

2014年2月19日(水)銀座ライオンでの北野卓話会

# ダイヤモンドの話

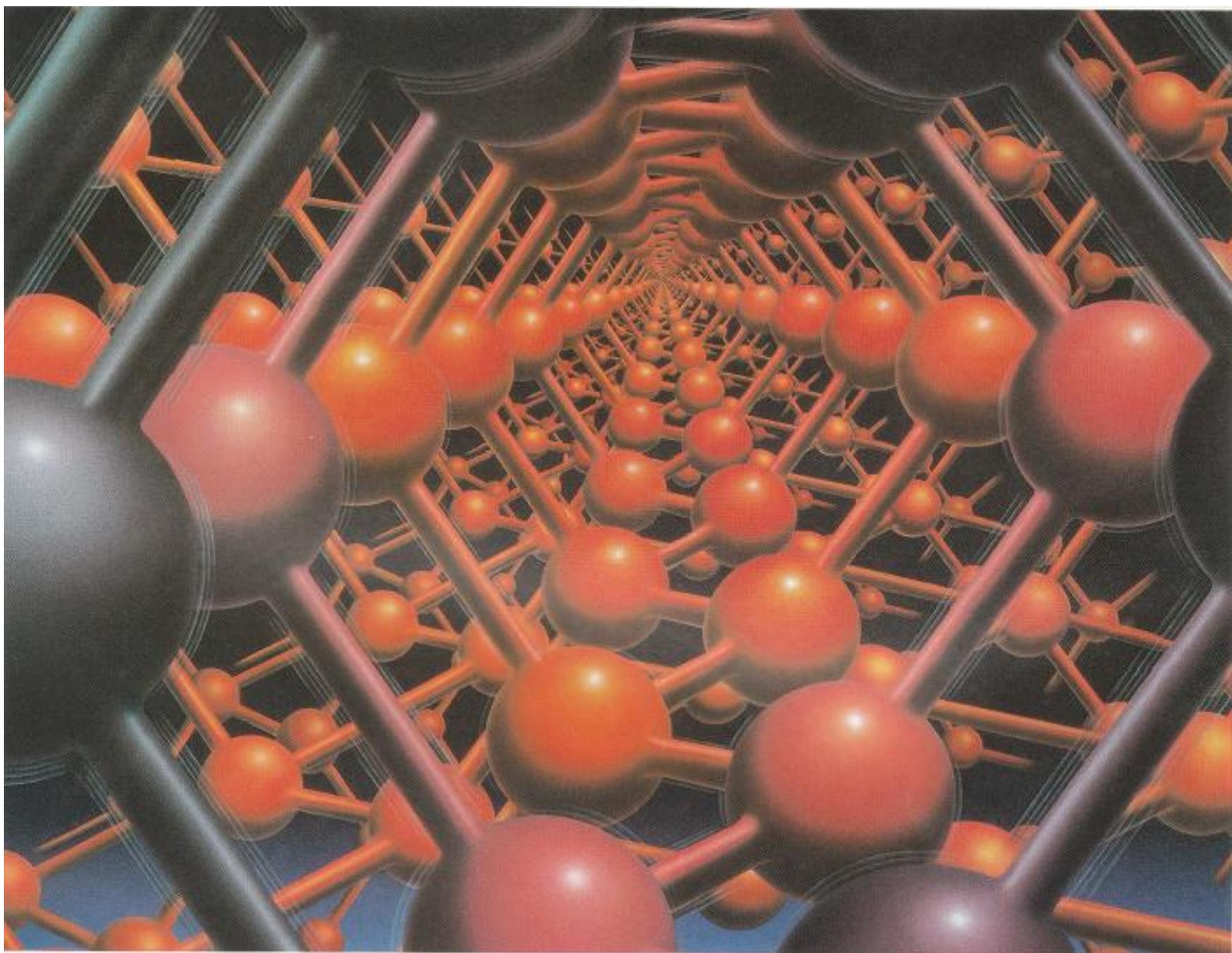
## --- Science of Diamond ---

**73期生 木島 弼倫 (Kijima Kazunori)**

京都工芸繊維大学 名誉教授

Fellow of The American Ceramic Society

Member of The World Academy of ceramcs



Credit: ニュートン

# ホープダイヤモンドの都市伝説



スミソニアン博物館に寄贈50周年記念

ホープダイヤモンド(現在スミソニアン博物館所蔵)世界1の大きさ:45.50 カラット  
(9.1 g)、ブルー、19世紀初頭にインド南部で発見。幾度もの転売を経て米国のダイ  
ヤモンド商「ハリー・ウィンストン」がスミソニアン博物館に寄贈。

興味: 科学、歴史学、美術工芸学、文学

# 本日の話題

- 宝石としてのダイヤモンド

科学的な解説(厳密さよりも解り易さに重き)

ダイヤモンドの性質・その根拠・宝石

- ダイヤモンドの用途

- 天然ダイヤモンドの産地

- 人工ダイヤモンド、偽ダイヤモンド

- 地球の自然から人工ダイヤモンドを作る

- 宇宙の自然から人工ダイヤモンドを作る

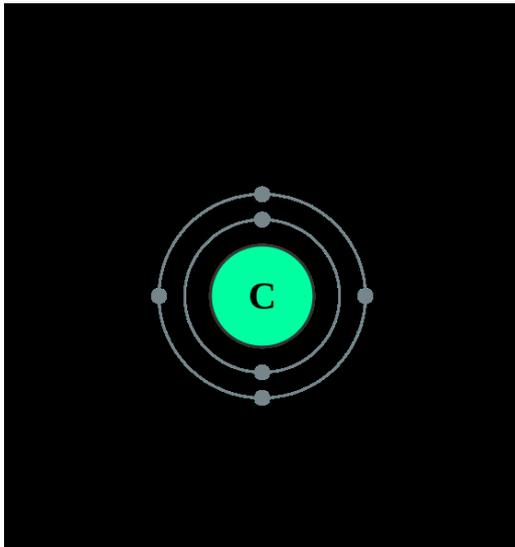
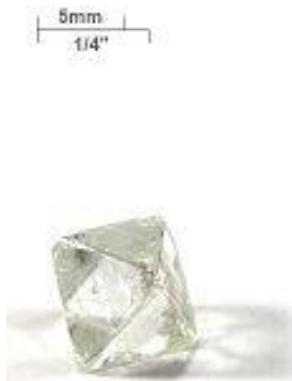
# 有名なダイヤモンドの例



鉱物名	炭素	和名	金緑石
化学組成	C	<a href="#">誕生石</a>	4月
結晶系	等軸晶系(立方晶系)	<a href="#">硬度</a>	10
<a href="#">比重</a>	3.52	宝石言葉	永遠の絆、不屈
<a href="#">屈折率</a>	2.417	語源	ギリシャ語の「アマダス」(侵されざる物)から
一般処理	-	色	無色から黄色味色(ダイヤモンドとしてはすべての色)

ホープダイヤモンド(現在スミソニアン博物館所蔵)

世界1の大きさ: 45.50 [カラット](#) (9.1 g)、200億円?、ブルー、



## 外見

透明(ダイヤモンド)、黒色(グラファイト)

## 一般特性

<u>名称, 記号, 番号</u>	炭素, C, 6
<u>分類</u>	<u>非金属元素</u>
<u>族, 周期, ブロック</u>	<u>14, 2, p</u>
<u>原子量</u>	<u>12.0107</u> g·mol <sup>-1</sup>
<u>電子配置</u>	[He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup> <sup>[1]</sup>
<u>電子殻</u>	2, 4( <u>画像</u> )

電子、原子核 = 中性子 + 陽電子

# 周期律表

## The periodic table of the elements

1	2	3a	4a	5a	6a	7a	1a	2a	3	4	5	6	7																											
$R_2ORH$	$RORH_2$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$R_2O$	$RO$	$RO_2$	$RO_2/RH_4$	$RO_2/RH_3$	$RO_3/RH_2$	$R_2O_7/RH$																											
1 1,008 <b>H</b> hydrogen														2 4,003 <b>He</b> helium																										
3 6,939 <b>Li</b> lithium	4 9,012 <b>Be</b> beryllium	<table border="1"> <tr> <th>Atomic Number</th><th>Atomic Weight</th></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Symbol element</b></td> </tr> <tr> <td>RO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>RO<sub>3</sub></td><td>RO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. No. RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub>O</td><td>X</td><td>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>R<sub>2</sub>O<sub>5</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>LO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>LO<sub>3</sub></td><td>LO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr LO<sub>2</sub></td></tr> </table>					Atomic Number	Atomic Weight	<b>Symbol element</b>		RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>	LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>	5 10,811 <b>B</b> boron	6 12,011 <b>C</b> carbon	7 14,007 <b>N</b> nitrogen	8 15,999 <b>O</b> oxygen	9 18,998 <b>F</b> fluorine	10 20,183 <b>Ne</b> neon									
Atomic Number	Atomic Weight																																							
<b>Symbol element</b>																																								
RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>																																				
R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>																																				
LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>																																				
11 22,990 <b>Na</b> sodium	12 24,312 <b>Mg</b> magnesium	13 26,982 <b>Al</b> aluminum	14 28,086 <b>Si</b> silicon	15 30,974 <b>P</b> phosphorus	16 32,064 <b>S</b> sulfur	17 35,453 <b>Cl</b> chlorine	18 39,948 <b>Ar</b> argon																																	
19 39,102 <b>K</b> potassium	20 40,08 <b>Ca</b> calcium	21 44,956 <b>Sc</b> scandium	22 47,90 <b>Ti</b> titanium	23 50,942 <b>V</b> vanadium	24 51,996 <b>Cr</b> chromium	25 54,938 <b>Mn</b> manganese	26 55,847 <b>Fe</b> iron	27 58,933 <b>Co</b> cobalt	28 58,71 <b>Ni</b> nickel	29 63,546 <b>Cu</b> copper	30 65,37 <b>Zn</b> zinc	31 69,72 <b>Ga</b> gallium	32 72,59 <b>Ge</b> germanium	33 74,922 <b>As</b> arsenic	34 78,96 <b>Se</b> selenium	35 79,904 <b>Br</b> bromine	36 83,80 <b>Kr</b> krypton																							
37 85,47 <b>Rb</b> rubidium	38 87,62 <b>Sr</b> strontium	39 88,905 <b>Y</b> yttrium	40 91,22 <b>Zr</b> zirconium	41 92,906 <b>Nb</b> niobium	42 95,94 <b>Mo</b> molybdenum	43 98 <b>Tc</b> technetium	44 101,07 <b>Ru</b> ruthenium	45 102,905 <b>Rh</b> rhodium	46 106,4 <b>Pd</b> palladium	47 107,868 <b>Ag</b> silver	48 112,40 <b>Cd</b> cadmium	49 114,82 <b>In</b> indium	50 118,69 <b>Sn</b> tin	51 121,75 <b>Sb</b> antimony	52 127,60 <b>Te</b> tellurium	53 166,904 <b>I</b> iodine	54 131,30 <b>Xe</b> xenon																							
55 132,905 <b>Cs</b> caesium	56 137,34 <b>Ba</b> barium	<table border="1"> <tr> <th>Atomic Number</th><th>Atomic Weight</th></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Symbol element</b></td> </tr> <tr> <td>RO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>RO<sub>3</sub></td><td>RO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. No. RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub>O</td><td>X</td><td>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>R<sub>2</sub>O<sub>5</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>LO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>LO<sub>3</sub></td><td>LO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr LO<sub>2</sub></td></tr> </table>					Atomic Number	Atomic Weight	<b>Symbol element</b>		RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>	LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>	72 178,49 <b>Hf</b> hafnium	73 180,948 <b>Ta</b> tantalum	74 183,85 <b>W</b> tungsten	75 186,2 <b>Re</b> rhenium	76 190,2 <b>Os</b> osmium	77 192,22 <b>Ir</b> iridium	78 195,09 <b>Pt</b> platinum	79 196,967 <b>Au</b> gold	80 200,59 <b>Hg</b> mercury	81 204,37 <b>Tl</b> thallium	82 207,19 <b>Pb</b> lead	83 208,980 <b>Bi</b> bismuth	84 209 <b>Po</b> polonium	85 209 <b>At</b> astatine	86 222 <b>Rn</b> radon
Atomic Number	Atomic Weight																																							
<b>Symbol element</b>																																								
RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>																																				
R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>																																				
LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>																																				
87 223 <b>Fr</b> francium	88 226 <b>Ra</b> radium	<table border="1"> <tr> <th>Atomic Number</th><th>Atomic Weight</th></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Symbol element</b></td> </tr> <tr> <td>RO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>RO<sub>3</sub></td><td>RO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. No. RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub>O</td><td>X</td><td>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td><td>R<sub>2</sub>O<sub>5</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr RO<sub>2</sub></td></tr> <tr> <td>LO<sub>2</sub></td><td>X</td><td>LO<sub>3</sub></td><td>LO<sub>4</sub></td><td>Mass Abs. Coef. Cr LO<sub>2</sub></td></tr> </table>					Atomic Number	Atomic Weight	<b>Symbol element</b>		RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>	LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>	89 227 <b>Ac</b> actinium	90 232,038 <b>Th</b> thorium	91 231 <b>Pa</b> protactinium	92 238,028 <b>U</b> uranium	93 237 <b>Np</b> neptunium	94 244 <b>Pu</b> plutonium	95 243 <b>Am</b> americium	96 247 <b>Cm</b> curium	97 247 <b>Bk</b> berkelium	98 251 <b>Cf</b> californium	99 254 <b>Es</b> einsteinium	100 257 <b>Fm</b> fermium	101 256 <b>Md</b> mendelevium	102 254 <b>No</b> nobelium	103 257 <b>Lr</b> lawrencium
Atomic Number	Atomic Weight																																							
<b>Symbol element</b>																																								
RO <sub>2</sub>	X	RO <sub>3</sub>	RO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. No. RO <sub>2</sub>																																				
R <sub>2</sub> O	X	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mass Abs. Coef. Cr RO <sub>2</sub>																																				
LO <sub>2</sub>	X	LO <sub>3</sub>	LO <sub>4</sub>	Mass Abs. Coef. Cr LO <sub>2</sub>																																				

- Metallic
- Amphoteric
- Non-metallic
- Inert gas

57 138,91 <b>La</b> lanthanum	58 140,12 <b>Ce</b> cerium	59 140,907 <b>Pr</b> praseodymium	60 144,24 <b>Nd</b> neodymium	61 145 <b>Pm</b> promethium	62 150,35 <b>Sm</b> samarium	63 151,96 <b>Eu</b> europium	64 157,25 <b>Gd</b> gadolinium	65 158,924 <b>Tb</b> terbium	66 162,50 <b>Dy</b> dysprosium	67 164,930 <b>Ho</b> holmium	68 167,26 <b>Er</b> erbium	69 168,934 <b>Tm</b> thulium	70 173,04 <b>Yb</b> ytterbium	71 174,97 <b>Lu</b> lutetium
89 227 <b>Ac</b> actinium	90 232,038 <b>Th</b> thorium	91 231 <b>Pa</b> protactinium	92 238,028 <b>U</b> uranium	93 237 <b>Np</b> neptunium	94 244 <b>Pu</b> plutonium	95 243 <b>Am</b> americium	96 247 <b>Cm</b> curium	97 247 <b>Bk</b> berkelium	98 251 <b>Cf</b> californium	99 254 <b>Es</b> einsteinium	100 257 <b>Fm</b> fermium	101 256 <b>Md</b> mendelevium	102 254 <b>No</b> nobelium	103 257 <b>Lr</b> lawrencium



日本フィリップス株式会社 産業機器事業部 ■本社 ■X線分析所TEL03(448)5577-5578(直) ■EDAX課TEL03(448)5635-5578(直) ■大阪支店TEL06(231)7871(代) ■ショールームTEL03(448)5579



# 宝石としてのダイヤモンド

# 宝石：装飾品＋財産的な価値

- (1)「煌いて・美しい」こと・・・4C
- (2)「耐久性を持つ」こと・・・硬い
- (3)「希少価値がある」・・・産出、流通
- の三条件が揃っていないならなりません。
- デビアス社を中心にしたダイヤモンドのシンジケート：ダイヤモンドへのあこがれが維持
- どれか一つが欠けても宝石としては価値が低くなり値段も安くなります。

# ダイヤモンドの価値：4Cとは

(GIA: Gemological Institute of America)

1. Carat(カラット、質量)：1カラットは0.2グラムです。  
caratはct.と表示、大きな石が採れないのは？

2. Color(カラー、色)：無色(透明)～黄色

DからFをColorless(無色)、GからJをNear Colorless(ほぼ無色)、K,L,MをFaint Yellow(かすかな黄色み)と呼びます。  
NからRまでをUnder N (Very Light Yellow)、SからZまでをUnder S (Light Yellow)と表示します。

3. Clarity(クラリティ、明澄度)：光が乱反射

4. Cut(カット)：硬いので、切れない・磨けない

• 輝き、煌めき：上記4Cの大切さ

- 優れたカットのダイヤモンドは、ブリリアンシー、ファイア、シンチレーションのバランスが整っています。
- ブリリアンシーとは、ダイヤモンドの内部と外部表面から反射される白い光のことです。
- ファイアとは、ダイヤモンドが発する虹色の煌きを指しています。
- シンチレーションは、ダイヤモンドが動くたびに目に映る閃光や輝きを指します。

# 1 カラット(大きさ)

何故大きなダイヤモンドは採れないの？

それには天然ダイヤモンドの生成を考える。

# ダイヤモンドの原岩



キンバーライトとは、カンラン石と雲母を主要構成鉱物とする超塩基性の火成岩。雲母橄欖岩とも呼ばれる。一部からダイヤモンド原石が産出されることで知られる。名の由来は南アフリカ共和国、北ケープ州の州都キンバリーから。

紀元前七、八世紀頃にインド川床の砂礫の中で発見

1870年に南アフリカの Yellow ground の中キンバレー岩 Kimberlite(その下の硬い青黒い岩石 Blue ground:ダイヤモンドの原岩)

キンバレー岩はアフリカ、シベリア、南北アメリカ、オーストラリアなどの大陸の上に”開いたパイプの形”をして産します。

キンバレー岩の大部分は 7000 万年から 1 億 2000 万年前の白亜紀に生まれています。

その中に含まれているダイヤモンドは 45 億年も前に結晶した岩石(捕獲岩片)、主にかんらん岩 Peridotite やエクロジャイト Eclogite にもダイヤモンドが含まれていたと考えられます。

# ダイヤモンドの成長

高温・高圧下で生成(地球内部)

空気の無い所で成長

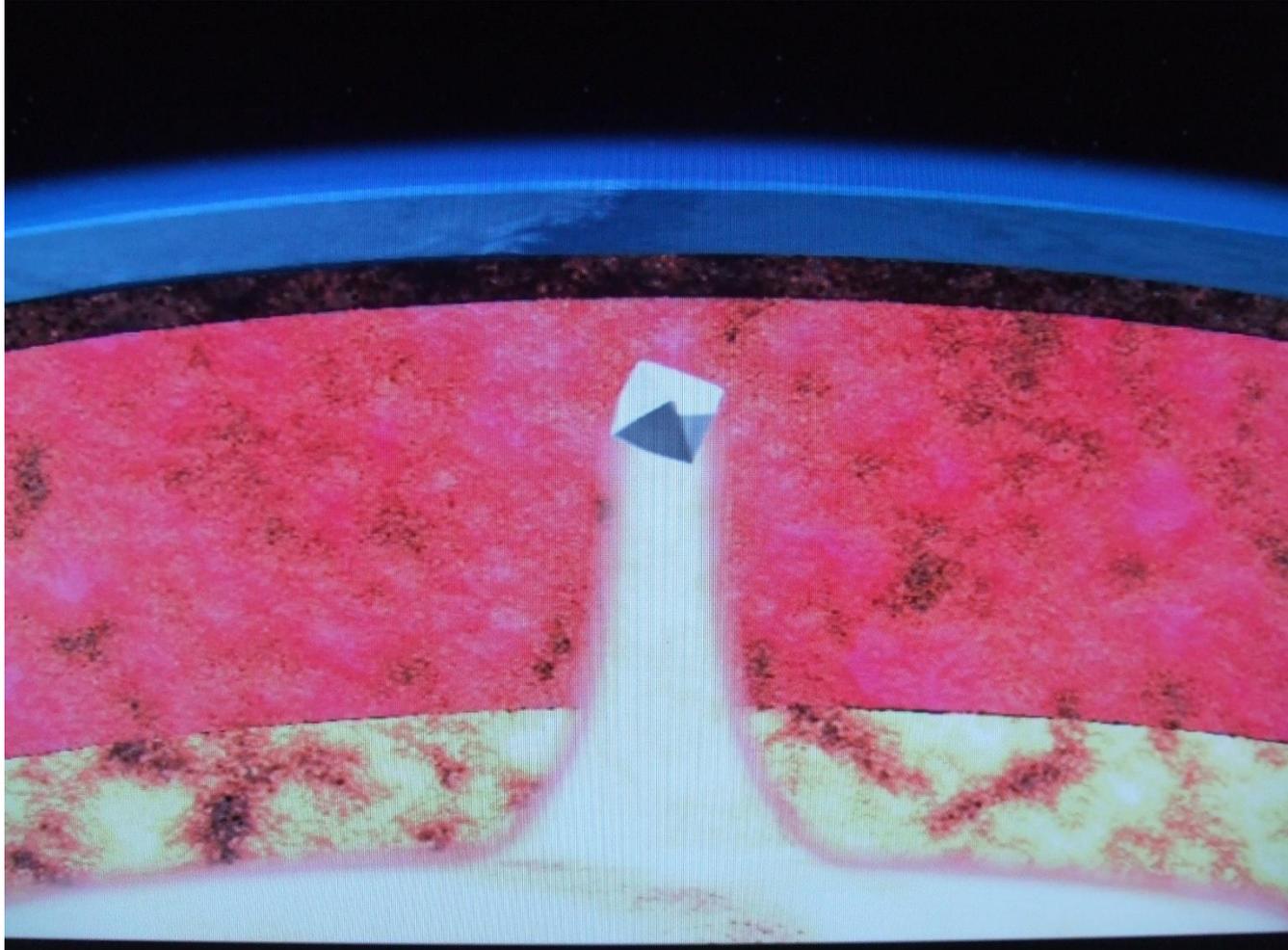
地球上には空気(窒素+酸素が主成分)

空気はCOガスに、窒素は着色

成長速度が遅い(長年かけて成長)

地球表面に出る速度が速い事

# 天然ダイヤモンドの産出

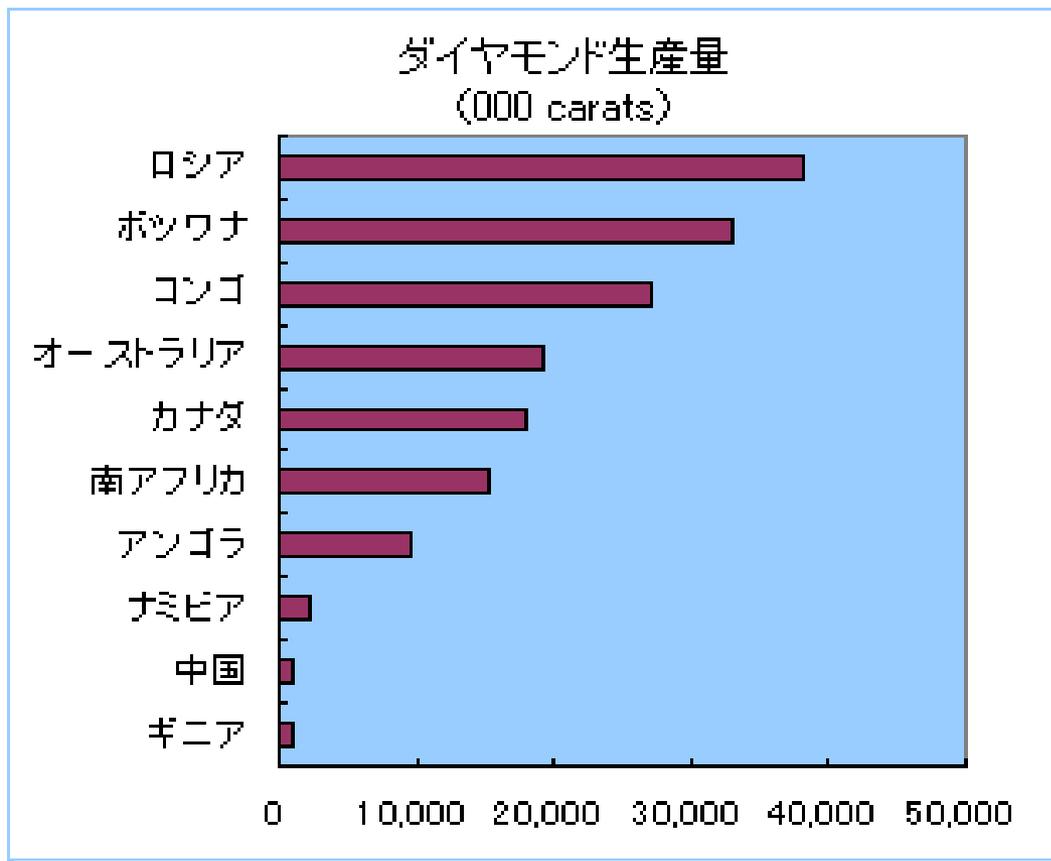


# キンバーライト鉱山

ロシア連邦サハ共和国ウダチナヤ鉱山



ダイヤモンドはマントル起源の火成岩であるキンバーライトに含まれる。  
キンバーライトの貫入とともにマントルにおける高温・高圧状態の炭素(ダイヤモンド)が地表近くまで一気に移動することでグラファイトへの相転移や酸化反応を起こさなかったと考えらる。  
このため、ダイヤモンドの産出地はキンバーライトの認められる地域、すなわち安定陸塊に偏っているキンバレーのダイヤモンドとトランスバール。



USGS (2007年) 世界全体の年間ダイヤモンド生産量は約1億6900万カラット。

※USGS

# ダイヤモンドの原石例



キンバライト

## 2 カラー(ダイヤモンド)

- 透明なダイヤモンド:

気泡・不純物・素地ムラ、表面

今のガラスは綺麗:フロート方式

気泡・不純物無く、表面もスムーズ

- 着色ダイヤモンド:エネルギー順位

不透明なダイヤモンドは着色しない。(播りガラス)

色が付くのは(着色)何故?

吸光と発光:電子構造

# カラーダイヤモンド



# 純粋なダイヤモンドは無色透明

透明性低下:キズ、泡、表面の荒れ

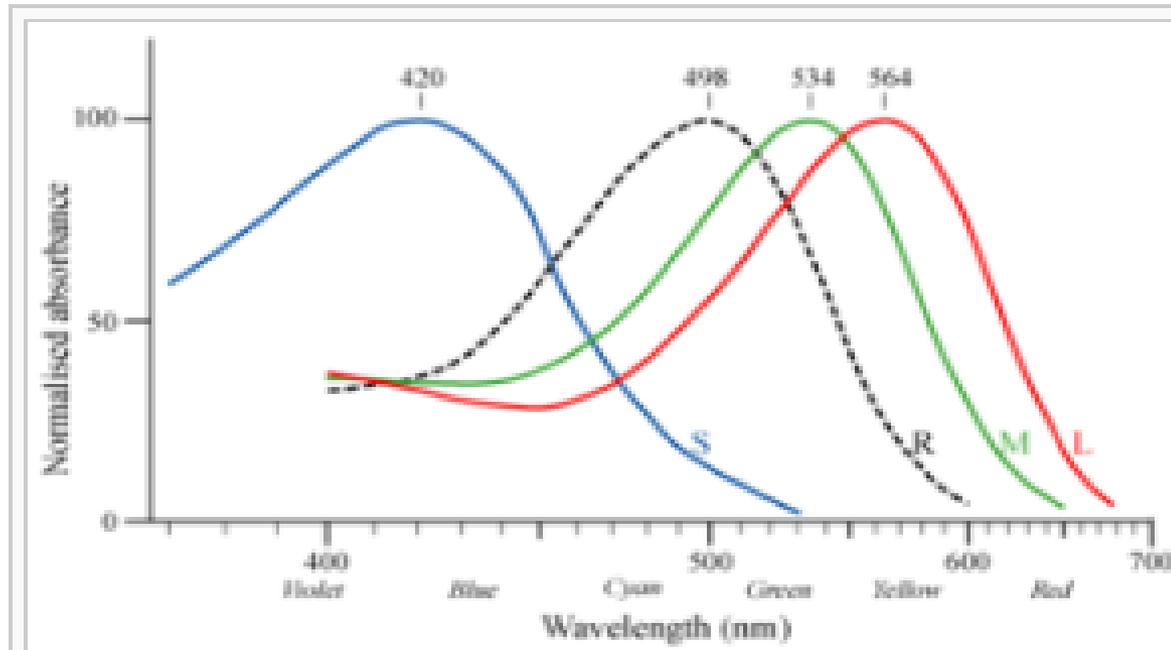
着色:不純物

色が見える:電磁波(光)が目が届く  
⇒可視光領域(0.7 $\mu\text{m}$ から0.3 $\mu\text{m}$   
程度)⇒錐体細胞⇒色が見える

# カラーの判定

- カラーの判定には光源が重要です。標準光源は国際照明基準委員会が制定したB光源(4870° ケルビン)を使用します。そして判定するダイヤモンドと対比するのにマスターストーン(つけ石)を使用します。
- マスターストーンを使って判定した鑑定書には「JJA/AGL認定マスターストーンセット〇〇〇」と表記されています。

# 視物質の吸収スペクトル



人間の錐体細胞 (S, M, L) と桿体細胞 (R) が含む視物質の吸収スペクトル

人間の錐体細胞 (S, M, L) と桿体細胞 (R) が含む視物質の吸収スペクトル

# 各種半導体の禁制帯幅,

## 遷移型および性能指数

	$E_g$ (eV)	遷移型	JFM	KFM	$1/R_{on}$	$f_{max}$
Si	1.11	間接	1	1	1	1
GaAs	1.42	直接	4.7	0.41	11	6.9
GaP	2.26	間接	14	0.49	0.64	0.20
BP	2.0	間接	—	—	0.05	—
3C-SiC	2.2	間接	410	5.7	5.7	7.6
6H-SiC	2.86	間接	470	5.1	5.2	5.6
GaN	3.40	直接	—	—	9.5	—
Diamond	5.5	間接	2600	32	225	53

JFM (Johnsonの性能指数)  $\sim (E_B V_s)^2$

KFM (Keyesの性能指数)  $\sim k (V_{sl} \epsilon)^{1/2}$

$1/R_{on}$  (オン抵抗の逆数)  $\sim \epsilon \mu E_g^3$

$f_{max}$  (最大動作周波数)  $\sim \mu E_B E_g^{1/2}$

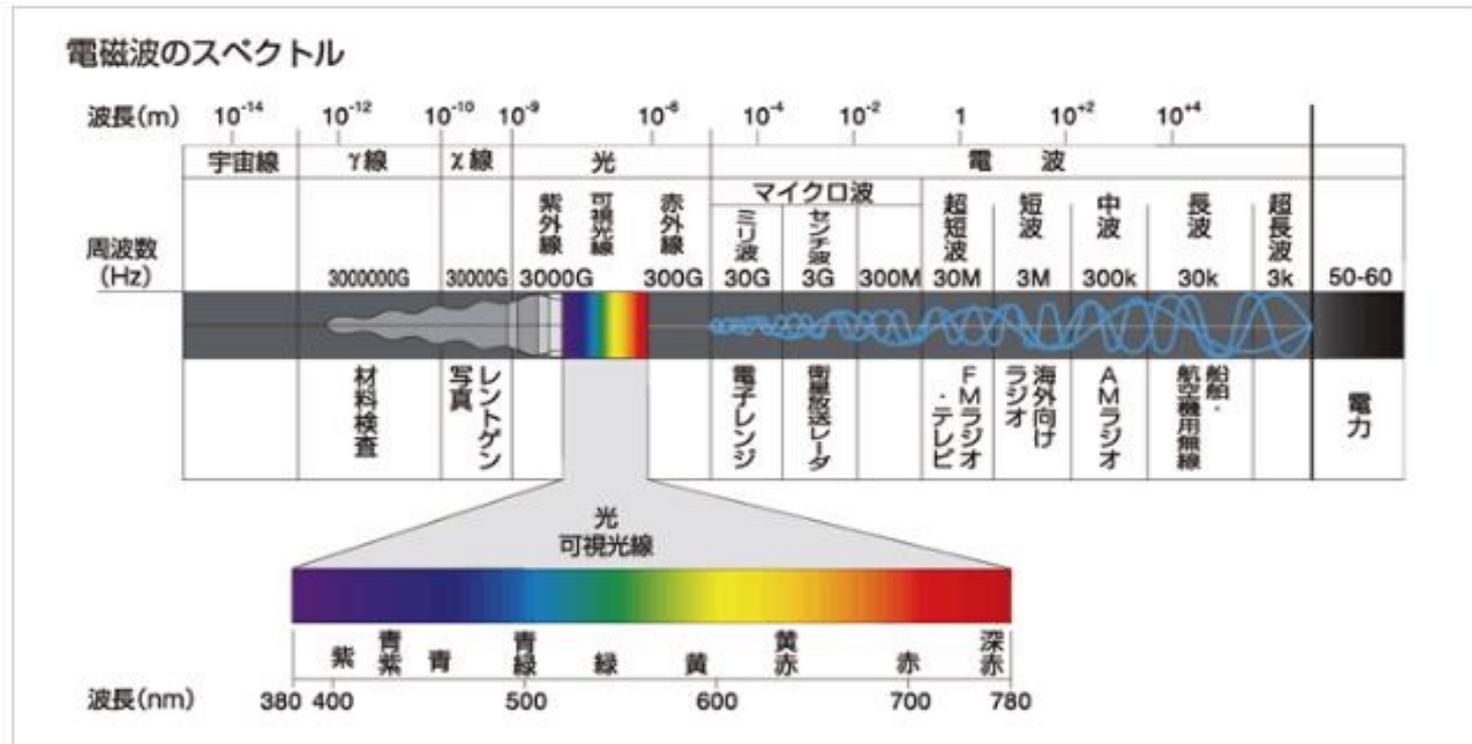
$E_B$ : 絶縁破壊電界

$E_g$ : バンドギャップ

$V_s$ : 飽和電子ドリフト速度

$\epsilon$ : 誘電率,  $\mu$ : 移動度

# 電磁波の種類と可視光線



- 電磁波は、周波数によって上図のように分かれています。
- 光(可視光線)はこの電磁波の一部で、波長は380nm(ナノメートル)～780nmにあたります。その他の波長は目で見ることはできません。
- 太陽など身の周りの光は無色に感じますが、プリズムに光を通し波長ごとに分けると、いろいろな光が重なり合っていることが分かります。
- 光の波長によって、色だけでなく明るさの感じ方も違います。同じエネルギーの光でも、黄色や緑の光に比べ赤や靑は暗く感じます。最も明るく感じるのは、波長が555nmの黄緑色の光とされています。

# 可視光領域の色・波長・エネルギー

<u>色</u>	<u>波長</u>	<u>エネルギー</u>
紫	380-450 nm	2.755-3.26 eV
青	450-495 nm	2.50-2.755 eV
緑	495-570 nm	2.175-2.50 eV
黄色	570-590 nm	2.10-2.175 eV
橙色	590-620 nm	1.99-2.10 eV
赤	620-750 nm	1.65-1.99 eV

# 周期律表

## The periodic table of the elements

1	2	3a	4a	5a	6a	7a	1a	2a	3	4	5	6	7								
$R_2ORH$	$RORH_2$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$R_2O$	$RO$	$RO_2$	$RO_2/RH_4$	$RO_2/RH_3$	$RO_3/RH_2$	$R_2O_7/RH$								
1 1,008 <b>H</b> hydrogen														2 4,003 <b>He</b> helium							
3 6,939 <b>Li</b> lithium	4 9,012 <b>Be</b> beryllium	<b>Symbol element</b> Atomic Number    Atomic Weight PHILIPS X-RAY ANALYTICAL EQUIPMENT (LOC) (X) (LOC) (H)    (Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$ ) (H $\beta$ ) (X) (H $\gamma$ ) (H $\delta$ )    (Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$ ) (LOC) (X) (LOC) (H)    (Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$ )					5 10,811 <b>B</b> boron	6 12,011 <b>C</b> carbon	7 14,007 <b>N</b> nitrogen	8 15,999 <b>O</b> oxygen	9 18,998 <b>F</b> fluorine	10 20,183 <b>Ne</b> neon									
11 22,990 <b>Na</b> sodium	12 24,312 <b>Mg</b> magnesium						13 26,982 <b>Al</b> aluminum	14 28,086 <b>Si</b> silicon	15 30,974 <b>P</b> phosphorus	16 32,064 <b>S</b> sulfur	17 35,453 <b>Cl</b> chlorine	18 39,948 <b>Ar</b> argon									
19 39,102 <b>K</b> potassium	20 40,08 <b>Ca</b> calcium	21 44,956 <b>Sc</b> scandium	22 47,90 <b>Ti</b> titanium	23 50,942 <b>V</b> vanadium	24 51,996 <b>Cr</b> chromium	25 54,938 <b>Mn</b> manganese	26 55,847 <b>Fe</b> iron	27 58,933 <b>Co</b> cobalt	28 58,71 <b>Ni</b> nickel	29 63,546 <b>Cu</b> copper	30 65,37 <b>Zn</b> zinc	31 69,72 <b>Ga</b> gallium	32 72,59 <b>Ge</b> germanium	33 74,922 <b>As</b> arsenic	34 78,96 <b>Se</b> selenium	35 79,904 <b>Br</b> bromine	36 83,80 <b>Kr</b> krypton				
37 85,47 <b>Rb</b> rubidium	38 87,62 <b>Sr</b> strontium	39 88,905 <b>Y</b> yttrium	40 91,22 <b>Zr</b> zirconium	41 92,906 <b>Nb</b> niobium	42 95,94 <b>Mo</b> molybdenum	43 98 <b>Tc</b> technetium	44 101,07 <b>Ru</b> ruthenium	45 102,905 <b>Rh</b> rhodium	46 106,4 <b>Pd</b> palladium	47 107,868 <b>Ag</b> silver	48 112,40 <b>Cd</b> cadmium	49 114,82 <b>In</b> indium	50 118,69 <b>Sn</b> tin	51 121,75 <b>Sb</b> antimony	52 127,60 <b>Te</b> tellurium	53 126,905 <b>I</b> iodine	54 131,30 <b>Xe</b> xenon				
55 132,905 <b>Cs</b> caesium	56 137,34 <b>Ba</b> barium	<b>L</b> Lanthanide and Actinide series					72 178,49 <b>Hf</b> hafnium	73 180,948 <b>Ta</b> tantalum	74 183,85 <b>W</b> tungsten	75 186,2 <b>Re</b> rhenium	76 190,2 <b>Os</b> osmium	77 192,22 <b>Ir</b> iridium	78 195,09 <b>Pt</b> platinum	79 196,967 <b>Au</b> gold	80 200,59 <b>Hg</b> mercury	81 204,37 <b>Tl</b> thallium	82 207,19 <b>Pb</b> lead	83 208,980 <b>Bi</b> bismuth	84 209 <b>Po</b> polonium	85 210 <b>At</b> astatine	86 222 <b>Rn</b> radon
87 223 <b>Fr</b> francium	88 226 <b>Ra</b> radium						89 227 <b>Ac</b> actinium	90 232,036 <b>Th</b> thorium	91 231 <b>Pa</b> protactinium	92 238,029 <b>U</b> uranium	93 237 <b>Np</b> neptunium	94 244 <b>Pu</b> plutonium	95 243 <b>Am</b> americium	96 243 <b>Cm</b> curium	97 247 <b>Bk</b> berkelium	98 251 <b>Cf</b> californium	99 254 <b>Es</b> einsteinium	100 257 <b>Fm</b> fermium	101 256 <b>Md</b> mendelevium	102 254 <b>No</b> nobelium	103 257 <b>Lr</b> lawrencium

- Metallic
- Amphoteric
- Non-metallic
- Inert gas

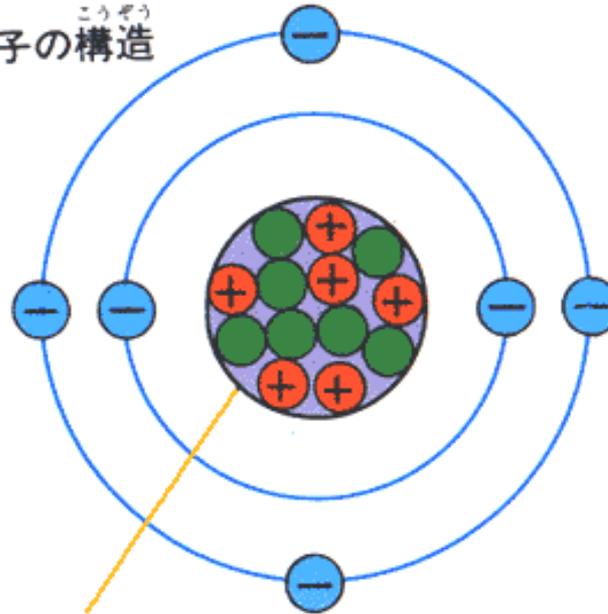


日本フィリップス株式会社 産業機器事業部 ■本社 ■X線分析課TEL03(448)5577-5578(直) ■EDAX課TEL03(448)5635-5578(直) ■大阪支店TEL06(231)7871(代) ■ショールームTEL03(448)5579



# 炭素原子 ( ${}_6\text{C}$ ) の構造

原子の構造



原子核 { 陽子  
中性子

⊕ 陽子;  $m$ 個  
● 中性子;  $n$ 個

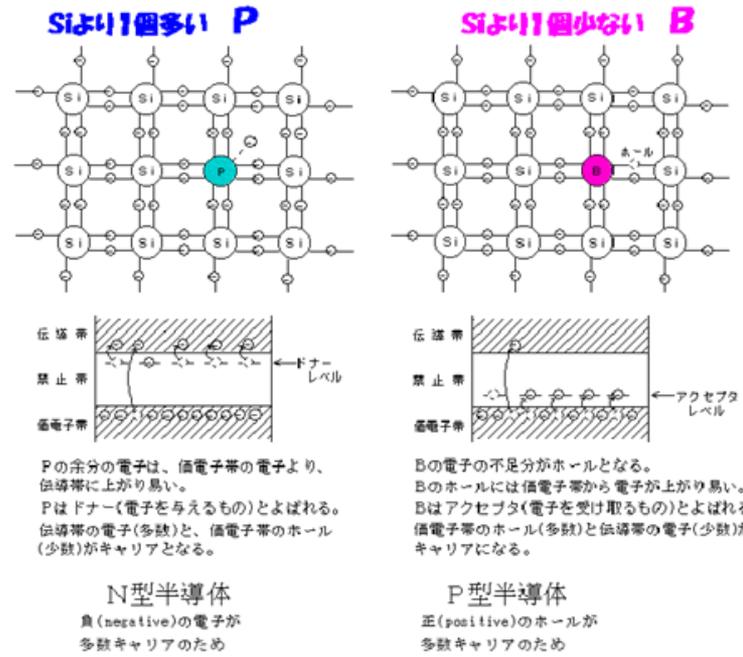
⊖ 電子;  $m$ 個  
原子番号;  $m$   
質量数;  $m+n$

# 不純物と着色

Nは黄色 Bは青色 Oは？

C :: :: N

C :: :: B



# 蛍光と燐光(2)

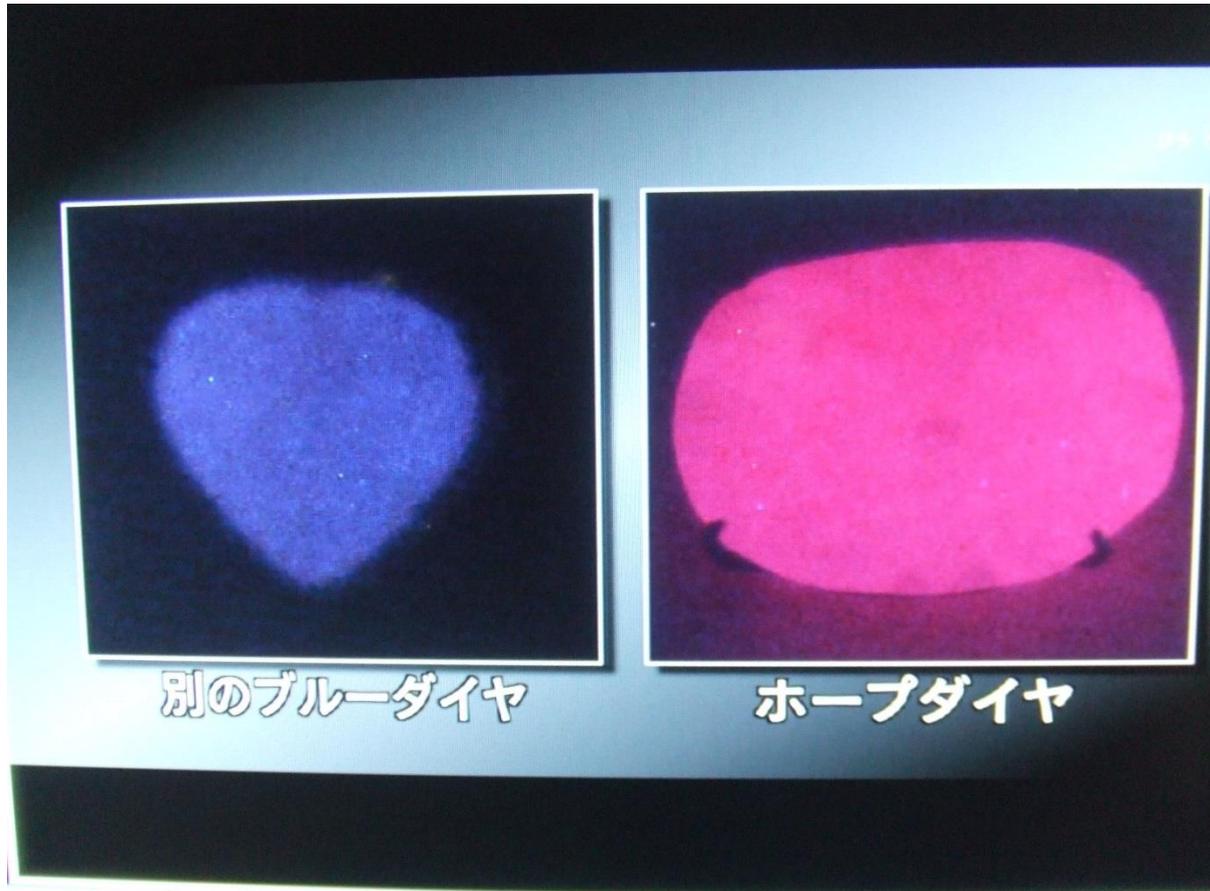
★**蛍光**:強い光がすぐに発生し、すぐに消えます。

電子は紫外線など外部からのエネルギーを受けると、一重項励起子の最もエネルギーレベルの高いところへ移る。一気に基底状態まで戻る。このときに人に見える可視光を出すのです。

★**燐光**:弱い光がゆっくりと持続的発生します。

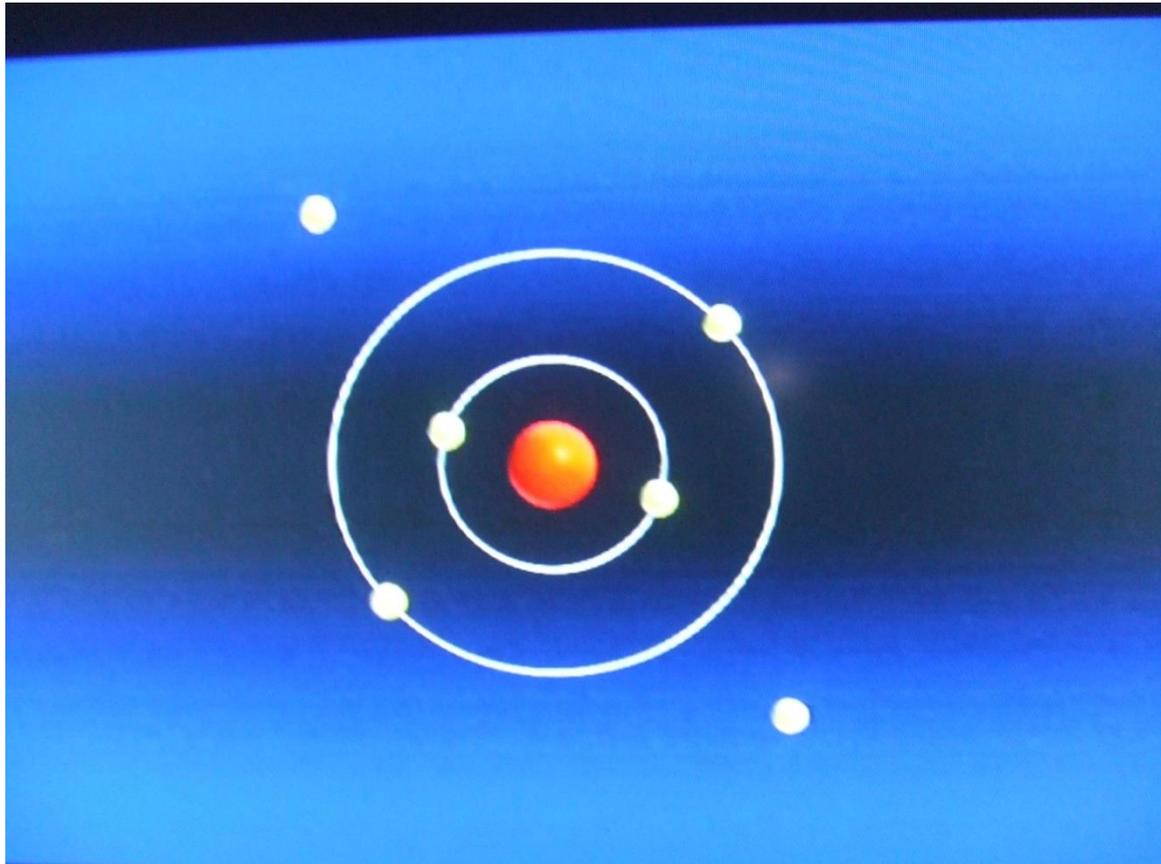
一重項励起子から直接基底状態に戻るのではなく、燐光は項間交差を行う過程があるため光を吸収して励起状態になってから光を発するまで、二度手間になっているのです。だんだんと三重項励起状態が形成されて光ることによる長い寿命があります。さらに項間交差のために余分なエネルギーを使うため、光が弱くなります。(一重項励起状態から三重項励起状態への遷移を項間交差という。)

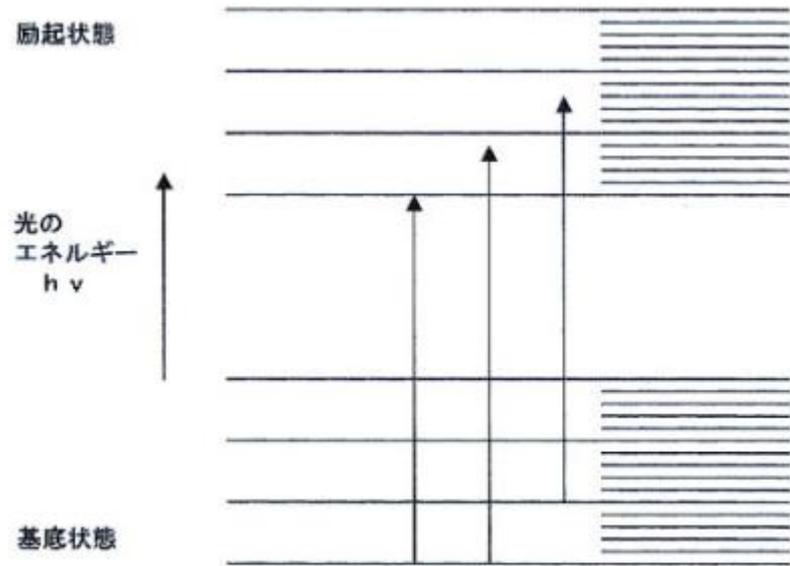
# 蛍光と燐光(1)



ホープダイヤモンドの青い色の原因は、不純物として含まれるホウ素が原因  
ホープダイヤモンドに紫外線を当てると、1分以上に渡って赤い燐光を発する。

# 励起された電子





吸収される光のエネルギーは、電子の遷移エネルギーになる。  
物質に固有の吸収されやすい光の振動数がある。

# ダイヤモンドの利用

# ダイヤモンド原石のタイプ(Ⅰ型とⅡ型)

窒素の含有量によってⅠ型とⅡ型に大別され、さらにa型とb型に分けられます。

- Ⅰ型のダイヤモンドは窒素を0.1%程度含む。

- Ⅰa型は冷却中に窒素の薄い小さな層が析出して、立方格子の立方体の面に平行に含まれています。色の吸収を生ぜず、基本的には無色透明です。通常のダイヤモンドがこれにあたります。

- Ⅰb型は窒素が結晶の中に均一に溶け込んで、置換えています。

- 窒素は、炭素よりも電子を一つ多く持っています。余分の電子が黄色の着色の原因。窒素の量が増えると緑色みを帯び、さらに増えると殆ど黒色を呈する。

- 常温では電導性を示しません。合成石の殆どはこの型に属します。

- Ⅱ型のダイヤモンドは窒素を殆ど含まない。熱伝導性が特によい性質を持っています。産出は、おおよそ全体の1/1000程度で希です。

- Ⅱa型は電気絶縁体のものです。集積回路の放熱板として使われます。

- Ⅱb型は半導体の性質を示すものです。

- ホウ素またはアルミニウムで置換。炭素よりも電子が一つ少なくなっています。

- 正電荷をもった正孔がダイヤモンドを僅かに青く着色させたり、半導体に使われる原因になっています。産出は極極希です。(Ⅱ型の1/1000程度)

# Clarity (明澄度、透明性)

- 内部欠陥 (Inclusion、内包物) や外部欠陥 (Blemish) は、輝きに影響を与えます。光が吸収・反射されない。クラリティは熟練したグレーダーが10倍の顕微鏡またはルーペで見て判定します。

グレード	サブグレード	内容
FL (Flawless)	なし	内部外部とも欠陥なし
IF (Internally Flawless)	なし	内部に欠陥なし
VVS (Very Very Slightly Included)	1	熟練したグレーダーが見て発見が
	2	困難な内部欠陥がある
VS (Very Slightly Included)	1	非常に小さな内包物がある
	2	
SI (Slightly Included)	1	10倍で見れば発見が容易であるが
	2	肉眼では見えない。
I (Included)	1	肉眼で見え、光りの透過や輝きに影響を与える大きさの内包物がある。
	2	
	3	

# 各種半導体の禁制帯幅,

## 遷移型および性能指数

	$E_g$ (eV)	遷移型	JFM	KFM	$1/R_{on}$	$f_{max}$
Si	1.11	間接	1	1	1	1
GaAs	1.42	直接	4.7	0.41	11	6.9
GaP	2.26	間接	14	0.49	0.64	0.20
BP	2.0	間接	—	—	0.05	—
3C-SiC	2.2	間接	410	5.7	5.7	7.6
6H-SiC	2.86	間接	470	5.1	5.2	5.6
GaN	3.40	直接	—	—	9.5	—
Diamond	5.5	間接	2600	32	225	53

JFM (Johnsonの性能指数)  $\sim (E_s V_s)^2$

KFM (Keyesの性能指数)  $\sim k (V_s / \epsilon)^{1/2}$

$1/R_{on}$  (オン抵抗の逆数)  $\sim \epsilon \mu E_s^3$

$f_{max}$  (最大動作周波数)  $\sim \mu E_s E_c^{1/2}$

$E_s$ : 絶縁破壊電界

$E_g$ : バンドギャップ

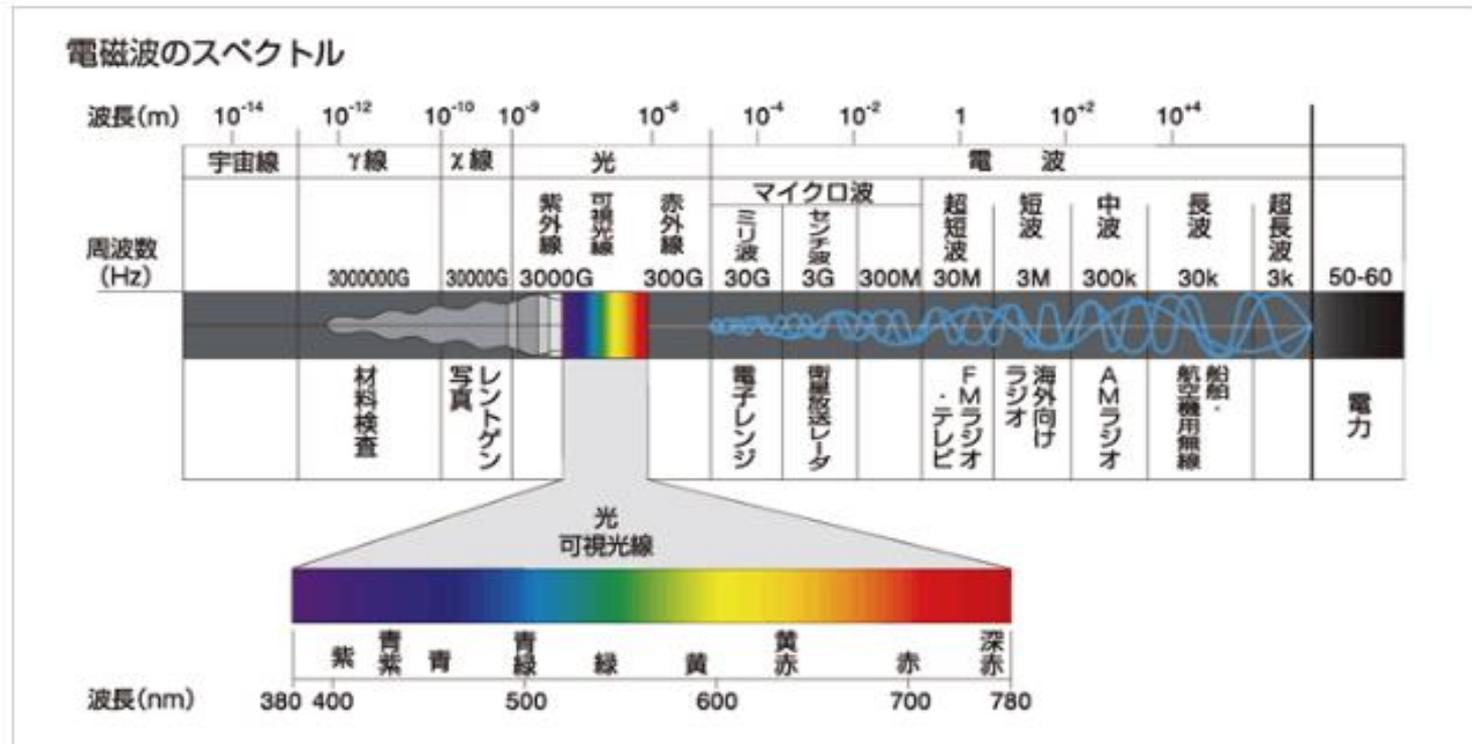
$V_s$ : 飽和電子ドリフト速度

$\epsilon$ : 誘電率,  $\mu$ : 移動度

# 可視光領域の色・波長・エネルギー

<u>色</u>	<u>波長</u>	<u>エネルギー</u>
紫	380-450 nm	2.755-3.26 eV
青	450-495 nm	2.50-2.755 eV
緑	495-570 nm	2.175-2.50 eV
黄色	570-590 nm	2.10-2.175 eV
橙色	590-620 nm	1.99-2.10 eV
赤	620-750 nm	1.65-1.99 eV

# 電磁波の種類と可視光線



- 電磁波は、周波数によって上図のように分かれています。
- 光(可視光線)はこの電磁波の一部で、波長は380nm(ナノメートル)~780nmにあたります。その他の波長は目で見ることはできません。
- 太陽など身の周りの光は無色に感じますが、プリズムに光を通し波長ごとに分けると、いろいろな光が重なり合っていることが分かります。
- 光の波長によって、色だけでなく明るさの感じ方も違います。同じエネルギーの光でも、黄色や緑の光に比べ赤や青は暗く感じます。最も明るく感じるのは、波長が555nmの黄緑色の光とされています。

# CUT(カット)

## 何故cutが大切ななの？

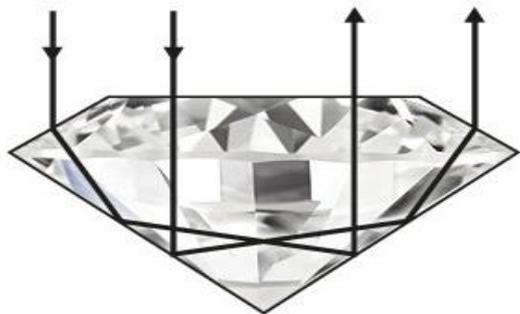
煌めきは高屈折率とカット  
ダイヤモンドの煌めきを出す為  
ダイヤモンドは硬くて切れないし、磨けない

如何にして結晶面を制御するかが大切

# 輝き、煌めき

- 優れたカットのダイヤモンドは、ブリリアンシー、ファイア、シンチレーションのバランスが整っています。
- ブリリアンシーとは、ダイヤモンドの内部と外部表面から反射される白い光のことです。
- ファイアとは、ダイヤモンドが発する虹色の煌きを指しています。
- シンチレーションは、ダイヤモンドが動くたびに目に映る閃光や輝きを指します。

# 優れたカットのダイヤモンド



理想的なカット



浅すぎるカット



深すぎるカット

# 光の屈折の法則（スネルの法則）

	絶対屈折率	真空からその物質へ光が進むとき
空気	1.0003	ほとんど曲がらない
水	1.3330	ほぼ上図のように曲がる
ガラス	1.4585	水の時より曲がる
ダイヤモンド	2.4195	ものすごく曲がる

屈折率が高く、従って臨界角は小さく、全反射領域は広い。すなわち、輝きが多いことになるのです

# 周期律表

## The periodic table of the elements

1	2	3a	4a	5a	6a	7a	1a	2a	3	4	5	6	7				
$R_2ORH$	$RORH_2$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$R_2O$	$RO$	$RO_2$	$RO_2/RH_4$	$RO_2/RH_3$	$RO_3/RH_2$	$R_2O_7/RH$				
1 1,008 <b>H</b> hydrogen	2 4,003 <b>He</b> helium	3 6,939 <b>Li</b> lithium	4 9,012 <b>Be</b> beryllium	5 10,811 <b>B</b> boron	6 12,011 <b>C</b> carbon	7 14,007 <b>N</b> nitrogen	8 15,999 <b>O</b> oxygen	9 18,998 <b>F</b> fluorine	10 20,183 <b>Ne</b> neon	11 22,990 <b>Na</b> sodium	12 24,312 <b>Mg</b> magnesium	13 26,982 <b>Al</b> aluminum	14 28,086 <b>Si</b> silicon	15 30,974 <b>P</b> phosphorus	16 32,064 <b>S</b> sulfur	17 35,453 <b>Cl</b> chlorine	18 39,948 <b>Ar</b> argon
19 39,102 <b>K</b> potassium	20 40,08 <b>Ca</b> calcium	21 44,956 <b>Sc</b> scandium	22 47,90 <b>Ti</b> titanium	23 50,942 <b>V</b> vanadium	24 51,996 <b>Cr</b> chromium	25 54,938 <b>Mn</b> manganese	26 55,847 <b>Fe</b> iron	27 58,933 <b>Co</b> cobalt	28 58,71 <b>Ni</b> nickel	29 63,546 <b>Cu</b> copper	30 65,37 <b>Zn</b> zinc	31 69,72 <b>Ga</b> gallium	32 72,59 <b>Ge</b> germanium	33 74,922 <b>As</b> arsenic	34 78,96 <b>Se</b> selenium	35 79,904 <b>Br</b> bromine	36 83,80 <b>Kr</b> krypton
37 85,47 <b>Rb</b> rubidium	38 87,62 <b>Sr</b> strontium	39 88,905 <b>Y</b> yttrium	40 91,22 <b>Zr</b> zirconium	41 92,906 <b>Nb</b> niobium	42 95,94 <b>Mo</b> molybdenum	43 98 <b>Tc</b> technetium	44 101,07 <b>Ru</b> ruthenium	45 102,905 <b>Rh</b> rhodium	46 106,4 <b>Pd</b> palladium	47 107,868 <b>Ag</b> silver	48 112,40 <b>Cd</b> cadmium	49 114,82 <b>In</b> indium	50 118,69 <b>Sn</b> tin	51 121,75 <b>Sb</b> antimony	52 127,60 <b>Te</b> tellurium	53 126,905 <b>I</b> iodine	54 131,30 <b>Xe</b> xenon
55 132,905 <b>Cs</b> caesium	56 137,34 <b>Ba</b> barium	57 138,91 <b>L</b> lanthanum	58 140,12 <b>Ce</b> cerium	59 140,907 <b>Pr</b> praseodymium	60 144,24 <b>Nd</b> neodymium	61 145 <b>Pm</b> promethium	62 150,35 <b>Sm</b> samarium	63 151,96 <b>Eu</b> europium	64 157,25 <b>Gd</b> gadolinium	65 158,924 <b>Tb</b> terbium	66 162,50 <b>Dy</b> dysprosium	67 164,930 <b>Ho</b> holmium	68 167,26 <b>Er</b> erbium	69 168,934 <b>Tm</b> thulium	70 173,04 <b>Yb</b> ytterbium	71 174,97 <b>Lu</b> lutetium	
87 223 <b>Fr</b> francium	88 226 <b>Ra</b> radium	89 227 <b>A</b> actinium	90 232,037 <b>Th</b> thorium	91 231 <b>Pa</b> protactinium	92 238,029 <b>U</b> uranium	93 237 <b>Np</b> neptunium	94 244 <b>Pu</b> plutonium	95 243 <b>Am</b> americium	96 247 <b>Cm</b> curium	97 247 <b>Bk</b> berkelium	98 251 <b>Cf</b> californium	99 254 <b>Es</b> einsteinium	100 257 <b>Fm</b> fermium	101 256 <b>Md</b> mendelevium	102 254 <b>No</b> nobelium	103 257 <b>Lr</b> lawrencium	

Atomic Number    Atomic Weight

**Symbol element**

**PHILIPS X-RAY ANALYTICAL EQUIPMENT**

EO, X, RO, NH, Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$ ,  
L $\beta$ , X, L $\beta$ , NH, Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$ ,  
L $\alpha$ , X, L $\alpha$ , NH, Mass Abs. Coef. Co K $\alpha$

- Metallic
- Amphoteric
- Non-metallic
- Inert gas



日本フィリップス株式会社 産業機器事業部 ■本社 ■X線分析所TEL03(448)5577-5578(直) ■EDAX課TEL03(448)5635-5578(直) ■大阪支店TEL06(231)7871(代) ■ショールームTEL03(448)5579



# CUT(カット)

## 何故cutが大切なの？

ダイヤモンドは硬くて切れないし、磨けない

如何にして結晶面を制御するかが大切

# 化学結合の種類

注\* 5 化学結合

主な化学結合

イオン結合

共有結合

金属結合

結合に関与する電子

原子が固有

原子が共有

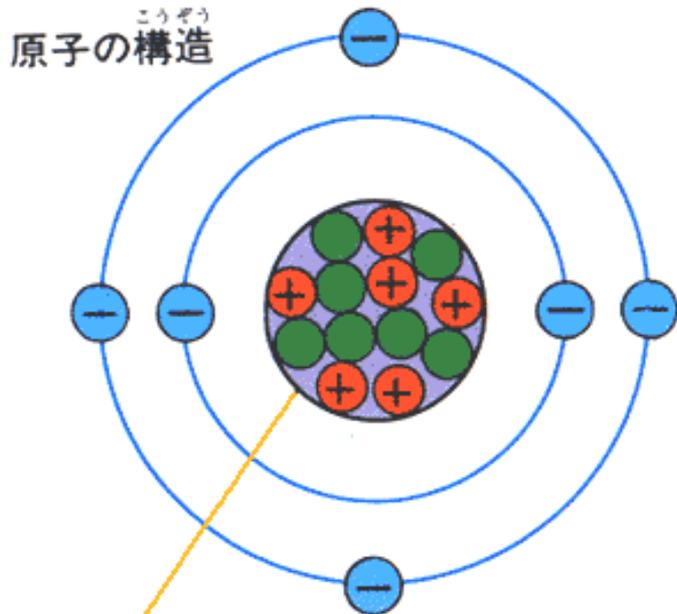
原子から自由



(+と-の電気引力)



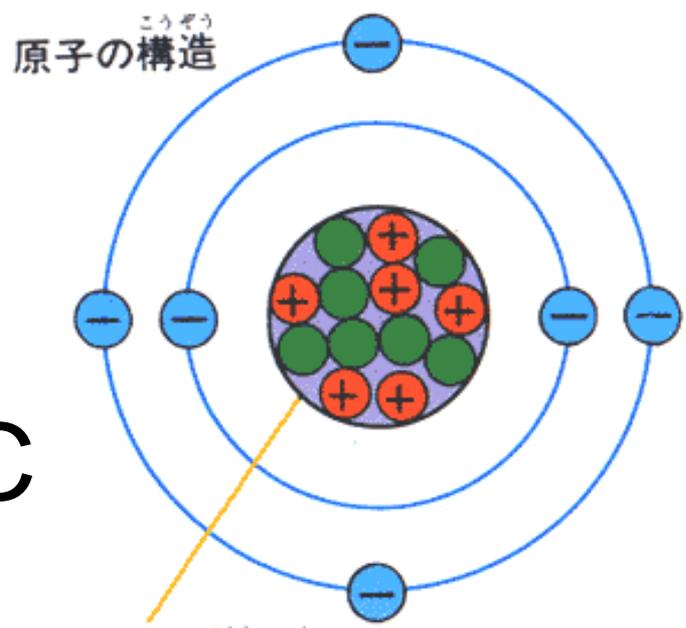
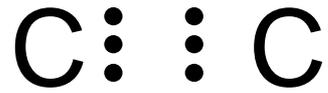
# 炭素原子 ( ${}_6\text{C}$ ) の構造



原子核 { 陽子  
中性子

● 電子;  $m$ 個  
原子番号;  $m$   
質量数;  $m+n$

⊕ 陽子;  $m$ 個  
● 中性子;  $n$ 個



原子核 { 陽子  
中性子

● 電子;  $m$ 個  
原子番号;  $m$   
質量数;  $m+n$

⊕ 陽子;  $m$ 個  
● 中性子;  $n$ 個

# 炭素の混成軌道

## ・ $sp^3$ 混成(例:ダイヤモンド、メタン)

正四面体構造(角度は $109.5^\circ$ )。一つのs軌道と三つのp軌道が交じり合う $sp^3$ 混成軌道を形成する。  
分岐数=4(4つの単結合)・(4つの $\sigma$ 結合)

## ・ $sp^2$ 混成(例:グラファイト)

平面構造( $120^\circ$ )。一つのs軌道と二つのp軌道が交じり合うと $sp^2$ 混成軌道を形成する。  
分岐数=3(2つの単結合と1つの二重結合)・(3つの $\sigma$ 結合と1つの $\pi$ 結合)  
このとき  $sp^2$ 混成軌道に関与していないp軌道の電子が一つある。

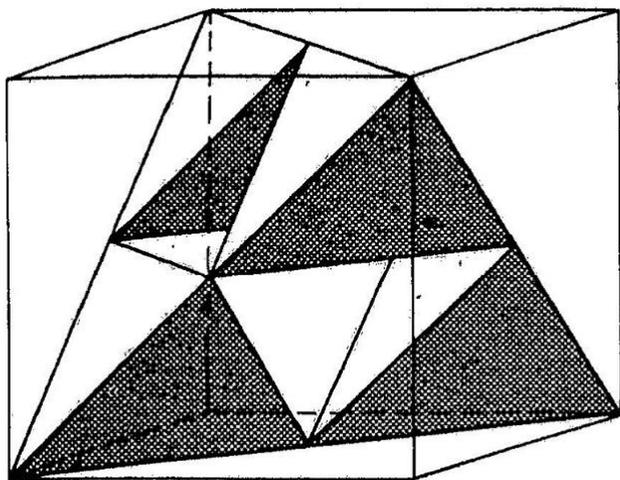
## ・ $sp$ 混成

直線構造( $180^\circ$ )。一つのs軌道と一つのp軌道が交じり合うと $sp$ 混成軌道を形成する。  
分岐数=2(1つの単結合と1つの三重結合[1])・(2つの $\sigma$ 結合と2つの $\pi$ 結合)

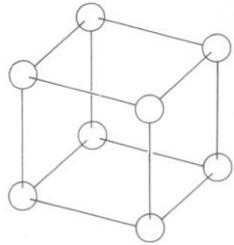
- 要は、 $\pi$ 結合が1つもなければ  $sp^3$ 混成軌道で、 $\pi$ 結合が1つあれば  $sp^2$ 混成軌道で、 $\pi$ 結合が2つあれば  $sp$ 混成軌道であるということです。

# 共有結合の種類：混成軌道

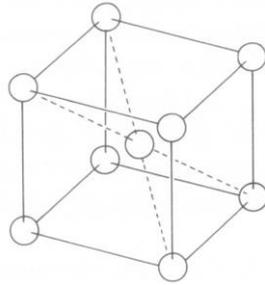
ダイヤモンド	$\text{CH}_3 - \text{CH}_3$	$\text{CH}_4$	$\longrightarrow$	$sp^3$ 混成軌道	正4面体
グラファイト	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$\text{H}_2\text{C} = \text{O}$	$\longrightarrow$	$sp^2$ 混成軌道	平面構造
	$\text{CH} \equiv \text{CH}$	$\text{O} = \text{C} = \text{O}$	$\longrightarrow$	$sp$ 混成軌道	直線構造



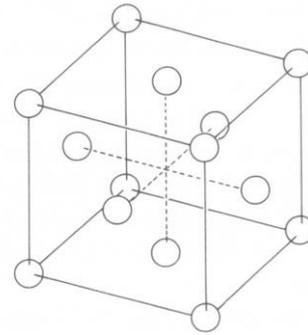
# ダイヤモンドは面心立方格子



Simple cubic



Body-centered cubic



Face-centered cubic

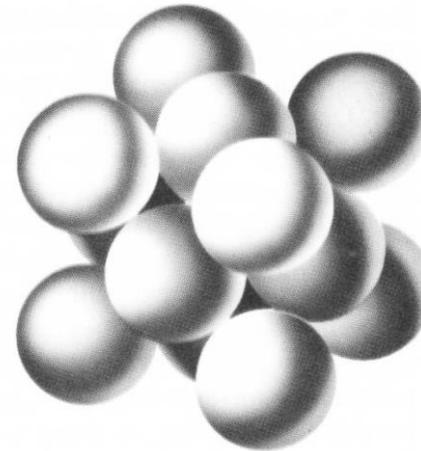
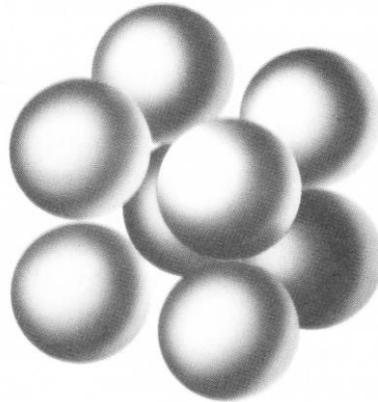
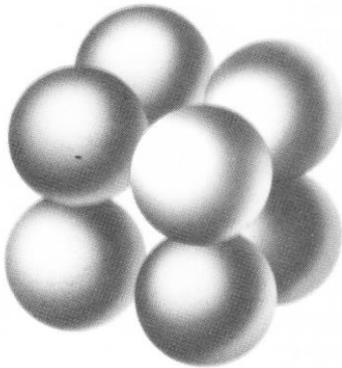
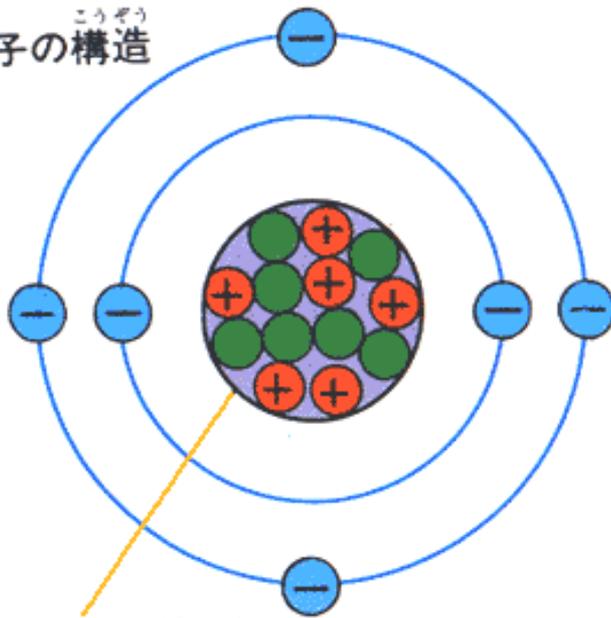


Figure 11.9 Three types of cubic lattices. In the simple cubic lattice, there is an atom at each corner of the cube. In the body-centered lattice, in addition to the eight atoms, there is an atom at the center of the cube. In face-centered lattices, there are, in addition to the eight atoms, atoms at the center of each of the six faces of the cube.

#

# 炭素原子 ( ${}_6\text{C}$ ) の構造

原子の構造



原子核 { 陽子  
中性子

陽子;  $m$ 個

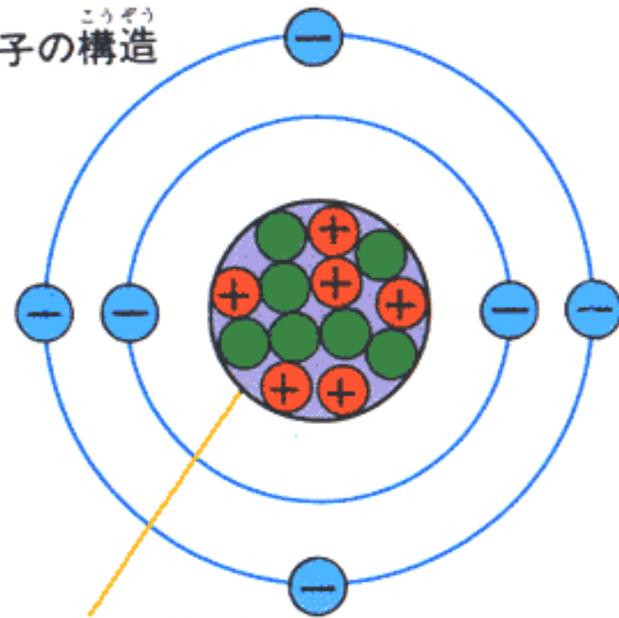
中性子;  $n$ 個

電子;  $m$ 個

原子番号;  $m$

質量数;  $m+n$

原子の構造



原子核 { 陽子  
中性子

陽子;  $m$ 個

中性子;  $n$ 個

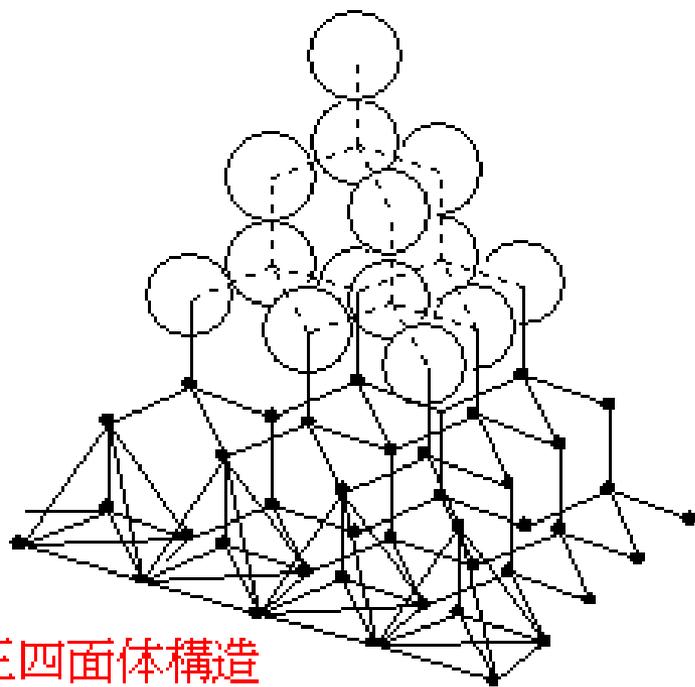
電子;  $m$ 個

原子番号;  $m$

質量数;  $m+n$

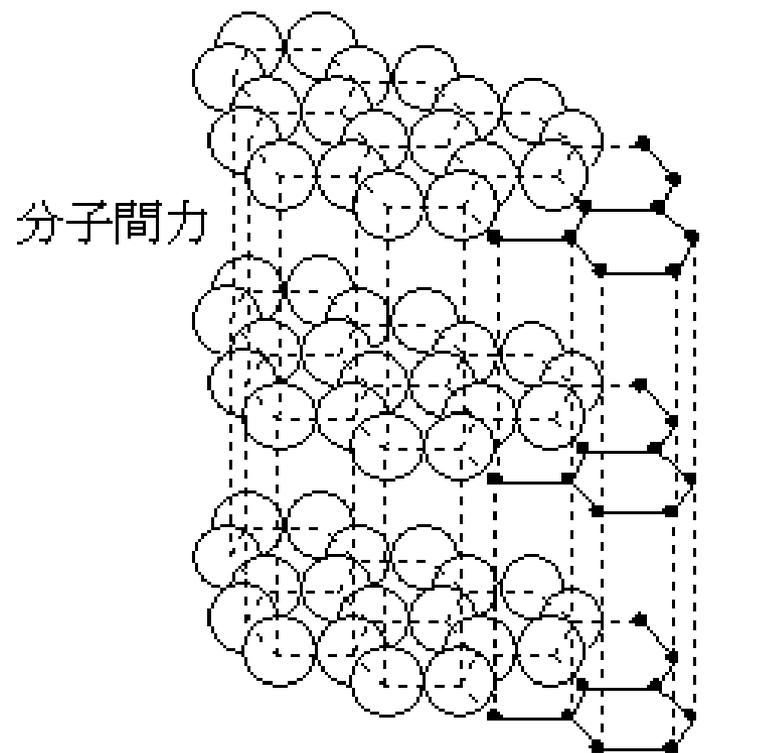
#

# 結晶構造



正四面体構造

ダイヤモンド

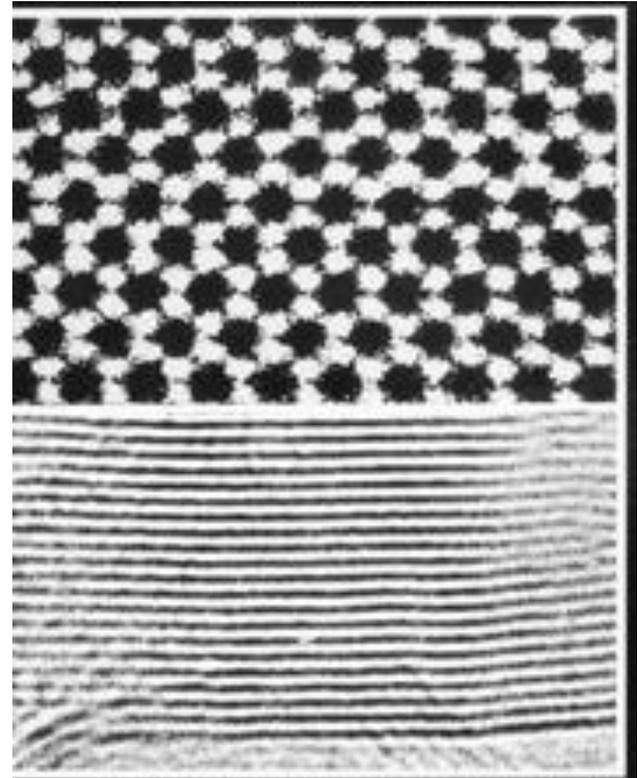
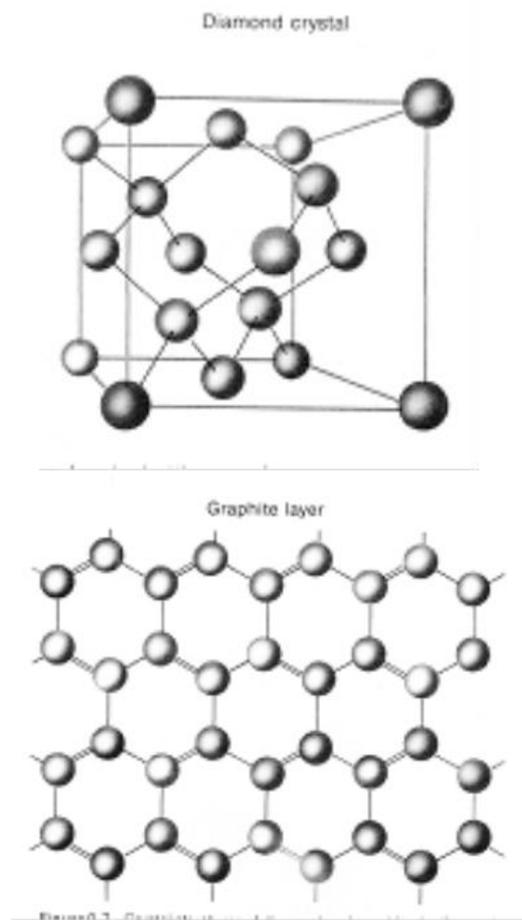


分子間力

正六角形構造

黒鉛

# 結晶構造と電子顕微鏡写真



ダイヤモンドを構成する炭素原子は3次元の(上)に、グラファイトを構成する炭素原子は層状(下)に配列している。原子が3次元的に配列したダイヤモンドのほうがグラファイトよりも強くてかたい。写真提供：(上)大阪大学・森田広志、内田直人。(下)日本電子(株)及川哲夫。

# 炭素の $sp^3$ 混成軌道とカット面

## ・ $sp^3$ 混成(例:ダイヤモンド、メタン)

正四面体構造(角度は $109.5^\circ$ )。一つのs軌道と三つのp軌道が交じり合う $sp^3$ 混成軌道を形成する。

分岐数=4(4つの単結合)・(4つの $\sigma$ 結合)

ダイヤモンドは最も硬いのでダイヤモンドを切るナイフが有りませんので共擦りしか方法は有りません。

原子と原子の結合力の弱い方向がカットと研磨が可能です。「ブリリアントカット」はすべての稜線(結合力の弱い方向)がガードル(外周)を横切る面の取り方をしている。ダイヤモンドの輝きが外に向かって放たれ、美しい虹色の世界を作り上げます。

# ダイヤモンドと炭は仲間？

- **ダイヤモンドと炭は仲間（同素体、同質異像）。**

炭や油煙や鉛筆の芯などで知られる石墨（グラファイト）

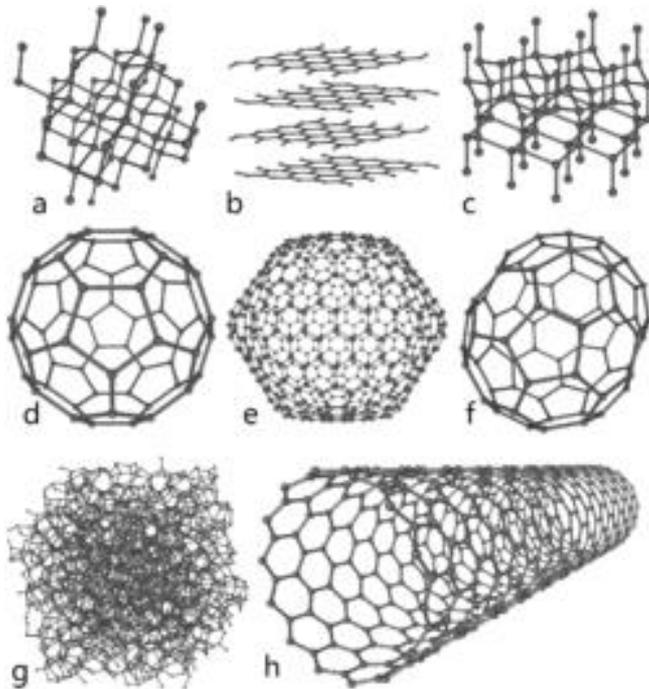
炭素の同素体としては、ダイヤモンド、グラファイト、カルビン、C60、C70等

- **構成元素は炭素（ $6C$ ）で同じだが、化学結合が異なり、原子の配列（結晶構造）が異なる。**
- **結晶構造の差が性質の差の原因となる。**

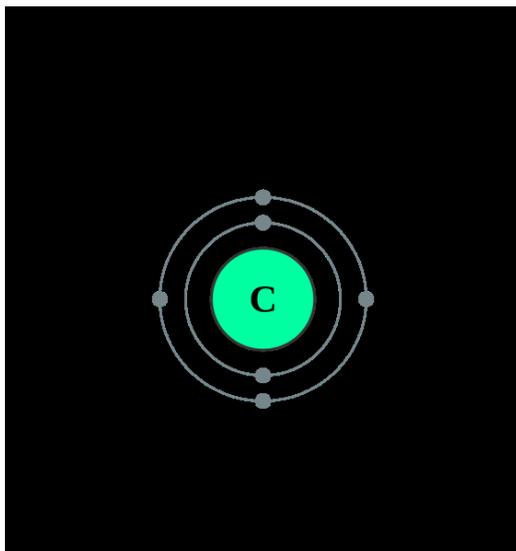
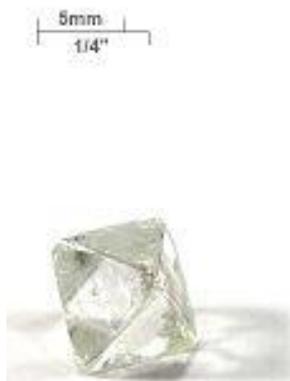
1-12 表 ダイヤモンド及びグラファイトの性質(常温)

性 質	ダイヤモンド	単結晶グラファイト		パイログラファイト	
		層面方向 ( $\perp c$ )	層間方向 ( $\parallel c$ )	$\perp c$	$\parallel c$
密度 $g/cm^3$	3.52	2.265		2.20	
強度 MPa	$5.80 \times 10^3$	$20 \times 10^3$	—	100	3
熱伝導率 $W/m \cdot K$	2000	400	80	544	13
熱膨張係数 $^{\circ}C^{-1}$	$2.8 \times 10^{-6}$	$-1.5 \times 10^{-6}$	$28 \times 10^{-6}$	$1.7 \times 10^{-6}$	$28 \times 10^{-6}$
電気抵抗 $\Omega \cdot m$	$10^{14}$	$4 \times 10^{-7}$	$< 10^{-2}$	$40 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-2}$

# 炭素の同素体には



- a: ダイヤモンド、
- b: グラファイト、
- c: ロンズデーライト、
- d, e, f: フラーレン、
- g: 無定形炭素、
- h: カーボンナノチューブ



## 外見

透明(ダイヤモンド)、黒色(グラファイト)

## 一般特性

名称, 記号, 番号

炭素, C, 6

分類

非金属元素

族, 周期, ブロック

14, 2, p

原子量

12.0107 g·mol<sup>-1</sup>

電子配置

[He] 2s<sup>2</sup> 2p<sup>2</sup><sup>[1]</sup>

電子殻

2, 4(画像)

# 炭素の天然同位体

- 炭素には、炭素12、炭素13、炭素14の3つの天然同位体が存在する。
- 炭素12と炭素13は安定で、天然の存在比は、約99:1である。炭素14は、大気上層で宇宙線からの熱中性子により生成し、地表に下降して生物に吸収される。
- 炭素14の存在比は無視できる程度であるが、半減期5700年の放射性を持つため、放射計で検出することができる。炭素14の存在量は放射年代測定に用いることができる

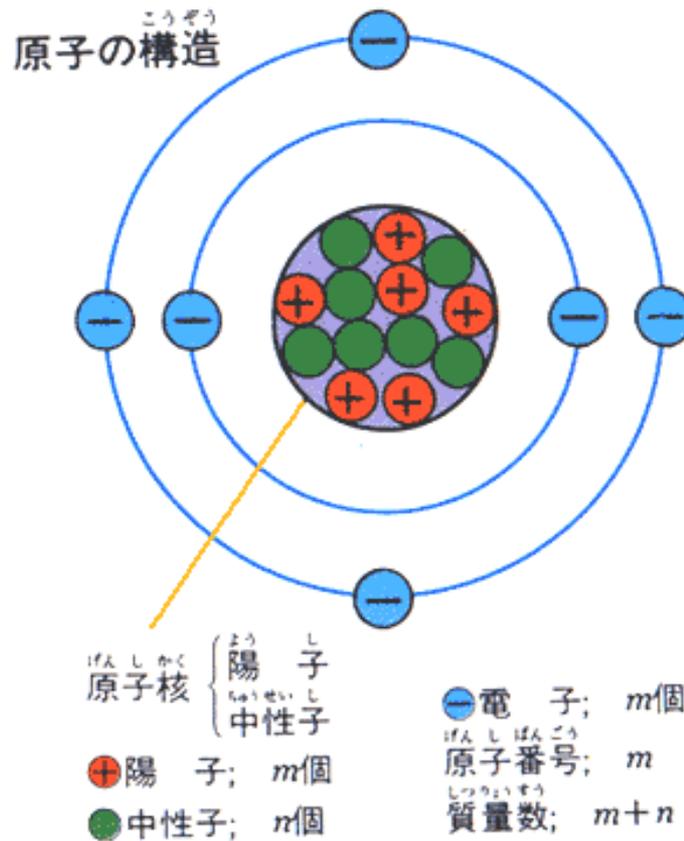
# 炭素の同位体



同位体核種	Z(p) 励起エネルギー	N(n)	同位体質量 (u)	半減期	核スピン数	天然存在比	天然存在比 (範囲)
$^8\text{C}$		6	2 8.037675(25)	$2.0(4) \times 10^{-21}$ s [230(50) keV]	0+		
$^9\text{C}$		6	3 9.0310367(23) )	126.5(9) ms	(3/2-)		
$^{10}\text{C}$		6	4 10.0168532(4) )	19.290(12) s	0+		
<u><math>^{11}\text{C}</math></u>		6	5 11.0114336(1 0)	20.334(24) min	3/2-		
<u><math>^{12}\text{C}</math></u>		6	6 12 by definition	STABLE	0+	0.9893(8)	0.98853- 0.99037
<u><math>^{13}\text{C}</math></u>		6	7 13.00335483 78(10)	STABLE	1/2-	0.0107(8)	0.00963- 0.01147
<u><math>^{14}\text{C}</math></u>		6	8 14.00324198 9(4)	$5.70(3) \times 10^3$ years	0+		<10 <sup>-12</sup>
$^{15}\text{C}$		6	9 15.0105993(9) )	2.449(5) s	1/2+		

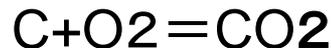
# 炭素原子 ( ${}_6\text{C}$ ) の構造

炭素は電子と陽子の数は6個だが、  
中性子の数によって同位体が出る。



# 火事になったら ダイヤモンドはどうなるの？

発火点、酸素、形状等に依りますが  
燃えてしまって  
炭酸ガスになって跡形も無く消失しま  
います。



反応の自由エネルギー変化

$$\Delta G = G_{\text{CO}_2} = 0 \quad (\text{at } 1000\text{K})$$

$$\Delta H = 8\text{KCal/g}$$

# ダイヤモンドの用途

天然ダイヤモンド:

装飾用の宝石

合成ダイヤモンド:

超精密の研削加工用工具、  
電子回路部品の放熱基板  
過酷環境で働くセンサー、  
光学窓材、

素粒子物理学実験の検出器、  
スピーカーの振動板、  
庖丁やフライパン など

ダイヤモンドが地球上で優れた性質:

最も熱を伝え易く、最も硬く、結晶中を電子が動き易いなど。  
このように現代の基礎科学や先端産業を支える必須材料

# ダイヤモンドのその他の特性

- 親油性 (Stickiness against the oil)

親油性があります。採鉱されたダイヤモンド原石の選別にあたって、つい最近までこのダイヤモンドに親油性がある性質を利用して、グリース・テーブルの上に採鉱して細かくした石を載せ、ダイヤモンド以外の石を水流で洗い流す方法をとることがなされてきたことはよく知られています。

- 高屈折率
- 高硬度
- 高屈折率

- 熱伝導性 (Thermal conductivity)

熱伝導性が良く、中でも Type II は非常に良いので、この性質を利用して、ダイヤモンド・テスターが開発されています。

- 電気伝導性 (Electrical conductivity)

電気絶縁体の性質を持つものと、半導体の性質を持つ II b 型のものがあります。

# # ダイヤモンドの光学的特性

- 透明度 (Transparency) 透明が基本です。

- 光学特性 (Optical properties)

結晶が等軸晶系に属するので光学的等方性 (Isotropic)。単屈折性 (Single refractive) であり、一つの屈折率  $n$  を持ちます。ですから多色性はありません。

時に、変則的な複屈折性を示すこともあります。

- 屈折率 (Refractive index)

ダイヤモンドの屈折率:  $n_{2.417}$  は合成ルチルに次ぐ非常に高い屈折率でダイヤモンドの輝きのもとになっています。屈折率が大きいと臨界角が小さくなります。臨界角が小さければ、全反射領域は広いことになります。この結果、全反射光量は多くなり、輝きが多いことになるのです。

- 分散度 (Dispersion)

白色光線が屈折された時に各々の波長の差によって7色の虹に分かれることはよく知られています。この虹色をファイアと呼びます。ダイヤモンドの分散度: 0.044 のファイアは明瞭で、ダイヤモンドの輝きに色を添えています。ダイヤモンドの代用石である合成ルチルや合成チタン酸ストロンチウムは分散度が大きすぎ、ファイアが強すぎて俗に言う品が落ちた輝きであると言われます。

- 光沢 (Lustre)

ダイヤモンドは光の反射率が高く、目に艶を感じます。これはダイヤモンド光沢と呼ばれます。ダイヤモンドおよびそれに近い屈折率を持つ宝石にみられる特有の強い光沢です。

- 蛍光性 (Fluorescent)

長波 (366.0nm) 短波 (253.7nm) とともに各色の蛍光がある場合が多いのです。

一般的に多いのは青から濃い紫色です。

- 分光特性 (Spectral characteristics)

黄色石は 415.5nm 他数本のケーブラインがあります。逆に 415.5nm のラインが無い石は白色の最高のものになります。褐色石は 504.0nm、処理石は 594.0nm に吸収ラインがあります。

- カラー・フィルター (Colour filter)

カラー・フィルターをとおしても変化しません。

- X線 (X-rays)

X線に対して透過性があります。他の殆どの宝石やダイヤモンドの代用石がX線の透過性を持たないので、X線は石の判別や鑑定に利用されます。

# # ダイヤモンドの物理的性質

## •硬度 (Hardness)

モース硬度で 10 で最も硬い。 ヌープ硬度で5500-8500 で (モース硬度 9のコランダムがヌープ硬度で 1660-2000 )ダイヤモンドの輝きは平滑な面で発揮。

## •靱性 (Toughness)

靱性(ねばり強さ、割れ難さ)は水晶と同じ 7.5 で決してたかくありません。粉々に割れてしまうことを意味します。

## •劈開性 (Cleavage)

八面体結晶面に平行な4方向に劈開性を持っています。ダイヤモンド原石を分割。

## •断口 (Fracture)

ダイヤモンドの欠けた欠け口の形状は貝殻状を呈します。

## •比重 (Specific gravity)

ダイヤモンドの比重は 3.52 です

# ダイヤモンドの性質と類似宝石の性質

ダイヤモンドおよび 合成石名	結晶系	屈折率	屈折性	分散率	硬度	比重
ダイヤモンド	等軸晶	2.417	単屈折	0.044	10	3.52
キュービック・ジルコ ニア	等軸晶	2.15~2.18	単屈折	0.060	8~8.5	5.6~ 6
合成モアッサナイト	六方晶	2.654~2.967	複屈折	0.104	9.5	3.22
G. G. G.	等軸晶	1.95~2.03	単屈折	0.038	6.5~7	7.05
Y. A. G.	等軸晶	1.832	単屈折	0.028	8.5	4.57

# 偽ダイヤモンド(模造ダイヤモンド)、

1. ガラス(クリスタルガラス)
2. プラスチック
3. セラミック(キュービックジルコニア : CZ)
4. 張り合わせ石[注 1]
5. プレス(再生)製品

地球の自然をヒントにして  
人工ダイヤモンドを作る

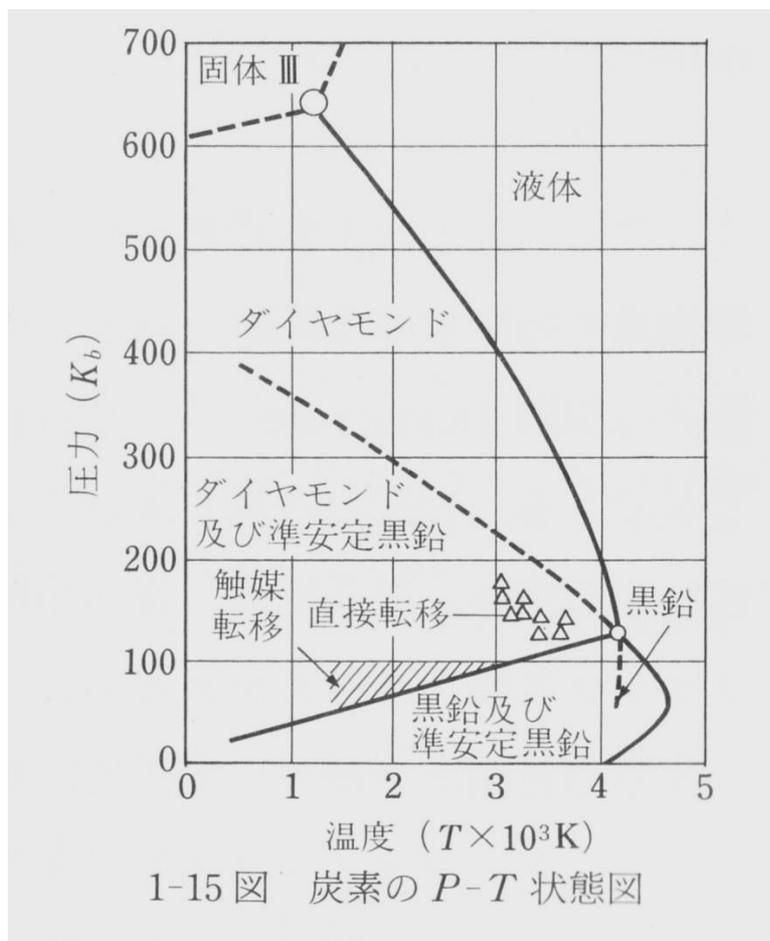
# キンバーライト鉱山

ロシア連邦サハ共和国ウダチナヤ鉱山



ダイヤモンドはマントル起源の火成岩であるキンバーライトに含まれる。  
キンバーライトの貫入とともにマントルにおける高温・高圧状態の炭素(ダイヤモンド)が地表近くまで一気に移動することでグラファイトへの相転移を起こさなかったと考えられている。  
このため、ダイヤモンドの産出地はキンバーライトの認められる地域、すなわち安定陸塊に偏っているキンバレーのダイヤモンドとトランスバール

# 炭素のP(圧力)・T(温度)状態図



低圧(約0.1気圧)のメタンと水素:隕石

高圧(約5万気圧)と高温(約1500°C):地質学  
鉄触媒

# 超高圧プレス()



- 39.2MN(4,000tf) flat belt type press

# 人工ダイヤモンドバルク単結晶SEM写真



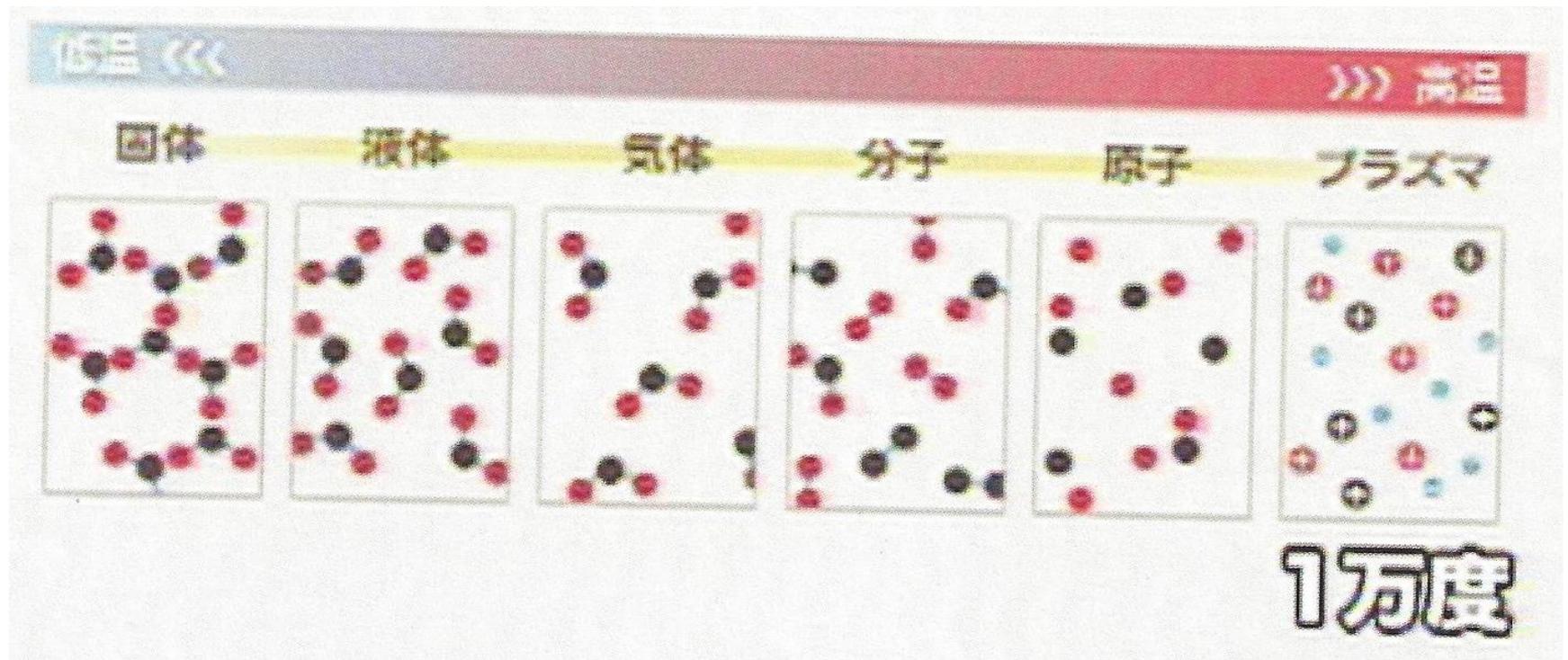
宇宙の自然をヒントにして  
人工ダイヤモンドを作る

# ノボ・ユレイ隕石中に発見

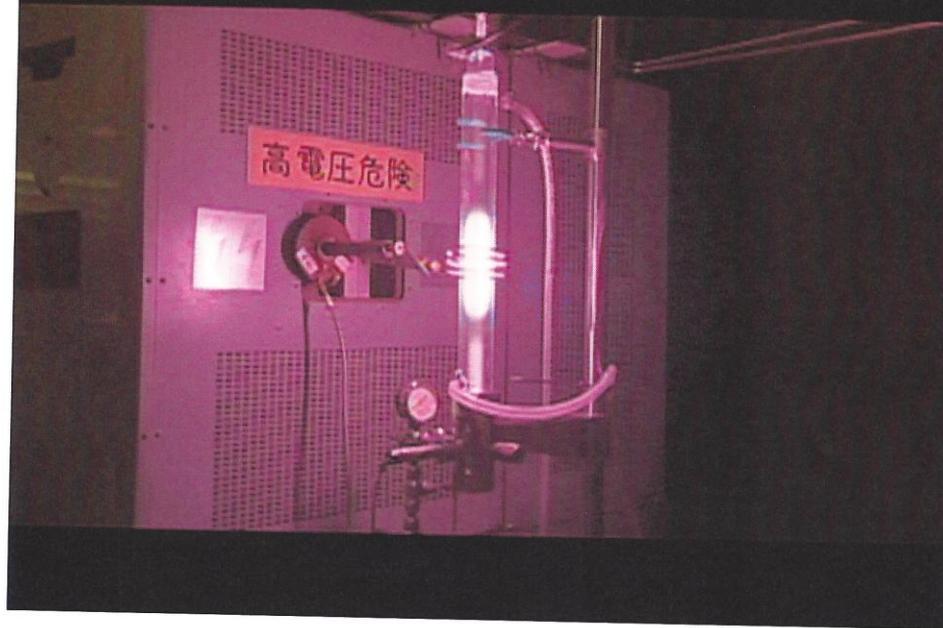
- 1888年にフランスの雑誌に発表
- メタンガス＋水素ガスを原料としてICP-CVD法でSi基板上にダイヤモンド合成
- 2012年9月ロシア政府は公表した。

シベリアのポピガイ・クレーター(直径約100km)には、大量のダイヤモンドが存在

# PLASMAとは

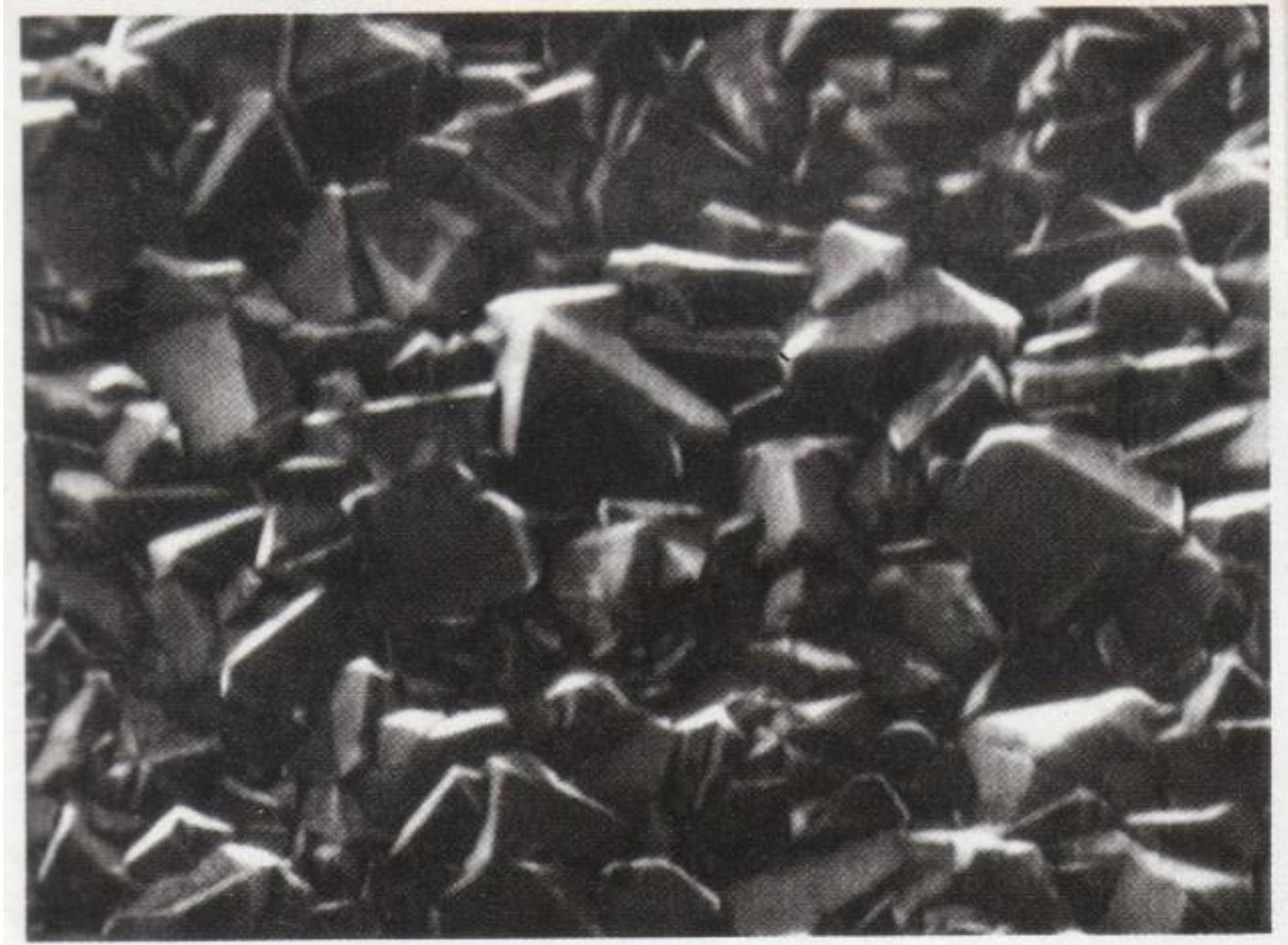


プラズマ発生中の様子。

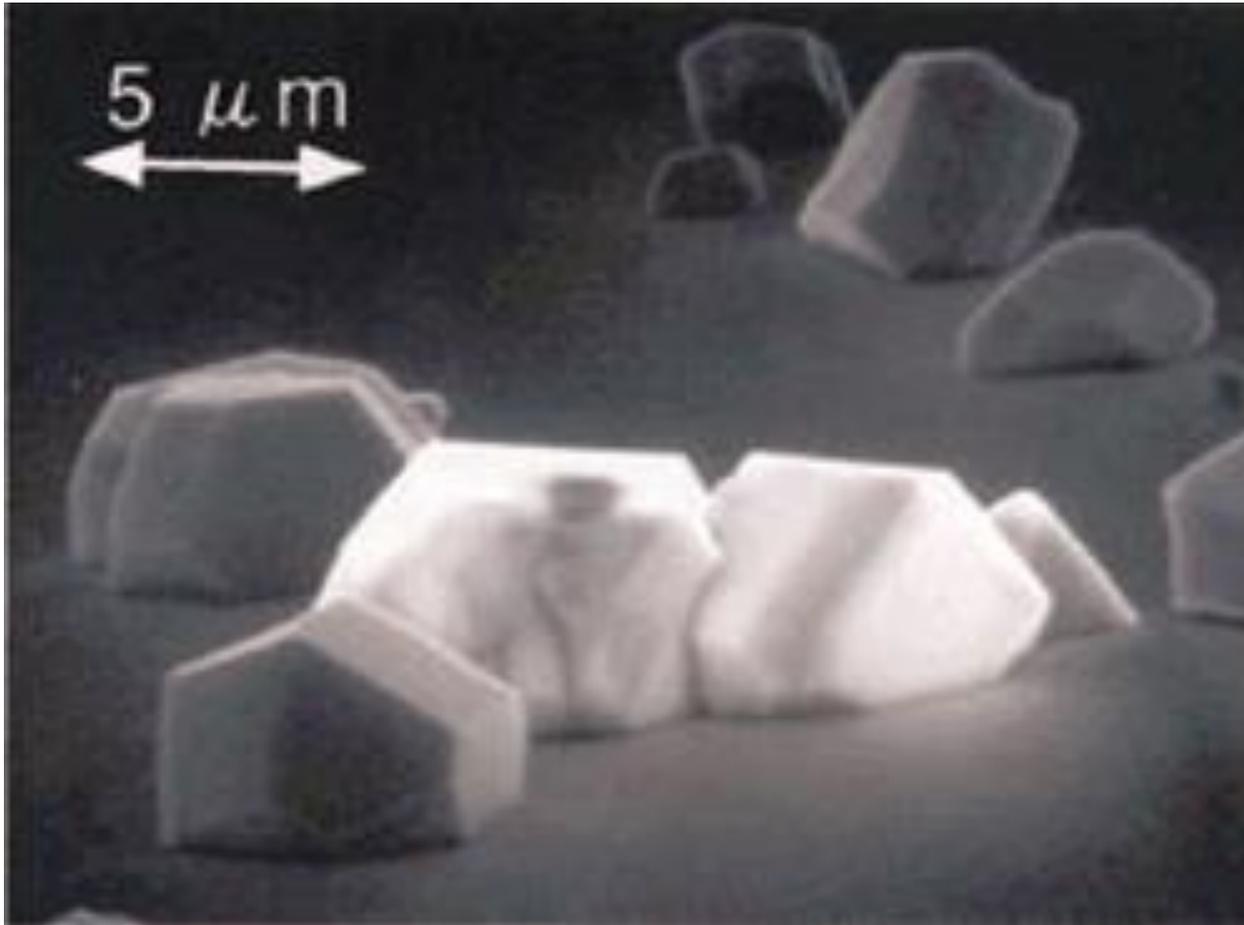


プラズマは急速加熱・急速冷却が可能

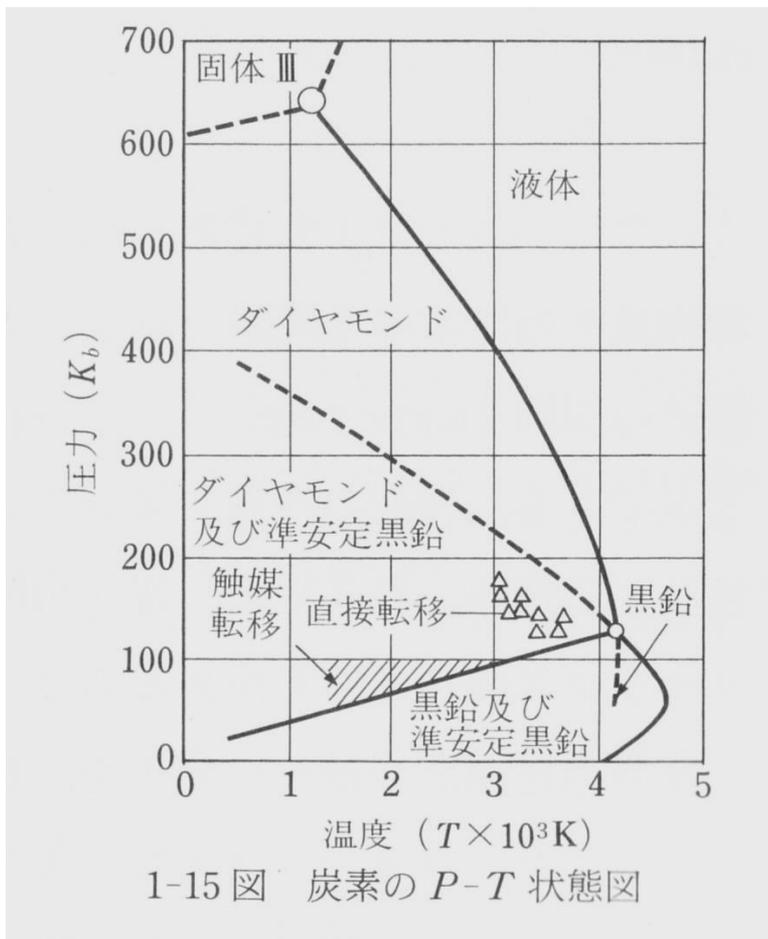
# 人工ダイヤモンド薄膜状表面SEM写真



# 気相合成法で シリコン表面に成長させたダイヤモンド粒子



# 炭素のP(圧力)・T(温度)状態図



低圧(約0.1気圧)のメタンと水素:隕石

高圧(約5万気圧)と高温(約1500°C):地質学  
鉄触媒

# ダイヤモンドの用途： 宝石用<工業用

ダイヤモンドの用途は宝石用よりも工業用の方が多く、かつ重要。

この結果、人造ダイヤモンドの全てと天然産ダイヤモンドの大半は工業用に使われているのです。

ガラス切り、レコードの針、研磨剤、ガラスの彫刻、他の宝石の研磨、研磨剤、超硬合金の精密研磨、研削砥石、錐の先端のビット、ボーリング材料や岩石の切断、ダイヤモンド・ヘッド、極細の金属線を作る工具、人工衛星の外部観測用の窓、LSIなどの放熱板（Ⅱa型ダイヤモンドの熱伝導性）、半導体の性格を持つⅡb型のダイヤモンド、フライパン

# 人工ダイヤモンド、偽ダイヤモンド

- 類似宝石
- ガラス玉、プラスチック製品

# ダイヤモンドの性質と類似宝石の性質

煌めきは

ダイヤモンドおよび 合成石名	結晶系	屈折率	屈折性	分散率	硬度	比重
ダイヤモンド	等軸晶	2.417	単屈折	0.044	10	3.52
キュービック・ジルコ ニア	等軸晶	2.15~2.18	単屈折	0.060	8~8.5	5.6~ 6
合成モアッサナイト	六方晶	2.654~2.967	複屈折	0.104	9.5	3.22
G. G. G.	等軸晶	1.95~2.03	単屈折	0.038	6.5~7	7.05
Y. A. G.	等軸晶	1.832	単屈折	0.028	8.5	4.57

# 天然ダイヤモンドと 人工ダイヤモンドは 区別が付くか？

宝石店では難しいが、  
成長速度の差を位相差顕微鏡や  
微分干渉顕微鏡で表面観察すれば良い



主な参考文献(略式)

御清聴有難うございました。

Thank you for your attention!