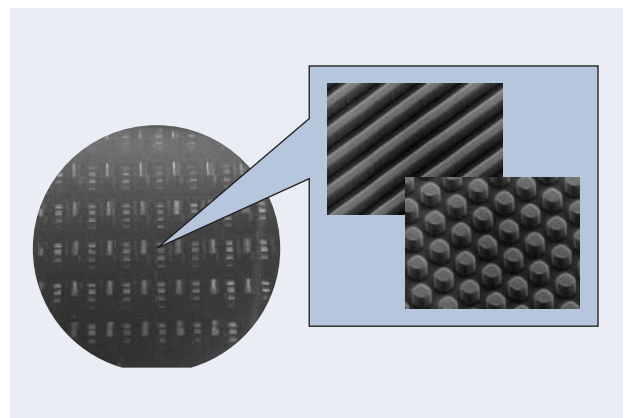


図9 ナノプリントで作製した微細構造例

ナノオーダーの凹凸を持つ金型を樹脂薄膜に押し当ててナノパターンを転写する。

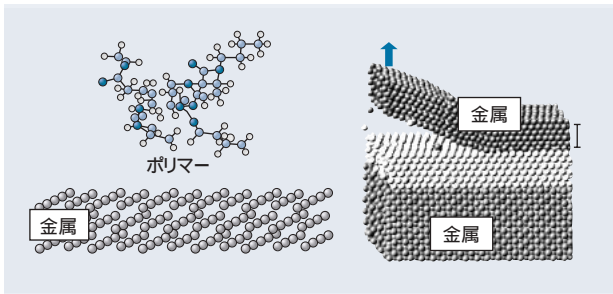


図10 界面のシミュレーション例

ポリマーと金属に関する接着構造，接着強度，原子拡散などの界面シミュレーション例を示す。

その中で，有機と金属系界面，あるいは金属と金属の界面の接着強度シミュレーションが特に注目されている(図10参照)。例えば，粘着・接着材や電子デバイスで多用される有機膜の接着強度評価など，これらの技術を用いて，接着強度の高い材料の組み合わせを探索することができる。

また，半導体やストレージをはじめとする微細化，高集積化技術の進展に伴い，新規プロセスの開発や量産不良の解決のために，ナノスケール領域での元素分布，組成状態の分析評価技術の重要性がますます増大している。これらのニーズにこたえるものとして，半導体不良解析での高感度分析手法や，界面組成状態の解析技術を開発している。

3.5 研究開発・ビジネス化の推進への取り組み

ナノテクノロジーは，その技術革新度の高さゆえに，計測技術，加工技術，材料技術など複合技術であることが多く，研究開発には多方面の知見を集結する必要がある。また，ナノテクノロジーは幅広い分野へ適用が期待できる基盤技術であることが多く，ビジネスに結び付けるためには，技術シーズとさまざまなニーズとの結び付きが重要である。

このような背景の下で，日立グループは，研究開発を促進するために，グループ各社の多方面にわたる技術を集結した組織を研究開発本部に設置した。さらに，さまざまな素材がナノスケールで見直されている中で，グループ内の材料技術を統括する材料研究所，高度計測センタ，高度設計シミュレーションセンタを設置し，包括的に取り組んでいる。シーズとニーズのマッチングの観点では，日立グループ内でのマッチングはもとより，異分野との交流を促進している。具体的には，産業技術総合研究所や物質・材料研究機構などの独立行政法人のほか，京都大学や北海道大学などの大学および産業や企業の組織の枠を越えた活動を目的とするナノテクノロジービジネス推進協議会との連携も図り，グループ内外との開かれた関係を積極的に展開している。加えて，研究開発の成果をさらに早くビジネスに結び付けるために，日立グループ各社の知見を集結する横断的な組織であるMEMS事業推進室やナノテクノロジービジネス推進室を発足させ，革新技術による市場の創生とビジネスの創造にまい進している。

4 おわりに

ここでは，日立グループのナノテクノロジーの研究開発状況と，ビジネス化に向けた新しい取り組みについて述べた。

ナノテクノロジーは，IT・エレクトロニクス，環境，バイオ，材料をはじめとする広範な領域にまたがる技術である。さらに，日立製作所は，国内外の企業，公的機関，大学など計260団体の出展があり，世界最大規模のナノテクノロジー展示会となった国際ナノテクノロジー総合展(nano tech 2004)においてナノテク大賞を受賞した。これは，日立グループのナノテクノロジーの総合力と，特色ある個々の技術が高く評価されたためと考える。

日立グループは，今後も，強み技術として蓄積してきた材料技術，デバイス化技術，プロセス技術，先端計測技術などをベースに，顧客のニーズにこたえるナノテクノロジー製品の開発を総力を結集して推進していくことにより，新たな事業を創生するとともに，ユビキタス情報社会，健康社会の実現に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 児玉，外：ナノテクノロジー(解説)，表面技術，Vol.53，No.12(2002)

執筆者紹介



小園 裕三

1974年日立製作所入社，日立研究所 所属
現在，ナノテクノロジー・材料分野の研究開発に従事
工学博士
応用物理学学会会員，実装学会会員，ナノテクノロジー学会
会員
E-mail: ykozono @ gm. hrl. hitachi. co. jp



三輪 崇夫

1982年日立製作所入社，日立研究所 材料研究所 所属
現在，ナノテクノロジーを中心とする電子材料研究の取り
まどめに従事
工学博士，高分子学会会員
E-mail: takaom @ gm. hrl. hitachi. co. jp



林原 光男

1983年日立製作所入社，日立研究所 材料研究所 所属
現在，材料ナノテクノロジーの研究開発に従事
応用物理学学会会員，ナノテクノロジー学会会員
E-mail: mhayashi @ gm. hrl. hitachi. co. jp



西内 重治

1983年日立製作所入社，トータルソリューション事業部 プロ
ジェクト統括本部 先端テクノロジーソリューションセンタ
所属
現在，ナノプリント関連の事業推進に従事
E-mail: nishiuchi @ tsji. hitachi. co. jp