

魅惑、神秘、その秘められたダイヤモンドの機能性

京都府中小企業特別技術指導員の松村 宗順氏(マットン・ラボ・ソリューション代表)に上記テーマで寄稿いただきました。

1. ダイヤモンドとは

永遠の魅惑を秘めたダイヤモンドは、ギリシャ語の「征服しがたい」とか日本名でも「金剛不壊」として言われているように鉱物の中では最も硬い物として知られています。ダイヤモンド原石は、約33億年前に地中深く150から250km付近にある高温(1500~2000℃)で高圧(6万気圧)の環境の下で生成され、マグマが地球内部(マントル)を速い速度で地表に激しく噴出するときに、そのマグマと一緒にダイヤモンド原石が飛び出てきたキンバーライト(キンバリー岩)と呼ばれる

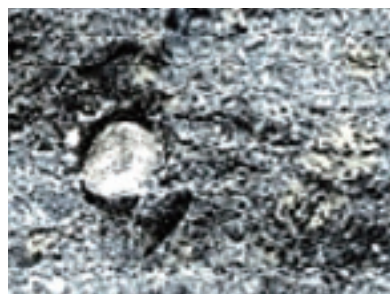


図1. キンバーライト中のダイヤモンド原石

岩石の中に多く含まれています。図1に示すようにダイヤモンド原石を含む母岩であるキンバーライトは、比較的地質構造が古い場所にしか存在していません。それ故、ロシア大陸、アフリカ大陸、北米大陸そしてオーストラリア大陸などがその場所です。これらの大陸でダイヤモンド原石の全世界の産出量の約90%を占めています。

ダイヤモンドは、金や白金などと同じように岩石が風化して、中に含まれる鉱物が長い時間の経過と共に堆積して風化残留鉱床を作り出し、更にその鉱床から川の水で堆積して漂砂鉱床を作り出していく過程でその鉱床のなかにもダイヤモンド原石が見出されています。

ダイヤモンドは原石として産出される時には、定まった形でもなく、角ばった形状の形もしていません。しかしながら宝飾用にカットされて、菱形や野球の内野の形に似ていることからダイヤモンドという呼び名になったとも言われています。

2. 秘められたダイヤモンド

ダイヤモンドは、金剛石とも呼ばれ、数ある宝石の中では最も知られたものです。透明な宝石として一般的なダイヤモンドですが、宝石の価値としては無色透明なものが上ですが、不純物が入ることにより黄色、青色、緑色、茶色などがあります。しかし、オーストラリアのみに産出するピンク色のピンク・ダイヤモンドは無色のダイヤモンドに比べ産出量も非常に少なく数百倍の価値があるといわれています。

多面体にカットされたダイヤモンドは、通過した光がプリズムのように美しく秘められた虹色の光を散乱させます。ダイヤモンドは、このシンチレーションというきらきらと眩い光線を放ちます。この輝きこそが、秘められたダイヤモンドの価値を長きに渡って人々を虜にしてきたのです。ダイヤモンドの屈折率

は2.417と高く、ダイヤモンドに入った光は内部で全反射して外部に出て行きます。ダイヤモンドのカットで一般的なものは、図2に示すラウンド・ブリリアント・カットと称する上部中央の平面のテーブル面とその周囲を33面にカットし、更に下部パビリオンに24面の切子面を施したものです。またダイヤモンドの品質を表す等級は、アメリカ宝石学協会(GIA)が編出した4Cという品質評価基準があります。Carat (重さ、カラット=0.2g、ctで表示)、Color (色、カラー、無色はホワイトと呼ぶ、DからZまでランクがある)、Clarity (透明度、クラリティ、インクルージョンや傷などをチェックしてF、VVS1、VSI、SI、Iというランクがある)、Cut (研磨、カット、マルセル・トルコフスキー氏が数学的に編出したラウンド・ブリリアントの形状で研磨技術の優劣)が4つのCとして指標を与えています。とりわけ、ダイヤモンドの輝きの美しさを決めるものとして4Cの中ではカット技術です。最近では、天然ダイヤモンドに放射線をあてることにより色々な色に人工的に着色することもできるようになってきました。

また、秘められたダイヤモンド原石は100トン余りの母石から平均して25から30カラット(約6g)ほどしか取り出すことができません。光り輝く宝石のダイヤモンドは約30カラットのうち10ないし20%しか採れません。それ故、ダイヤモンド自身が秘められた高価な宝石の一つであることがうかがえます。

3. ダイヤモンドの機能性

ダイヤモンドは、炭素原子をもつ代表的な共有結合の結晶です。既知の物質の中で最も高い硬度を有しています。ダイヤモンドは1つの炭素原子が正四面体の立体構造の中心にあり最近接の炭素原子はそれぞれの四面体の頂点に位置しています。各頂点上の炭素原子はsp3の混成軌道により結合しており、その結合長さは1.54Åの幾何学的に理想的な結晶角を有しています。すなわち原子配列が均一で緻密な構造です。しかも自然界の物質の中では最も高い硬度、モース硬度10 (主に鉱物の硬さを測る尺度、1から10までがある)、また、押込み硬さの一種であるヌーブ硬度8000を示し、群を抜いて硬いことが知られています。しかしながらダイヤモンドは硬く耐衝撃性に優れているように思われますが鉱物としての靱性は大きくないので、ある一定方向に瞬間的な力が加わると簡単に粉々に割れやすい劈開性を示します。

ダイヤモンドの強固な共有結合により、優れたダイヤモンドの機能性が見出されてきています。特に古くからダイヤモンドの硬さを用いて工業的に研削や研磨を行なう目的で幅広く用いられてきています。近年、図3に示すようにデンタルバーとして医療用の分野にもその信頼性の上に採用されています。電着ダイヤモンド

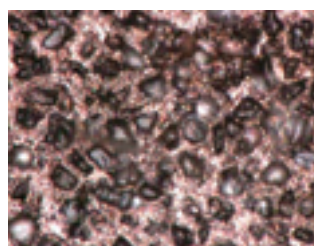


図3. デンタルバー表面の電着ダイヤモンド粒子



図4. 電着ダイヤモンドを施した工具

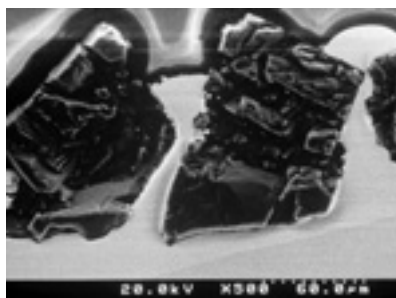


図5. 電着ダイヤモンド断面写真

ンドを施した研磨用工具の写真を図4に示します。研削用に用いるダイヤモンドは図5に示すようにダイヤモンド粒子がほぼ均等に電着皮膜に等間隔に固着されています。

ダイヤモンドがもつ高硬度の機能性だけでなく、腐食性の雰囲気、

特に酸やアルカリ、そして太陽光にも非常に強く、長期間これらの環境下においても変化することはありません。

ダイヤモンドの結晶は良好な誘電体ですが、構造欠陥や不純物の入ったダイヤモンドは電気伝導率が変動すると言われます。バンドギャップは室温で5.5eVであり絶縁体ですが、同じ炭素の同素体であるグラファイトとは全く異なる性質を示します。不純物を添加すると、高周波や高出力で動作する半導体の素子が期待されています。表1にダイヤモンドの物性表を示します。

表1. ダイヤモンドの物性値

組成	カーボン
晶系	等軸晶系
硬度	10
密度(g/cm ³)	3.515
格子定数(nm)	0.357
熱伝導率(W/m・K)	2000
誘電率	5.7
バンドギャップ(eV)	5.5
劈開	4方向に完全

表1で示したようにダイヤモンドの熱伝導率は金属銅(398 W/m・K)に比べおよそ5倍の高い値を示しています。特にダイヤモンドの熱伝導性は、原子の熱振動によるものと考えられています。すなわち強い共有結合をもつ結晶であるダイヤモンドは、非常に高い熱伝導率を有しています。例えば図6に示すように、水内らは放電プラズマ焼結法(SPS)を用いて銅中にダイヤモンド粒子分散型銅基複合材料を成形し、ダイヤモンド粒子体積分率43.2%の状態では654 W/m・Kの高い熱伝導率を持つ銅基複合材料表面率を得ることに成功しています。これはダイヤモンドを熱伝導率の高い金属に固定させる新しい複合材料の開発として考え出されています。

4. 将来性

ダイヤモンドは炭素の同素体としてグラファイトと同様に古くから知られているものですが、近年複雑な構造を持つ炭素の同素体が発見されてきました。特に話題のフラーレンやカーボンナノチューブなどに代表されるようにナノテクノロジーの分野でそれらの特性を有効に利用しようとする研究がなされてきています。

ダイヤモンドは石英以上の絶縁耐圧性を有し、熱の良導体である銅や銀の5倍もの熱伝導率を持つ材料であり耐熱性や耐食

性を考慮すると次世代のヒートシンクとして応用が期待されます。低い誘電率や高い絶縁破壊電界性も兼ね備えていることから高周波デバイスや大電力素子を利用する大型のパワーデバイスなどへの応用も

検討されます。さらにダイヤモンドの表面物性を用いて生体物質との親和性を利用してバイオセンサーの開発にも一役を担う材料として考えられています。特にダイヤモンドは親油性に富むことも最近の研究で解明され始めています。一方、電子材料への応用として各種の半導体材料の中でも短波長で高エネルギーの紫外線を発光することも見出されており、次世代の光ディスクを上回る超高密度記憶媒体の実現も近いと考えられています。

炭素原子という簡単な原子構造体を有するダイヤモンドは、21世紀を担う魅惑の材料として非常に注目されています。優れた物性値を有する材料として用いたり、無機半導体の材料に変身したりすることができます。更にはダイヤモンド表面を修飾することにより、力学、化学そして電気といった分野での新しい用途発現にその可能性を秘めています。

謝辞

今回の執筆に関して独立行政法人大阪市立工業研究所 上利泰幸先生、水内 潔先生の文献資料をお借りしました。記事全般にわたって日本精機宝石工業(株)の仲川 和志様のお世話になりました。また、個別の資料として「ダイヤモンドの物性」(株)オーム社発行、1993年)と「鉱物の不思議がわかる本」(成美堂出版発行、2010年)を参考にさせていただきました。

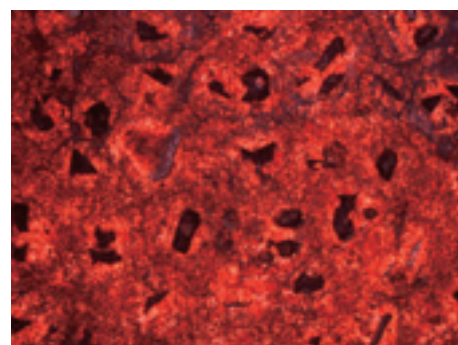


図6. SPS法で成形したダイヤモンド粒子分散型銅基複合材料表面

松村 宗順 (まつむら そうじゅん) 氏 プロフィール



所属 マットン・ラボ・ソリューション代表工学博士
略歴 甲南大学大学院応用化学科修士
大手化学薬品会社に勤務
ベルリン工科大学冶金金属学研究所に留学
2001年 奥野製薬工業(株)に勤務
2004年 中国・清華大学大学院博士課程修了
中国国家1級表面処理博士
2009年より現職
専門 電気化学(表面処理、複合めっき)
著書 トコトンやさしい機能めっきの本(2008)、環境対応型表面処理技術(2005)、Ceramic Transactions Vol134(1993) 多数(共著)

【お問合せ先】

京都府中小企業技術センター
基盤技術課 表面・微細加工担当

TEL:075-315-8634 FAX:075-315-9497
E-mail:ouyou@mtc.pref.kyoto.lg.jp