

GRGニュース 産学連携共同研究センター 12号 Collaborative Research Center NEWS No.12



産学連携共同研究センター長 岩間 三郎

ナノテクノロジーへの大きな期待

モノ造りに関わる最小単位は、狙った原子1個を剥ぎ取ったり、必要な位置に付けたりすることであろう。1989年、IBM研究所で35個のキセノン原子で"IBM"の文字を描いたことは、ナノテクノロジー(NT)の究極を鮮烈に印象づけた。ナノは10億分の1を表す接頭語で、1ナノメートルはほぼ原子3個を並べた寸法に相当する。NTは原子・分子から物を構築する技術であり、大きな材料から出発して、加工を施して完成する従来のモノ造りとは基本的に異なる。NTに大きな期待が寄せられる理由は、(1)望みの機能を原子・分子の最小単位を用いて設計できる、(2)ナノ特有の新たな物理化学効果(量子効果)が発揮できる、(3)物が小さいため稼動エネルギーは激減し、かつ応答速度は速くなる、(4)単電子トンネル現象は、電子1個1ビットの最小メモリーと

することを可能にする、(5)フラーレン、カーボン・ナノチューブの発見を契機に、長く続いた鉄器時代は終わり、やがて炭素器時代が訪れる、等の夢や驚きの多いことによる。これらNTの及ぶ範囲は、生産技術・エネルギー分野はもとより、バイオ・医療・環境を含むあらゆる産業分野に深く関わるために、NTは次代の産業革命のキー・テクノロジーと位置づけられている。電子デバイス開発ではいち早くその成果が活かされ、現在の情報通信機の目覚ましい進歩に大きく貢献している。今後は他の基盤技術との融合によってさらに進化するものと思われる。ナノ特有の性質が現れる材料形態に薄膜または表面・界面(2次元)、細線(1次元)、微粒子またはクラスター(0次元)があり、それぞれが特徴を異にする。それに合わせてその評価技術も多様であり、個々に高度に進化し続けている。ナノ技術は、むしろナノ評価技術の弛まぬ発展に支えられてきたものであり、その意味でNTとナノ評価技術は一体である。米国の国家ナノ技術計画(2000年1月)に遅れて、日本にもナノ物質研究センター計画(2000年8月)が打ち出されたのを受け、産官学における研究開発熱は激しさを増している。この革新的なモノ造りに深く関わる教育・研究が、今本学に於いて行われている現状をこの特集で紹介し、今後のさらなる進展に期待したい。

CRC±ユース・12号 目次 『薄膜ナノ材料』特集号

ナノテクノロジーへの大きな期待 産学連携共同研究センター長 岩間三郎教授

CRCからのお知らせ

2000年度大同特殊鋼(株)への共同研究・受託研究成果報告書2001年度大同特殊鋼(株)との共同研究・受託研究テーマ決定展示会「フロンティア21エレクトロニクスショー」

「産学交流プラザなごや2001」 募集中展示会「テクノピア名古屋2001」のご案内

神保 睦子教授

「ナノテクノロジーとスピンエレクトロニクス」

中井 靖男教授

「ダイヤモンドの低圧気相合成 」

堀尾 吉巳助教授

「薄膜ナノ材料の分析・評価法 - RHEED法について - 」

.

坂 貴教授

「X線による薄膜および表面・界面の評価」

・・・CRCからのお知らせ

2000年度大同特殊鋼(株)への 共同研究・受託研究成果報告会開催

日時 / 7月10日(火)13:15~17:00 場所 / 本学 A棟第一会議室

2001年度大同特殊鋼(株)との 共同研究・受託研究テーマ決定

テーマ数 / 13テーマ 金額 / 1,400万円

展示会「フロンティア21エレクトロニクスショー」 「産学交流プラザなごや2001」 募集中

主催/中部エレクトロニクス振興会、名古屋市、名古屋商工会議所

日時 / 10月24日(水)~27日(土)

「産学交流プラザなごや2001」は10 /24~25日

場所 / 名古屋中小企業振興会館(吹上)

産学交流をさらに活発にするためにもふるって出展されるようお願いします。

展示会「テクノピア名古屋2001」のご案内

主催 / 日刊工業新聞社 日時 / 6月21日(木)~24日(日)

場所/ポートメッセなごや

業務メニュー

神保 睦子 教授

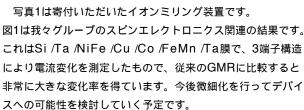
ナノテクノロジーとスピンエレクトロニクス

1970年代より薄膜作製技術が次第に進歩し、現在ではナノ メーターオーダーの膜厚を持った多層膜が作製できるようにな りました。ナノメーターオーダーの膜厚は伝導電子の平均自由 行程よりも小さく、そのため伝導中のスピンが保存され、電子 伝導現象の中にスピンの寄与が観測されるようになってきまし た。その典型的な例が巨大磁気抵抗効果(GMR)です。GMR はナノメーターオーダーの多層膜の界面での スピンと スピ ンの電気伝導度の違いにより生じるものです。この発見を契機 としてスピンを制御するということが磁性体の分野でも、半導 体の分野でも注目されるようになりました。即ち、従来の半導 体デバイスは電荷のみを制御するものです。しかし、電子は電 荷とスピンを持ち、スピンには スピンと スピンが存在しま す。ナノテクノロジーの進歩によりこのスピンをも区別して制 御することが可能となったわけです。このように電荷とスピン をコントロールして、新しいエレクトロニクスを創造しようと する分野を、スピンエレクトロニクスと最近呼んでいます。ス ピンエレクトロニクスでは,電荷とスピンのみならず光をも融 合して新しい現象、新しいデバイスの可能性を追求しています。 この分野では微細加工が必須で、フォトリソグラフィー、電子 線リソグラフィー等の技術を用いて加工が行われています。ま た、リソグラフィーの技術では到達できない微細化としては薄



写真1 イオンミリング装置

これらの分野への寄与も可能となりました。また、同時に寄付いただいたSEMに描画装置を追加することにより電子線リソグラフィーも可能となります。



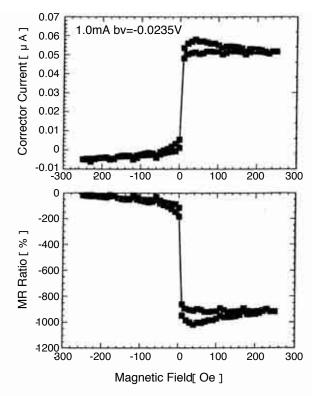


図1.スピンエレクトロニクス関連の結果

中井 靖男 教授

ダイヤモンドの低圧気相合成

ダイヤモンドは高価な宝石として知られていますが、優れた 工業用材料としてその利用が期待されていることは意外に知られていません。ダイヤモンドの宝石としての価値はその物質と しての最高の硬度、透明性、大きな屈折率などによります。こ のようなダイヤモンドの特別な物理的性質が宝石としての価値 を超え、新しい工業材料として注目されるようになったのはそれほど最近のことではありません。高い硬度、機械的な強度、高い熱伝導率等の優れた性質から、岩石用のドリルや鋸の刃先、金属切削工具の刃先等の新しい材料として私たちの身近で既に 実用化されています。このような目的に用いられるダイヤモンドのほとんどが高圧合成法により人工的に作られています。ダイヤモンドが相図上では炭素の高温高圧結晶相であることから

この合成法が発案され、成功してから既に50年近くにもなります。今日では幾つかの高圧合成法があり、希少価値のある天然結晶に対し高品質の結晶が安価に得られるようにな

り、工業的に広く利用されるようになっています。

優れた物性を持つダイヤモンドを工業材料として新たな用途を開発する場合、結晶成長技術に他技術の融合が必要なことが多い。このような場合、合成過程での高圧技術の必要性は大きな障害となります。低圧気相合成法はこの問題を解決する画期的な合成法で、主として炭化水素ガスを原料に一気圧以下の低圧で、薄膜状ダイヤモンド結晶を基盤結晶上に成長させること



が出来ます。この合成法は真空技術との両立が可能で、ダイヤモンドを優れた電気的特性を持った新しい電子デバイス材料として利用出来る技術として期待されています。しかしながら低圧気相合成法が実現してから既に30年近い現在、未だ電子デバイスに適用可能な結晶性、平坦性が良い薄膜を合成する技術が確立していません。この主要な原因は低圧気相合成法においてダイヤモンド結晶の生成機構の解明が不十分であることによります。特に成長の起点となる結晶核の構造とその生成機構の解明がなされていないことが本質的な問題です。

本研究ではダイヤモンド低圧気相合成で、異種結晶基盤上に ダイヤモンド結晶核が形成される機構を解明し、良質のダイヤ モンド結晶薄膜を異種結晶基盤表面に生成する指針を得ること を目的としています。写真1 に多結晶タングステン基盤表面に 気相成長させたダイヤモンド粒子の例を示します。水素で3% に希釈したメタンガスを原料に、圧力50mmHgで熱フィラメ ントを用いたガス分解反応法により生成したものです。約10 μmのダイヤモンド結晶粒子が分散しています。この成長形態 がこの成長法の本質を如実に示しています。(1)粒子径がよく 揃っている、(2)外形が球形に近い、(3)粒子に特殊な晶癖があ る、等です。この特徴から(1)ダイヤモンド結晶核はガス反応 開始初期のみに限られた確率で起ること、(2)ダイヤモンドの 成長はダイヤモンド表面のみに比較的容易に成長すること、(3) 結晶核は特異な分子的構造をもつこと等が読み取れます。図1. に見られる結晶をさらに成長させると大きな粒子同志が接触し ダイヤモンドの膜が出来ます。しかしこの様な膜は表面の平坦 性および結晶性が甚だ悪い。畑に植えられたキャベツの苗が大 きく育っても下の畑土が見えるようなものです。もっと粒子密

度を高くし、小さな粒子同士を接触させ、出来上がった薄膜の平坦性を良くせねばなりません。稲の苗が苗代にびっしり育つと、下地も見えずに表面が平坦になるのとちょうど似ています。この問題解決にはダイヤモンド結晶核がどのような素性のもので、どうしたら高密度に作れるか、基盤結晶表面で核が生き延びて成長出来る条件は何か、を明らかにする必要があります。我々は写真1に示したダイヤモンド粒子の生成には非常に微妙な条件が必要であることを最近明らかにしました。元来高温・高圧環境で安定なダイヤモンドが何故低圧環境で出来るか。この問題に対して、自然はそれほど複雑ではない筈である、と信じてひたすら思いをめぐらせています。

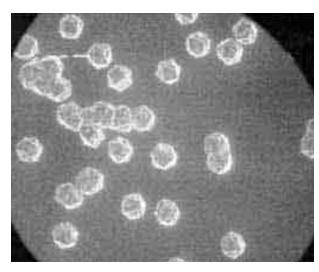


写真1. 低圧気相成長法(熱フィラメント法)によりタングステン基盤上に成長したダイヤモンド微粒子(粒径約10 μm)

堀尾 吉已 助教授

薄膜ナノ材料の分析・評価法 - RHEED法について -

ここでは特に、結晶基板上にナノオーダー(10-6mm程度)の薄膜を成長させる時の成長様式の観察、薄膜の結晶性、形態についての分析・評価法について述べます。用いるプローブとしては電子線、X線、イオン、光などがあります。信頼性のある分析・評価法には、薄膜成長のその場観察が望まれます。その意味では薄膜成長中に電子線を常に照射し続け、その反射回折図形あるいは反射電子強度の変化を計測する反射高速電子回折法(RHEED法)が最も有力であり(図1(a)参照)、現在広く用いられているのでこの方法について概説します。

一般に薄膜ナノ材料は、残留汚染ガスの極めて少ない超高真空中で基板結晶表面に原子を堆積させて薄膜を成長させます。成長の様式は、基板原子と堆積原子との組み合わせ、基板の清浄度、基板温度、堆積速度等の成長条件に強く影響を受けます。例えば、堆積する原子が基板上で3次元島状に成長する系もあれば、2次元平面状に1原子層づつ層状成長する系もあります。後者の場合、図1(b)に示すように原子レベルで表面粗さが周期的に繰り返されるため、鏡面反射電子強度を観測すれば、粗い表面では反射強度が減衰し、平坦表面で反射強度は回復する描像が考えられます。厳密にはこのような単純な解釈ではなく電子回折現象として解釈すべきでありますが、直感的にはこれで十分です。実際に層状成長系について実験観察を行うとこのよ

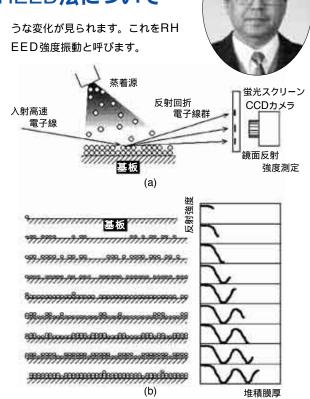


図 1 (a)RHEED法、(b)RHEED強度振動

(4ページへ続く)

一方、3次元島成長系では単調な強度減衰となるので、成長様式の識別が可能です。RHEED強度振動の1周期が1原子層の成長を意味するため、シャッターを併用すれば原子レベルで原子層の構築の制御も可能となり、多元素の積層にも広く応用できます。

また、回折図形の幾何学から薄膜の結晶性を評価できます。 例えば基板結晶と薄膜結晶の方位関係や結晶分域の大きさ、さら には薄膜表面に存在する原子ステップ形態情報までもRHEED 法で評価可能です。 このようにRHEED法の優れた点を列挙したが、最大の弱点は観察対象が回折図形といった逆空間であり、初心者にはなかなか逆空間から実空間のイメージが把握しづらいことと電子線が照射されている領域の平均情報であることが挙げられます。最近普及し始めた走査トンネル顕微鏡あるいは原子間力顕微鏡を用いれば実空間で局所的な形態観察が可能であるため、RHEED法と併用することで薄膜の分析・評価は極めて有力となります。ここでは紙面の関係上、元素分析法については割愛します。

坂 貴 教授

X線による薄膜および表面・界面の評価

薄膜あるいは表面の分析・構造解析は電子線をプローブとする方法が主流であり、X線はバルクの分析・構造解析に用いられています。これは電子線と物質との相互作用がX線に比べて大きいためです。しかし、「全反射を用いる方法」あるいは「表面定在波を用いる方法」など、X線による薄膜の評価方法も開発されており、それらは電子線にない特徴を有します。今回、X線回折装置が共同利用研究設備として導入さることになったので、これを用いて開発しようと考えているX線による新しい薄膜評価法について述べます。

対称ラウエケース(透過型)による単結晶からの回折では、 結晶が一様に湾曲していても歪の影響は現れません。しかし、 回折条件を満たしたまま、結晶を反射ベクトルの回りに回転さ せる(- 回転)と歪の影響が現れ、1次消衰効果の減少によ り回折強度(積分反射強度)が増大します。また、結晶に吸収 がある場合はボルマン吸収の影響が回転の方向(の正負)に よって異なります。 - 回転により結晶の「見かけ上の」厚さ は1/COS 倍になるが、吸収の大きさが回転の方向によっ て異なるため、強度の非対称が観測されます。これを利用して 基板の歪を感度良く検出することが可能です。図1は714μm 厚さのSi結晶のスクラッチによる歪を検出した例です。結晶 を = 0より少し回転させることにより強度が大きく増大しま す。また、強度の非対称も観測されます。この結果は結晶が曲 率半径~700Mで湾曲していると仮定することにより説明でき ます(図2)。この方法は薄膜からの情報を直接得ることは出 来ないが、表面処理あるいは積層した薄膜による基板の歪を極 めて感度良く検出することが可能であり、薄膜・表面の評価に 適用できると期待されます。図1の例からは5000m以上の曲

率半径の湾曲まで検出可能と推測されます。用いる波長や反射面などの回折条件の最適化を行うことにより、さらなる感度の向上が期待できます。



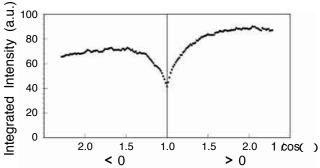


図1 - 回転による積分反射強度の変化、(555)反射、0.415Aの波長を用いた。

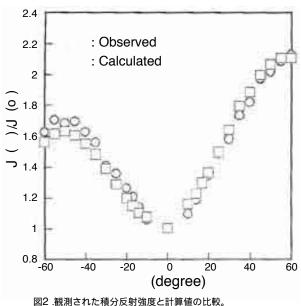


図2 . 観測された積分反射強度と計算値の比較。 曲率半径~700Mと仮定。J()は だけ回転させたときの 積分反射強度を表す。

お問い合わせ

大同工業大学 産学連携共同研究センター リエゾンオフィス

〒457-8530 名古屋市南区滝春町10-3 TEL(052)612-6132 FAX(052)612-5623 E メール crc@daido-it.ac.jp ホームページ http://www.daido-it.ac.jp/