

© 1987 ISIJ

工業用ダイヤモンド利用技術の現状と将来



佐藤 純一*

Today and Future for Industrial Applications of Diamond

Junichi SATO

1. 緒 言

ダイヤモンドの利用は、古くは古代エジプト時代に遡り、以来その高輝な輝きの故に人類の装飾品として最高の地位を現在に至るまで維持していることは周知のとおりである。他方、ダイヤモンドが最も硬いことも古くから知られていたようで、石材のダイヤモンドによる加工が記されており、単に装飾品のみならず工具材料としての利用も同様に古い時代に遡ることができる。

このように、ダイヤモンドは、ダイヤモンド自身をはじめ各種の貴石、非常な難削材加工あるいは高精度を必要とする加工に用いられてきたが、いずれも天然ダイヤモンドであつて、資源的制約のため利用範囲はきわめて限られたものであつた。

ダイヤモンドに本来の意味で工業用材料として利用される途を拓いたのは、米国のゼネラルエレクトリック (GE 社) による 1955 年の静水圧法によるダイヤモンド合成技術の成功である。以来、ダイヤモンドカッター、グラインディングホイールを主とした利用が着実に成長し、さらに最近のエレクトロニクス産業の成長、自動車工業等における加工工程の合理化、ファインセラミックスをはじめとする難加工性の新素材の登場を背景として、ダイヤモンド工具は年間 15~20% の伸び率で成長し、昭和 61 年には、年間生産高は 800 億円を超すと推定されている。

更に最近になって、大粒ダイヤモンドの静水圧法による製造、気相法による膜状ダイヤモンドの製造が可能になり、ダイヤモンドの硬さ以外の、熱的、光学的、電気的な特性に注目した機能材料としてもより広い応用の可能性が開けてきた。

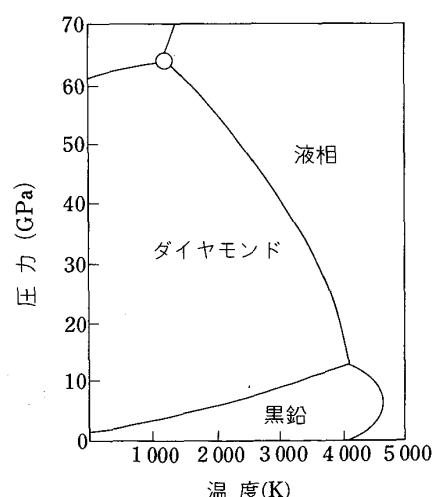
このようにダイヤモンドを新しい機能材料としてとらえなおし、「ニューダイヤモンド」なる造語をにかけて、

昭和 60 年 7 月にニューダイヤモンドフォーラムが発足し、産官学の研究者、技術者の相互交流・研鑽の場ができており、現在約 100 社の企業が参加し、活発な活動を行つている。

筆者も、上記ニューダイヤモンドフォーラムの設立以来の事務局の一人として活動しているが、このたび貴誌に機能性材料としてのダイヤモンドについて解説依頼を受けたのを機会に、昨年当フォーラムが行つた「ニューダイヤモンドの開発・利用動向」¹⁾をベースにして、本稿をまとめることにする。

2. ダイヤモンドの基礎的特性

炭素は、図 1²⁾の状態図に示したように、常圧あるいは比較的低圧ではいわゆる黒鉛構造をとり、高压領域では立方晶のダイヤモンド構造をとる。その他に、衝撃加圧法では、ウルツァイト型の構造があるが、これは六方

図1 炭素の平衡状態図²⁾

昭和 61 年 12 月 2 日受付 (Received Dec. 2, 1986) (依頼解説)

* 昭和電工(株)セラミックス技術部次長 工博 (Ceramics Division Technical Department, Showa Denko K. K., 1-13-9 Shibadai Mon Minato-ku Tokyo 105)

Key words : diamonds ; synthesis ; applications ; crystal structure ; mechanical properties ; optical properties ; physical properties ; diamond tools ; thermal conductivity ; semiconductors.

晶の黒鉛構造と立方晶のダイヤモンド構造の中間的構造と考えられる。なお黒鉛のもう一つの構造として菱面体構造も知られている。図2³⁾に、炭素の主要な結晶構造の概念図をかかげておく。

さてここでダイヤモンドの主な物理的性質を、表1³⁾にまとめる。ダイヤモンド結晶は、純粋な共有結合で、いわば理想的にタイトな結合であり、このため硬さはヌーブ硬度で7000~12000と現存物質の中で最高である。ただし、ダイヤモンドの結晶面、方向によつて原子密度差があり、不純物等欠陥の有無によりこのような範囲に実測される。また弾性率は 10^{12} N/m²のオーダーであつて、やはり最高の高剛性材料として注目されるゆえんである。その他の特性のいくつかについては、用途

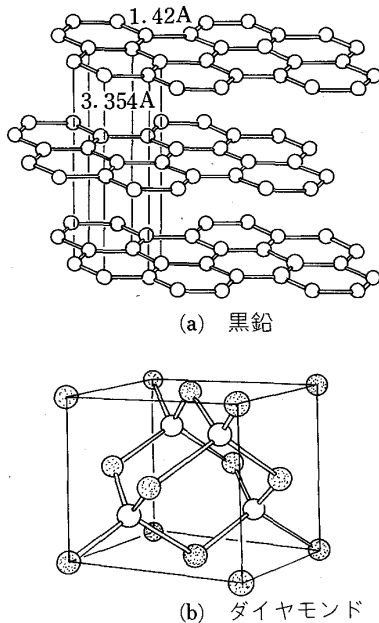


図2 炭素の結晶構造⁴⁾

のところで説明することにする。

3. ダイヤモンドの合成法

3.1 静的圧法

図1に示したように、ダイヤモンドを合成するには、黒鉛をダイヤモンドの安定な領域にもたらし、これを保持すれば、理論的には良いことになる。ただし、実用的な黒鉛→ダイヤモンド変換速度を得るには、黒鉛とダイヤモンドの平衡線より非常な高圧側に位置させねばならない。他方、このような高圧での製造には、設備費用の増大を必要とする。

したがって実際の工業的合成には、炭素を適度に溶解する溶媒(場合によつては触媒とも呼ばれる)を用い、加圧下では炭素の黒鉛としての溶解度に比べダイヤモンドとしての溶解度が小さいために、平衡相としてのダイヤモンドが析出することを利用する。溶媒としては、Fe, Co, Ni等鉄属元素およびCr, Mn並びにこれらの合金が用いられる。このように溶媒金属を用いた場合、炭素と溶媒金属との共晶温度以上で、かつ黒鉛-ダイヤモンドの平衡線の近傍でダイヤモンドを析出させることができる。この範囲を図3⁵⁾に例示した。

現在用いられている工業用ダイヤモンドの90%以上は、この静的圧力法によつて製造されたものであつて、一般に1400~1600°C, 40~70 kbar程度の温度、圧力が用いられている。このような条件をみたす高温高圧装置として実際に用いられているのは、図4に示すようなベルト型と称されるタイプで、GE社によつて基本技術が確立されたものである⁶⁾。

同図において、鋼リングで補強された超硬合金製のリングと上下のピストンから構成される空間内に、前記の黒鉛と溶媒金属を収めた反応室のセットを収め、一軸式プレスにて加圧すると同時に、上下に通電し加熱する。

表1 CBN およびダイヤモンドの物理的性質

	CBN	ダイヤモンド
化学記号	BN	C
結晶構造	閃亜鉛鉱形	ダイヤモンド形
空間群	F 43 m	Fd 3 m
格子定数 (Å)	3.615	3.567
原子間距離 (Å)	1.57 (B-N)	1.57 (C-C)
密度 (g/cm ³)	3.48	3.515
へき開面	{011}	{111}
融点 (K)	3500 at 105 kbar	4000 at 130 kbar
硬度 (ヌーブ)	4700 (Indenter)	7000~12000
	26 (Woode 1 Abrasion Scale)	42.5
弾性率 C11 (dyne/cm ²)	71.2×10 ⁹ (計算値)	107.6×10 ⁹
屈折率	2.117 at 0.583 μm	2.417
色 調	透明~黄色~褐色~黒色	透明~黄色~黒色
抵抗率 (ohm-cm)	10 ² ~10 ¹⁰	10~10 ¹⁶
誘電率	=4.5	=5.58
比熱 (cal/mole/degree)	3 at 300 K	1.46 at 289 K
デバイ温度 (K)	1900	2220
熱伝導度 (kW/m·K)	1.3 at 室温 (計算値)	2.0
線膨張率 (/K)	4.3×10 at 700 °C	4.5×10 at 750 °C
耐酸化性	空気中で約 800°C より酸化する	空気中で約 600°C より酸化する
耐薬品性	酸には侵されない KOH, NaOH には約 300°C で侵される	酸, アルカリには侵されない

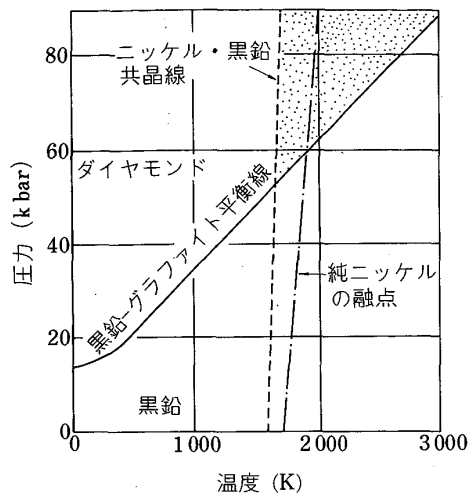


図3 炭素状態図およびニッケル融点、ニッケル-黒鉛共晶線⁵⁾

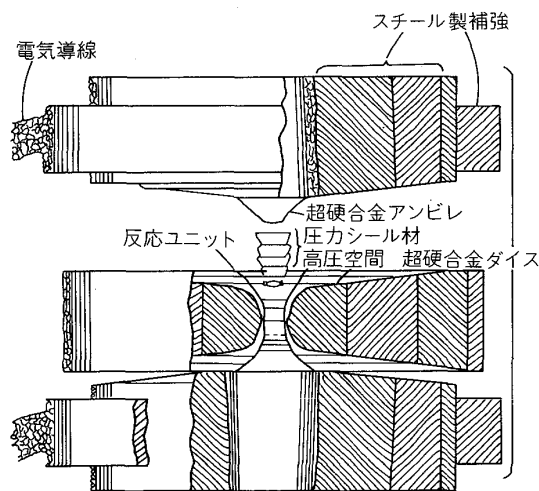


図4 ベルト型高圧発生装置

この反応室の構成のために、パイロフィライト、ろう石、食塩など高圧、高温下で均一な圧力伝達をする物質が用いられる。

3.2 衝撃圧縮法

火薬を爆発させる際に得られる衝撃圧縮によつて得られる高圧高温状態は、前述の静的超高压の熱平衡状態的なものとは異なり、圧力の持続時間が 10^{-6} s 程度の瞬間的なものであるが、 10^6 atm 以上の圧力を容易に発生できる特徴がある。また衝撃圧縮の際、その断熱圧縮効果により物質の温度が急上昇する。

最初に衝撃法によるダイヤモンド合成を行つたのは、DECARLI⁸⁾であり、黒鉛粉の成型体をステンレスの容器に入れ、これに爆撃波で金属板を高速で衝突させて衝撃圧力を加えるものである。得られるダイヤモンドは数 10 nm の結晶子が結合している数 100 nm から数 10 μ m の2次粒子であつて、六方晶系と立方晶系の混合相から

なる。この方法による爆発合成ダイヤモンドは、現在デュポン社から市販されている。

3.3 低圧法

これまで述べた方法は、ダイヤモンドの熱力学的平衡領域にて静的あるいは動的な手段を用いて原料黒鉛をダイヤモンドに変換させるという考えに基づいていた。

一方、最近注目をあび、数多くの研究発表が行われるようになったのが、気相からのダイヤモンドの合成で、応用面からも半導体、ヒートシンク、コーティング製品など関心を集めている。

ダイヤモンドの気相合成による考え方は、1955年のGE社による高圧高温による工業的合成法の成功に1年遅れて、ソ連のB. V. SPITSYNおよびB. V. DERJAGUIN⁹⁾、さらに2年後の米国のW. G. EVERSOLE¹⁰⁾によつて早くも発表されている。以後、V. B. DERJAGUIN¹¹⁾、J. C. ANGUS¹²⁾、B. V. SPITSYN¹³⁾などによる研究報告がされ、気相合成法の基本的知見が蓄積されていった。

我が国においては、ここ数年来、無機材質研究所のグループによつて精力的に研究が推進され^{14)~16)}、熱フィラメント法、マイクロ波プラズマ法、高周波プラズマ法など諸装置によるダイヤモンド合成と生成相の詳細な解析を発表し、工業的手段としての可能性に大きな貢献をしているのは周知のとおりである。以来、大学、企業でダイヤモンドの気相合成の研究が非常に盛んになり、世界的に見ても我が国の技術が注目をあつめている¹⁷⁾。

1例として図5に熱フィラメント法装置を示す。基板上方のタングステンフィラメントを2000°C以上に加熱し、メタンガスと水素の混合ガスを導入し、600~1000°Cに加熱された基板上にダイヤモンドを得た。良質な形状をもつダイヤモンドを得るにはメタン濃度として1%以下、圧力範囲は10~100 Torrの条件が望まし

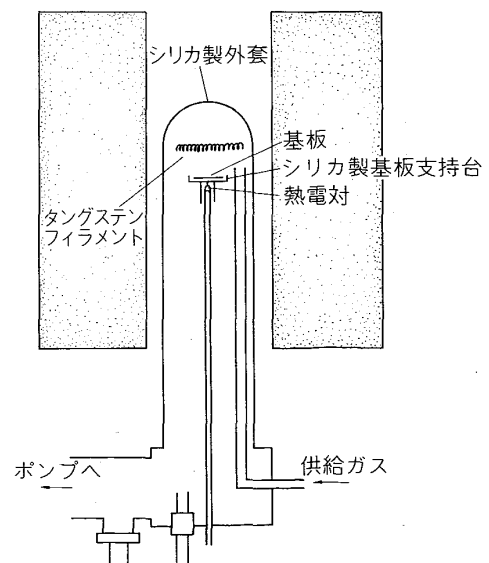
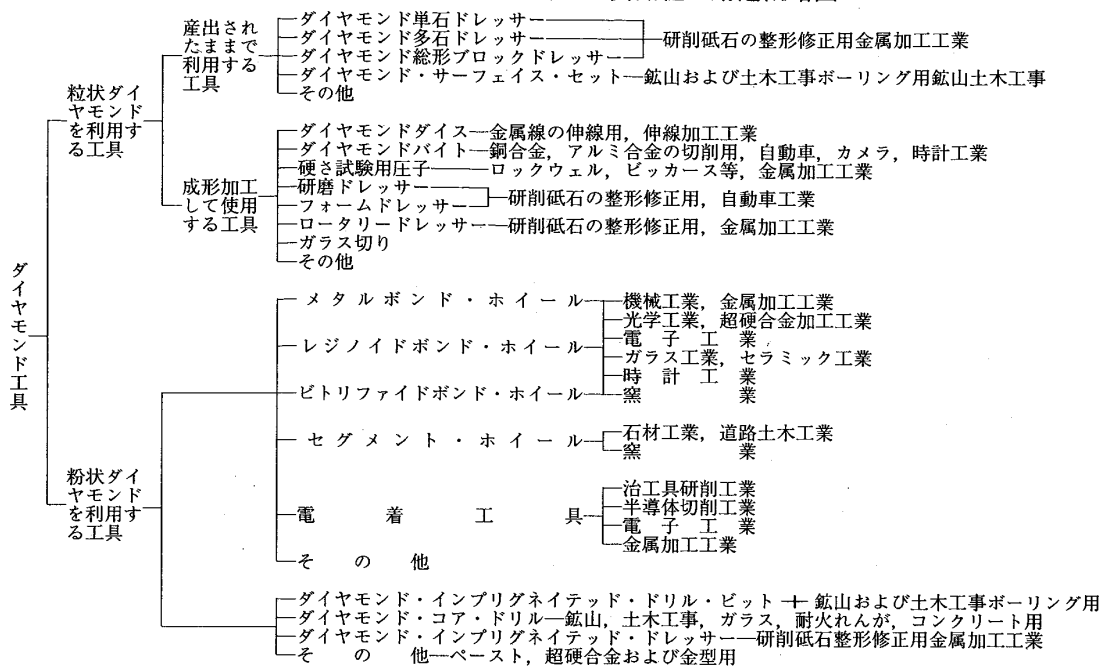


図5 熱フィラメント法の装置の概念図¹⁾

表 2 ダイヤモンド工具の主要品種と用途概略図



いと言われる。

ダイヤモンドの気相生成についての機構については、いまだ明らかでないのが実態であるが、よく説明に用いられるのは、メタンガスが C-H のラジカルを経て炭素原子に分解するが、 Sp^3 混成軌道を有するダイヤモンドと Sp^2 のグラファイトと無定形炭素が同時に生成する。ダイヤモンドの合成に妨害となるのは、熱力学的には低圧下で安定なグラファイトと無定形炭素であるが、これを水素ガスの分解によつて生ずる原子状水素が、ダイヤモンドよりも早くメタンに再度化合除去し、ダイヤモンドを残して成長させるというものである。前述のタンゲステンフィラメントは、この原子状水素を発生せしめる作用をしていると説明されている。

マイクロ波プラズマ、高周波プラズマは、単なる加熱状態では得られない励起を生じさせて、ダイヤモンド生成を促進せしめるものである。その他、最近では各種の方法が報告されているので、それぞれの専門報告を参照していただきたい¹⁸⁾¹⁹⁾。

4. ダイヤモンド利用の現状

ダイヤモンドの工業的利用は、硬さを生かした工具がそのほとんどであり、その技術的現状については、ダイヤモンド工業協会によりまとめられた「ダイヤモンド工具マニュアル」³⁾が詳しい。表2は、その中にかかげられている用途の一覧で、これを見ても現在および将来の工業発展のためにダイヤモンドがますます不可欠の工業用材料となつていくことが理解できよう。

図6のダイヤモンド工具生産高の推移をみると、前述のことがより明確になるであろう²⁰⁾²¹⁾。ダイヤモンド

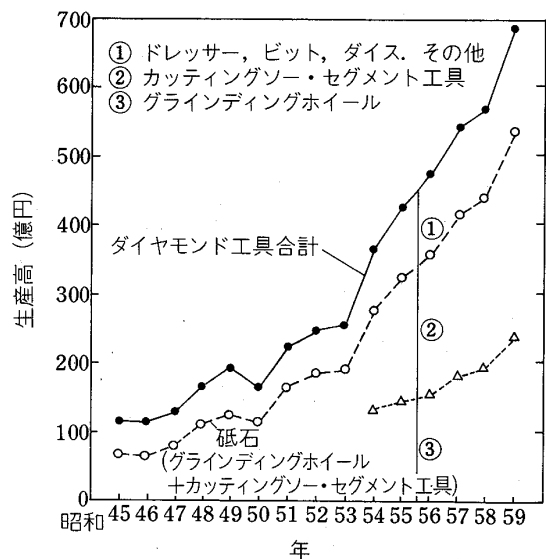
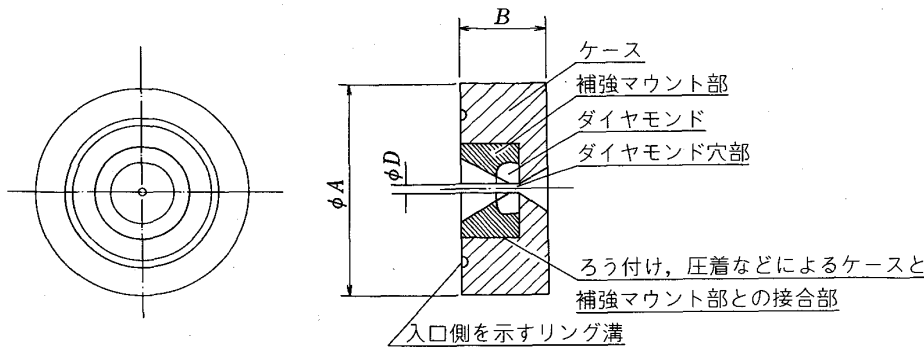


図 6 わが国におけるダイヤモンド工具生産高の推移²⁰⁾

工具の主体は、石材・建材等の切断に使われるカッティング・ソー・セグメント工具とグラインディングホイールと呼ばれている回転砥石の両者で約 80% を占めており、この原料は現在ではほとんどが合成ダイヤモンド砥粒である。

その他研削砥石の整形、修正のために使用されるドレッサー、各種土木工事・油田・ガス田等の掘鑿に用いられるビット、金属線の伸線に用いられるダイスなどがありこれらにはいまだ天然ダイヤがかなり使われているが、焼結ダイヤモンドが採用される製品も広がりつつあり、さらに人工の大型ダイヤモンド単結品粒も利用され

図7 ダイヤモンドダイスの構造及び各部の名称²²⁾

る段階になってきている。

ダイヤモンド工具は、昭和59年度ですでに700億円の生産高に達し、年間15～20%の伸び率のポテンシャルを保っている。今後ともエレクトロニクス用結晶材料、半導体製品、ファインセラミックス等難削性新材料の登場、超精密機械加工、加工工程の高効率化・無人化等ますます工具材料としてのダイヤモンドのニーズは高まってくるものと予想される。

5. ダイヤモンドの新しい機能の利用

5.1 新しい機械的機能の利用

5.1.1 耐摩、摺動特性の利用

最も硬く、かつ耐摩耗性の大きいダイヤモンドの特性を利用して精密な穴あけ、伸線作業にダイヤモンドダイスが用いられる。

とくに最近、硬脆材料の押出し、極細線の加工、各種耐摩耗精密部品などにダイヤモンド工具を導入する傾向が増えてきている。例えば、シャープペンシルの芯、セラミックス材料等の押出し加工用ノズル、ウォータージェット用噴射ノズル、ワイヤー放電加工機用ワイヤーガイドがあげられる。

ダイヤモンドとしては、従来は天然の単石ダイヤモンドがすべてであったが、最近では焼結ダイヤモンドが開発され、応用分野がさらに拡大してきている。また単石ダイヤモンドにも、合成大型ダイヤモンドが天然産に伍してくる段階が近づいている。なお図7に、JIS B 4132²²⁾から、ダイヤモンドダイスの構造と各部の名称を示す。

ダイヤモンドの摺動材としての利用で、一番歴史の長いのは音響用レコード再生針であろう。これには音溝にかかる重量を微小な接触面で受けるため、耐荷重が大きく耐摩耗性に秀れたダイヤモンドが最適である。

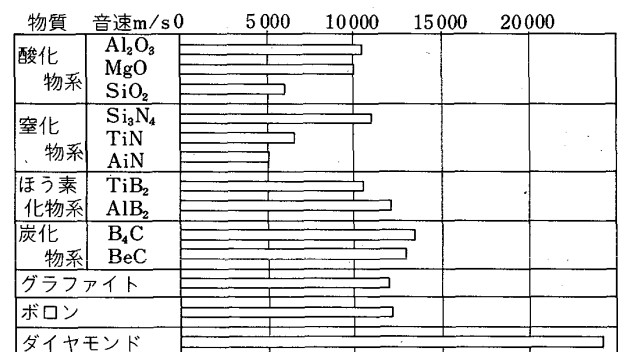
また微細形状測定用あるいは表面粗さ測定用端子など触針、半導体工業でICペレットの突き上げピンなどにもダイヤモンドが用いられる。

5.1.2 音響材料

電気音響機器の開発競争は、とくに我が国において激しく、超Hi-Fi、デジタル化の時代を迎えている、ス

表3 スピーカーにおける音響特性と材料特性との関係

a) 音響特性としての要求	b) 材料特性に対する要求
1. 周波数特性の平坦化 (ピストン帯域の拡大)	1. 低密度化
2. 周波数帯域の拡大	2. 高剛性化
3. 低歪み率化	3. 内部損失
4. 過渡特性の改良	4. 気密性保持
5. パワーリニアリティーの改良	5. 材料固有の寄与
6. 高感度化	6. 形状、構造的寄与
7. 音質の向上	7. 温度、湿度に対する安定性
8. 指向特性の改善	8. 耐熱、耐炎性
9. 特性劣化に関する信頼性	9. 耐候及び耐久性

図8 ダイヤモンドと高音速材料との比較¹⁾

ピーカー振動板材料は、A. G. BELLの軟鉄からはじまり、紙、麻、マイカ、絹等の天然材料主体の時代から、各種金属、合成樹脂、合成繊維、特殊加工紙などを経て、さらにより高品位の再生を行わしめる材料が要求されるようになってきた¹⁾²³⁾。表3には、スピーカーにおける音響特性と材料特性の関係の例を示すが、低密度化、高剛性化、耐熱、耐候性など注目される特性がダイヤモンドに多い。さらに図8に、示すようにダイヤモンドは高音速固体材料としても注目されている。

また音響ピックアップの振動素子部品であるカンチレバーには、機械的振動を忠実に電気変換部へ伝達することと針先重量の減少のために、それぞれ高剛性と低密度が要求される。ダイヤモンドは、密度の点ではAl、Bに劣るが、剛性はこれらに比べて遙かに大きく、カンチレバー材として優れている。

(室 温)	熱伝導率 (cal/cm·s·°C)					電気抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}$	熱膨張係数 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
	1	2	3	4	5		
ダイヤモンド							
天然 II a					5	10^{16}	2.3
天然 I a		2.2					
合成 I b					5		
Ag	0.99					1.6×10^{-6}	19.1
Au	0.74					2.3×10^{-6}	14.1
Cu(高純度)	0.94					1.7×10^{-6}	17.0
Mo	0.33					5.7×10^{-6}	5.0
BeO	0.55					$> 10^{14}$	7.6
CBN					3 (推定値)	$> 10^{11}$	3.7

図 9 各種高熱伝導材料の特性¹⁾

5.2 熱的機能の利用

ダイヤモンドは、電気的には絶縁体であるが、物質中では、図 9¹⁾ に示したように既知の高熱伝導材料のうち最高の銀の値に対し約 5 倍の熱伝導率をもつ。これにつぐものは、やはりダイヤモンド構造をもつ CBN であるが、目下高純度の大型単結晶が合成し得ないので正確な測定値は知られていない。

さて半導体デバイスは、小型化と大出力化にますます進んでおり、設計上の最大の技術的課題は発生するジュール熱をいかにデバイス系外へ効率良く放散させるかであるといえる。このため素子の直下に高熱伝導率の放熱体を接合して素子からの発生熱をまず吸収し、2 次的放熱系に伝達する技術が用いられている。この放熱体が、ヒートシンクと通称されるもので、当初は Cu, Ag 等の金属が用いられたが、図 9 にもある天然 II a 型ダイヤモンドが有望視され、約 20 年前から応用がはじまった。

例えば図 10²⁴⁾ に示したように高周波容量伝送に用いられるインパットダイオードにおいては、Si, GaAs 等のマイクロ波素子を Cr, Ti 等の下地の上に成形したものを Pt, Au でコートされたダイヤモンドの上に接合し、これを仲介にして素子から発生した熱を 2 次的放熱を行う銅板に高効率で伝達させる。

ダイヤモンドヒートシンクは、光通信用の半導体レーザーにも利用される²⁵⁾。数 kA/cm^2 の高電流密度動作を行うため、放熱のいかにレーザー性能の鍵を握っているといえる。1985 年 2 月に完成した NTT の列島縦貫光ファイバー伝送システムでは、ダイヤモンドヒートシンク付の半導体レーザーが用いられているといわれる。

ダイヤモンドの熱的特性から考えるとヒートシンク材として今後ますます有望であるが、従来天然 II a ダイヤモンドを使用していたため資源的制約から高コストであった。しかし、最近の大型単結晶ダイヤモンドの合成、気相合成によるダイヤモンド膜製造技術の開発によつて、より安価に、しかもコントロールされた性質のダイ

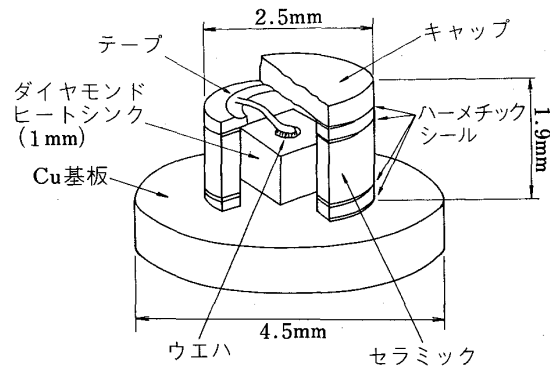
図 10 ダイヤモンドヒートシンクの応用例²⁴⁾ インパットダイオード

表 4 各種半導体材料の特性

特性 材料	Band gap (eV)	キャリア移動度 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)		比誘電率
		電子	正孔	
Si	1.1	1500	600	11.8
GaAs	1.4	8500	400	10.9
SiC	3.0	400	50	10
Diamond	5.5	1800	1600	5.5

ヤモンドが供給しうる可能性がでてきており、すでに単結晶についてはある程度商品として導入されている。

5.3 電気的機能の利用

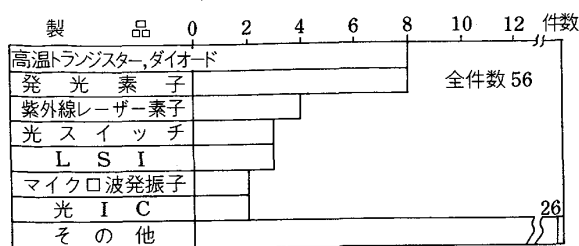
炭素は、IV 族元素であるので、ゲルマニウム、珪素と同様に、炭素の同素体で絶縁体であるダイヤモンドが半導体となり得るという考え方は当然でてくる。天然ダイヤモンドの中で青色の II b 型が、P 型半導体であることはすでに良く知られているとおりである。

ダイヤモンドの半導体の性質を、他の代表的半導体材料と簡単に比較したのが表 4²⁶⁾ である。特徴としては、(1)バンドギャップが大きい、(2)電子、正孔ともに Si 並の移動度をもっている、(3)比誘電率が低いなどがあげられる。バンドギャップが小さいと、禁制帯にある電子が熱励起により伝導帯に上がる確率が高くなり、半導体として機能する温度上限が低くなる。Si で 150°C 、GaAs が 250°C が使用温度限界といわれるが、バンドギャップから考えるとダイヤモンドではこの限界を 500°C 以上に上げられる可能性がある。

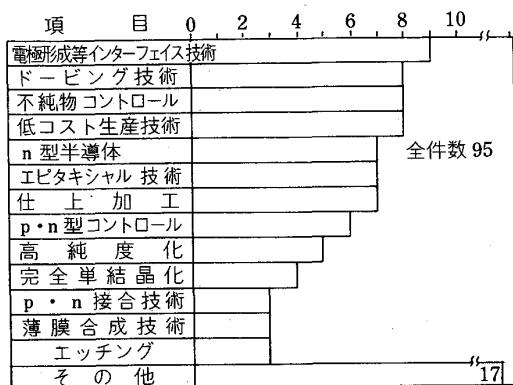
先述の高熱伝導率による熱の除去も容易なものと併せて、ダイヤモンドは素子自体大電力を消費するような場合に有利である。また低誘電率であることはマイクロ波用トランジスタとしての目的にもふさわしい。

以上のように基礎物性をみると、有望な半導体材料ではあるが、ダイヤモンドに関する電子的持性の把握はいまだ不十分であり、技術的にもドーピング一つとっても非常に大きな困難を抱えていることを十分に認識しておかねばならない。

したがって本報のはじめに紹介したニューダイヤモンド



(a) ダイヤモンド半導体製品推定



(b) ダイヤモンド半導体製品開発における技術課題

図 11 予想されるダイヤモンド半導体製品とその技術課題¹⁾

ドフォーラムの調査においても、ダイヤモンド半導体の市場を定量的に予測することはできなかった。しかし、同フォーラムに参加している、ダイヤモンドの新しい利用の開発・研究者の立場から、ダイヤモンド半導体製品としていかなるものが予想されるか、そしてこれらを実現するために解決せねばならない技術課題はどのようなものであるかを図 11¹⁾に参考としてかかげておく。

図 11 において、ドーピング、不純物コントロール、単結晶化、薄膜合成といったダイヤモンド材料自体にかかわる課題はもちろんのこと、インターフェイス技術、仕上加工、p-n 接合技術といった製造のための基本要素技術もいまだ緒についたばかりであるがほとんど手つかずといったところが現状といえる。したがってダイヤモンド半導体の広い応用がすぐにでも実現しそうな期待をもつことは厳につつまむべき反面、この分野の応用の可否は研究・開発によるブレークスルーいかににかかっており、今後の大きな先端技術的テーマであると考えられる。

5.4 光学的機能の応用

最後に、ダイヤモンドの光学的利用について触れておこう¹⁾²⁷⁾。ダイヤモンドそのものは、光学的に等方で、紫外から遠赤外にかけて透明度が高いが、不純物により種々の波長で吸収を受ける。光学的材料として用いる場合には、純度が高いⅡa型のダイヤモンドが最も適している。これは、紫外での吸収端は約 230 nm にあり、可視光では全域透過、赤外・遠赤外では波長 2.5~6 μm に

かけて吸収をもつ以外は透明である。

光学的な応用は、金星探査機の赤外放射計の窓材として用いられたことがよく知られているが、これまでのところ特殊な用途に限られてきた。最近のダイヤモンド合成の研究により、透明度が高くある大きさ以上のダイヤモンドが容易に入手可能になれば、紫外・赤外用の光学材料としてかなりの潜在的需要があるとみられる。

ここでいくつかの応用の可能な領域をあげておこう。まず赤外光に対しては、1 μm 帯は常用のガラスで十分、3~5 μm 帯ではダイヤモンドに吸収があるので、8~13 μm での利用が主となろう。この帯域で実用光学材料としては Ge, ZnSe, ZnS, カルコゲナイドガラスがあるので、これらは機械的強度、耐環境性に問題があり、ダイヤモンドが利用できるようになれば光学設計上大いにプラスである。

また炭酸ガスレーザーには、現在主として ZnSe が用いられているが、高出力化の中で耐熱性の高い光学材料が必要となつてきており、ダイヤモンドも有力なものといえよう。

また紫外域で波長 220 nm 程度までの光学材料としては螢石と石英しかないもので、ここもダイヤモンドを適用したいところである。

一方、ダイヤモンドの硬さ、耐環境性を利用した、諸光学部品の保護膜としての用途も、今後ダイヤモンドの膜の応用として有望である。

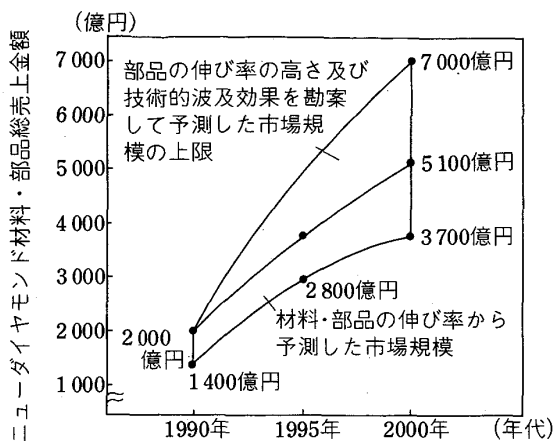
6. ダイヤモンド製品市場の将来

これまでダイヤモンドの特性・機能と応用の可能性について技術的立場から述べてきたが、ここで昨年ニューダイヤモンドフォーラムで行った、アンケートをベースにしたダイヤモンド製品の市場の将来予測を紹介しておく、詳しくは文献に挙げたオリジナルを参照していただきたい²⁸⁾。ダイヤモンド工具を除いては、基礎研究からようやく応用段階へかかったものが多いため、困難な調査だった。数値的にかなりの解答が得られたのは、ダイヤモンド研削工具、焼結および単石工具、コーティング工具、ヒートシンク、耐摩・撓動製品についてであつた。半導体、光、音響、医療用等については、ほとんど予測数値が入手できなかった。

表 5¹⁾ がまとめである。すなわち 1990 年に 1700 億円、1995 年には 3200 億円、2000 年には 4400 億円を

表 5 ニューダイヤモンドの将来市場予測
(半導体、光、音響、医療用は含まず)

	億円/年		
	1990 年	1995 年	2000 年
最大値	3 800	7 300	17 000
年率 16%			
最頻値	1 400~2 000	2 800~3 600	3 700~5 100

図 12 ニューダイヤモンド市場規模予測¹⁾

設定目標として最頻値の中間をとっておくのが安全であろう。ただし、努力の目標としてダイヤモンド製造技術、加工技術における技術課題が解決された場合の最大値も専門家の期待値としての意味はある。

ここで技術的波及効果を勘案して市場規模の上限を予測¹⁾してみると図 12 のようになり、西暦 2000 年には、約 7000 億円と見ることもできる（算出根拠：昭和 59 年通商産業省生活産業局長の私的諮問機関「ファインセラミックス基本問題懇談会」報告書）。

さらに、ダイヤモンドの機能材部品がこのように広がった場合、次の波及製品分野も考えられる。

(1) ダイヤモンドを加工する機械

(2) ダイヤモンドデバイスを組み込んだアセンブル装置

(3) ニューダイヤモンド機能製品の製造装置、薄膜製造装置、大型プレス、ダイヤモンド半導体製造装置等。

今回のアンケートでは、半導体等の市場予測ができなかったため、逆に半導体産業全体の将来市場から予想してみる。

半導体産業全体では、1984 年現在で 1 兆 6000 億円、年間伸び率は約 30% で、これが 2000 年まで続くものと仮定すれば、半導体市場は約 110 兆円と見込まれる。一方産構審によると半導体分野は、応用まで含めると 2000 年に約 280 兆円との推定もあり、前述の数値もあながち無理とはいえない。そこで、ダイヤモンド半導体市場は少なく見積もつてこの中の 1%、研究開発が進めば 10% 前後を占めるものと推定されるので、2000 年には 1 兆円から 11 兆円の間と考えられる。

従つて、前述のアンケート結果と併せて、ダイヤモンド製品の市場は西暦 2000 年で 2 兆円から 13 兆円となる。

この範囲の大きい側に行くかどうかは、本報にも一部述べた技術的バリアーの克服が鍵を握っているといえよう。

7. 結 言

今回、ダイヤモンド利用技術の現状と将来と題し、ダイヤモンドの基本的特性、合成技術から出発し、工具を中心とした利用の現状を経て、新しい機能の利用にまで述べたが、紙面の都合で極く表面的になつてしまったので、詳細については文献を直接参照していただければ幸いである。最後にニューダイヤモンドフォーラムのメンバーを対象にした将来市場の予測をかけたが、新しい素材としてのダイヤモンドに関心のある貴協会の方々のメンバーの方々も、当フォーラムに積極的に参加いただければ幸いである。

文 献

- 1) ニューダイヤモンドの開発・利用動向 (1986 年 3 月) [ニューダイヤモンドフォーラム]
- 2) F. P. BUNDY: J. Chem. Phys., **38** (1963), p. 631
- 3) ダイヤモンド工具マニュアル (ダイヤモンド工業協会編) (1979)
- 4) 研究討論会資料、工具の材料科学と加工 (日本材料科学会編) (1985 年 12 月)
- 5) R. H. WENTORF Jr.: As trophys. J., **134** (1961), p. 995
- 6) H. T. HALL: 特公昭 36-22463
- 7) 瀬高信雄: ニューダイヤモンド, **2** (1986), p. 16
- 8) P. S. DECARLI and J. C. JAMISON: Science, **133** (1961), p. 1821
- 9) B. V. SPITSYN and B. V. DERJAGUIN: USSR Inv. Certif. No. 339134 (1956)
- 10) W. G. EVERSOLE: US Patent 3030187 (1958)
- 11) B. V. DERJAGUIN and D. V. FEDOSSEV: J. Cryst. Growth, **2** (1968), p. 380
- 12) J. C. ANGUS, H. A. WILL and W. S. STANKO: J. Appl. Phys., **39** (1968), p. 2915
- 13) B. V. SPITSYN, L. L. BOUILOV and B. V. DERJAGUIN: J. Cryst. Growth, **52** (1981), p. 219
- 14) Y. SATO, M. KAMO, H. KANDA and N. SETAKA: J. Surface Sci. Soc. Jpn., **1** (1980), p. 60
- 15) S. MATSUMOTO, Y. SATO, M. KAMO and N. SETAKA: Jpn. J. Appl. Phys., **21** (1981), p. 183
- 16) M. KAMO, Y. SATO, S. MATSUMOTO and N. SETAKA: J. Cryst. Growth, **62** (1983), p. 642
- 17) New York Times (1986 年 11 月)
- 18) J. H. FREEMAN, W. TEMPLE and G. A. GARD: Nature, **275** (1978), p. 634
- 19) Y. NAMBA and T. MORI: J. Vac. Sci. Technol., **A3** (1985), p. 319
- 20) 佐藤純一: 精密機械, **51** (1985), p. 25
- 21) 入江 督: 塑性と加工, **21** (1980), p. 382
- 22) JIS B 4132
- 23) 第 1 回オープンセミナーテキスト、ニューダイヤモンドフォーラム (1986 年 2 月)
- 24) 原 昭夫: 精密機械, **51** (1985), p. 19
- 25) 大野留治: ニューダイヤモンド, **1** (1985), p. 29
- 26) 藤森直治: ニューダイヤモンド, **2** (1986), p. 10
- 27) 小松 啓: 精密機械, **51** (1985), p. 12
- 28) 佐藤純一: ニューダイヤモンド, **4** (1986), 発表予定