スピネル構造を持つ高圧相窒化ケイ素 (Si_3N_4) の合成と構造特性

物質・材料研究機構物質研究所 関根利守

Toshimori SEKINE: Synthesis of the High-Pressure Phase of Si_3N_4 with a Spinel Structure and its Structural Characteristics

Spinel-type Si_3N_4 has been synthesized under high pressures and high temperature conditions. Some structural characteristics have been investigated. Recent results are reviewed and compared with those of compounds containing six-fold coordinated Si. Some perspective will be given.

1. はじめに

スピネル構造は、酸化物ではたいへんなじみのある構造の1つで、古くからよく知られている。特にケイ酸塩やゲルマン酸塩でのスピネルについては、地球科学的にも高圧下で起きるオリビン-スピネルの構造相転移としてマントル遷移層の関連で詳しく調べられている。¹⁾

最近、窒化物でもこのスピネル構造が典型的なセラミックス物質である Si_3N_4 等とすることが実験的に明らかになった。²⁾ これら窒化物スピネルでは、イオン結晶と考えられる陽イオンの Si はその 1/3 が 4 配位で、残りの 2/3 は 6 配位となる。これは、構造的にも物性的にも従来の α 型ないし β 型の Si_3N_4 と大きな相違がある。ここでは、そのごく最近明らかになった窒化物スピネルの合成法を紹介し、少しずつ明らかにされつつあるその構造的特性について述べる。

Si_3N_4 スピネルは高圧相であり、現在のところその合成には種々の高圧発生装置を必要とする。従来、酸化物や酸窒化物などとしては 6 配位の Si を含む化合物は知られていたが、窒化物としては初めてである。高圧相は一般的に、低圧相に比べて強い化学結合を示し、優れた物理化学的性質を示すことが期待されるので、耐熱性機能材料として有望な窒化ケイ素に新しい仲間が出現したことになり応用への期待が大きい。

スピネル構造は、化学式 AB_2X_4 と記述される。ここでは A は 8a 席 4 配位、B は 16d 席 6 配位の陽イオン、X は陰イオンである。X が酸素の場合には A、B イオンの価数によって 1-6 型の Li_2MoO_4 や Li_2WO_4 、2-3 型の MgAl_2O_4 、および 2-4 型の Mg_2SiO_4 などがある。スピネル構造は空間群 $\text{Fd}\bar{3}\text{m}$ (No.227) に属し、陰イオンの位置に対してパラメータ 1 つで座標が決まる。陽イオンの A、B 席間での交換が起こり、秩序が乱れることが知られている。極端な場

合、逆スピネル型になり、この時は 8a 席全部と 16d 席の半分が A で占められ、16d 席の残りの半分が B で占められる。酸素イオンパッキングは ccp の最密充填に近い。カルコゲナイトでは Co_3S_4 や Co_3Se_4 など多くのスピネル構造が知られている。

2. 窒化物スピネルの合成

これまでに合成された窒化物スピネルは、 Si_3N_4 ²⁾⁻⁵⁾、 Ge_3N_4 ⁶⁾⁻⁹⁾ および Sn_3N_4 ^{10), 11)} の 3 種類である。それぞれの格子定数と密度については表 1 にまとめられている。これらの元素は周期律表中の炭素と同族であり、まだ仮想物質である C_3N_4 に対する関連物質である点でも興味がある。

2.1 Si_3N_4 スピネルの合成

ダイヤモンドアンビルセル (DAC) 中で元素状 Si と流体状 N_2 を 15 ~ 30 GPa, 2000 K で反応させた結果、²⁾ 生成物中に新たなラマン線が観察された。その試料を電子顕微鏡で詳細に調べた結果、スピネル型であると同定された。その後 α 型や β 型の Si_3N_4 あるいは非晶質 Si_3N_4 や先駆体物質を使用しマルチアンビル型高圧発生装置 (MA) で 13 ~ 18 GPa, 1800 °C の条件で^{3), 5)} スピネル型に相転移することが明らかになった。また、 Si_3N_4 粉末を銅粉と混合した混合粉末を用いて、温度や圧力を効率良く上げるような衝撃圧縮法を使うことで瞬間的にスピネル型 Si_3N_4 粉末合成⁴⁾ が可能であることが明らかになった。この方法では 63 GPa で衝撃処理すると転換率 100 % でスピネル型に相転移する。この時の直接相転移は、適当な温度にすることが重要である。あまり低温だと反応が進まず、温度が高すぎると分解が起こったり、試料容器と反応したりする。反応容器としては、銅が最適であることがわかった。これは比較的大きな衝撃インピーダンスをもち、圧力と温度を効果的に上昇させ、また高温下では窒化物をつくらず、かつ衝撃処理後に除去が容易であることがその理由である。

表1 スピネル型窒化物. (Spinel-type nitrides.) 空間群 $\text{Fd}\bar{3}\text{m}$, $Z = 8$. DAC はダイヤモンドアンビルセル, MA はマルチアンビルセル, Shock は衝撃圧縮法に依る高压状態発生を意味する.

窒化物	合成法	格子定数 (nm)	密度 (g/cm^3)	文献
Si_3N_4	a. $3\text{Si} + 2\text{N}_2 \rightarrow$ DAC $> 15 \text{ GPa}, > 2000 \text{ K}$	0.780 (8)	3.93 (0.12)	2
	b. 非晶質 $\text{Si}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{MA}$ $\text{Si}_3\text{N}_2(\text{NH}) \rightarrow \text{MA}$ $13 \text{ GPa}, > 1600^\circ\text{C}$	0.77381 (2) $x = 0.25968$ $\text{Si(IV)} - \text{N} = 0.18051$ $\text{Si(VI)} - \text{N} = 0.18626$		3
	c. $\beta - \text{Si}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{Shock}$ $\alpha - \text{Si}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{Shock}$	0.77440 $x = 0.2541$	4.012	4
	d. $\alpha - \text{Si}_3\text{N}_4 + \beta - \text{Si}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{MA}$ $17 \text{ GPa}, 1800^\circ\text{C}$	0.77339 $x = 0.2583$ $\text{Si(IV)} - \text{N} = 0.17849$ $\text{Si(VI)} - \text{N} = 0.18718$	3.75	5
Ge_3N_4	a. $3\text{Ge} + 2\text{N}_2 \rightarrow \text{DAC}$	0.83	6.36	6
	b. $\beta - \text{Ge}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{MA}$	0.82125 $\text{Ge(IV)} - \text{N} = 0.1879$ $\text{Ge(VI)} - \text{N} = 0.1996$		7, 8
	c. $\alpha - \text{Ge}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{Shock}$ $\beta - \text{Ge}_3\text{N}_4 \rightarrow \text{Shock}$	0.82063	6.581	9
Sn_3N_4	a. $\text{SnI}_4 + 4\text{KNH}_2$ $\text{SnBr}_2 + 2\text{KNH}_2$ 低温反応	0.9037 (3) $x = 0.2595$ $\text{Sn(IV)} - \text{N} = 0.2105$ $\text{Sn(VI)} - \text{N} = 0.2177$		10
	b. $\text{SnI}_4 + 4\text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_4\text{Cl}$ 2.5 GPa 350°C	0.9025 (4)		11

2.2 Ge_3N_4 スピネルの合成

DAC で Si_3N_4 スピネルを得たグループは, Ge と N_2 との反応についても同様に検討した. 10 GPa では Ge に変化が出て β -Sn 構造になった. 更に圧力を上げて 19 GPa でレーザー加熱すると化学反応が認められ, 急冷後, 試料は灰白色になり, ラマン分光で調べた結果スピネル型 Ge_3N_4 の生成が認められた. 常圧にもどした後, 生成物は電顕で調べられた. その結果, スピネル構造であることが確かめられた.

低压相 Ge_3N_4 は Si_3N_4 と同様に α 型と β 型があり, 通常の合成法では α 型と β 型の混合物として得られる. これらの高压相転移についても実験的検討が行われた. MA での合成実験も行われ, 12 GPa, 1000 ~ 1200 $^\circ\text{C}$ で固相転移で合成に成功し, 得られた試料について詳細な構造解析が行われた. またラマン分光スペクトルの実験値と理論的解析を検討して, より正確な解析が行われた. 衝撃圧縮法によっても α 型と β 型の混合物と銅粉との粉末混合物について検討した結果, ほぼ Si_3N_4 と同様な圧力範囲でスピネル型 Ge_3N_4 の生成が認められた. これらの Ge_3N_4 スピネルの合成圧力領域は, Si_3N_4 のそれに比べて顕著な差がなく, 酸化物の場合とは事情が大きく異なることは注目に値する.

更に DAC を用いた Ge_3N_4 と Si_3N_4 との固溶体生成の有無に関する実験が行われた. それぞれの端成分スピネルが合成可能な実験条件でもその両者の完全固溶体の生成

は認められず, GeSi_2N_4 組成に近いスピネルの形成を示し, Si が選択的に 4 配位を占める結果を示している.

2.3 Sn_3N_4 スピネルの合成

Sn_3N_4 は比較的低温で分解するため, 合成も低温で行われた. SnI_4 と KNH_2 とを 243 K の液体アンモニア中で反応させたところ, 白色生成物が得られた. この生成物からアンモニアを除去し固体部分を 300 $^\circ\text{C}$ の真空中に放置した. 残った固体を粉末 X 線回折法で調べたところスピネル型の Si_3N_4 と KI が同定された.¹⁰⁾ Si_3N_4 に関してはリートベルト法で解析された. その結果は, 表 1 のとおりである.

またごく最近の実験では, 2.5 GPa の条件¹¹⁾ で $\text{SnI}_4 + \text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_4\text{Cl}$ の混合物を反応させたところ, スピネル型 Sn_3N_4 が Sn と一緒に同定された.

3. スピネル型 Si_3N_4 の構造特性

3.1 結晶構造解析

現在のところ, 十分な大きさの単結晶が得られていないので, 電子線回折による単結晶の構造解析と粉末 X 線回折データのリートベルト解析法による構造解析が行われている. その結果は表 1 にまとめられているように, $\text{Fd}\bar{3}\text{m}$ の空間群に属し, スピネル構造を示す. 図 1 には衝撃圧縮法によって β 型 Si_3N_4 の相転移で合成されたスピネル型 Si_3N_4 の高分解電子顕微鏡写真を示した. 粒子サイズは 10 nm 程度のナノ結晶である. スピネル粒子の中には, 表皮に非晶質部分があり, その組成は酸素に富んだ SiO_2

図1 衝撃圧縮法で得られたスピネル型 Si_3N_4 粒子の透過電子顕微鏡写真.¹²⁾ (Electron microphotographs of spinel-type Si_3N_4 grains produced by shock wave compression of $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.) (A) 低倍率で粒形観察と [001] に沿った電子線回折パターン, (B) 高分解能格子像, [111] に沿った格子像の Si_3N_4 スピネル相が酸素に富む非晶質相の中にある. (C) 高分解能格子像. Si_3N_4 スピネル粒子表面に皮が見える.

に近い組成を示すものがある.

リートベルト法による解析結果は、表1から格子定数が $0.77339 \text{ nm} \sim 0.77440 \text{ nm}$ を示し、Nの格子座標として $x = 0.2541 \sim 0.25968$ の値を示し、理想的Nの位置からのずれはわずかであることがわかる。また平均的なSi-Nの距離は、試料に依ってわずかに異なるが、4配位SiのSi-N平均距離は6配位SiのSi-Nのそれより約5%程度短いことがわかる。

3.2 ELNES 測定¹³⁾

衝撃圧縮法で得られたスピネル型 Si_3N_4 試料の電子線エネルギー損失分光励起端近傍微細構造 (ELNES) が調べられた。Si-L₂₃端とN-K端の測定結果¹³⁾は図2と図3にそれぞれ示されている。ELNESは内殻イオン化過程で観察され、物質の特性化に便利な手法である。XANESより分解能は悪いが、電顕観察下で測定できる利点がある。

分子軌道計算結果と測定結果は、それぞれ京大田中功氏とカンサス大Chang氏の共同研究グループと物材機構の木元浩司氏によって行われた。それぞれのパターンはよい一致を示し局所的構造特性も明らかにされた。

3.3 ^{29}Si NMR 測定¹⁴⁾

固体のマジックアングルスピニングのNMR分光法は、Si原子まわりの局所的構造に関して更に詳細な情報を与える。スピネル型 Si_3N_4 に関する測定データは、図4に示されている。 β 型 Si_3N_4 のNMRデータと比較されている。 β 型 Si_3N_4 ではすべてのSiは1種類の4配位の場合

図2 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ とスピネル相 $c\text{-Si}_3\text{N}_4$ での Si-L₂₃ 端の ELNES の比較.¹³⁾ (Comparison of Si-L₂₃ ELNES patterns for $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ and $c\text{-Si}_3\text{N}_4$ obtained by measurements and theoretical calculations.) それぞれ実測データ (exp.) と理論的計算パターン (theo.) が比較されている。

図3 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ とスピネル相 $c\text{-Si}_3\text{N}_4$ での N-K 端の ELNES の比較.¹³⁾ (Comparison of N-K ELNES patterns for $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ and $c\text{-Si}_3\text{N}_4$ obtained by measurements and theoretical calculations). それぞれ実測データ (exp.) と理論的計算パターン (theo.) が比較されている。

しかないが、スピネル型 Si_3N_4 では、3つのSiのうち1つは4配位で残りの2つは6配位になる。この6配位の ^{29}Si は-225 ppmの化学シフトを示し、これは今まで知られ

図4 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ とスピネル相 $c\text{-Si}_3\text{N}_4$ での ^{29}Si MAS NMR 化学シフトの比較.¹⁴⁾ (Comparison of ^{29}Si MAS NMR chemical shifts for $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ and $c\text{-Si}_3\text{N}_4$.) (1) $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, Si は 1 つの SiN_4 ユニットのみに成り -48 ppm の化学シフトを示す. (2) スピネル相 $c\text{-Si}_3\text{N}_4$. SiN_4 と SiN_6 ユニットの 1 : 2 の比で共存し, それぞれ -50 ppm と -225 ppm の化学シフトを示す. 化学シフトはテトラメチルシラン(CH_3) $_4\text{Si}$ を基準にとっている.

ている ^{29}Si の化学シフトで最大の値を示す. 良く知られているケイ酸塩物質で 6 配位をもつ ^{29}Si の値は, -180 ppm から -215 ppm の範囲である. この 6 配位 Si に対して Si-O 平均距離 (ステショバイトで 0.1774 nm) と Si-N 平均距離 (スピネル型 Si_3N_4 で 0.1785 nm) とをみるとその差が理解できよう.

3.4 スピネル型 Si_3N_4 の体積弾性率

スピネル型物質の高压下での状態を理解するためには, 状態方程式の決定が必要である. 二段式軽ガス銃を使用した $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 焼結体に関するユゴニオ計測を約 150 GPa まで行った.¹⁵⁾ その結果 (図 5), 約 36 GPa で相転移が開始し, その高压相の領域でのユゴニオデータの解析からスピネル型 Si_3N_4 の体積弾性率は 300 ± 10 GPa で, その圧力の 1 次微分は 3 であると決定された. この値は, 最近のダイヤモンドアンビルセルを用いた圧縮曲線から算出された体積弾性率 308 ± 5 GPa¹⁶⁾ とよく一致を示す. この値は, 低压相 α -や β -型 Si_3N_4 の体積弾性率に比べて約 25 % 程大きな値である. これはスピネル型 Si_3N_4 で平均的に見たとき結合が強化されたことになり, 硬質物質の 1 つになることが期待される.

図5 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ のユゴニオ圧縮曲線.¹⁵⁾ (Hugoniot compression curve of $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.) ユゴニオ弾性限界 (HEL), 相転移開始点 (PT) は, それぞれ 16 GPa, 36 GPa と決定された. 等エントピー断熱圧縮曲線はバーチマナガン状態方程式の体積弾性率 300 GPa, その 1 次圧力微分を 3 とし計算したものである.

3.5 理論計算によるスピネル型窒化物

スピネル型 Si_3N_4 が合成できたということが明らかになって, このスピネル型 Si_3N_4 と C_3N_4 に関する構造と物性に関して第 1 原理計算が行われた. その結果,¹⁷⁾ スピネル型 Si_3N_4 は, β 型 Si_3N_4 に比べてその結合性がより共有的になり, かつバンドギャップも小さくなり半導体的になると予想された. イオン半径や原子価から Ti や C でも Ti_3N_4 や C_3N_4 あるいは, それらを含む 3 元系として, CSi_2N_4 などに関する計算結果¹⁸⁾ は, スピネル型 C_3N_4 で体積弾性率が約 370 GPa でバンドギャップが 1.1 eV 程度になることを示している.

これらの結果は, Si_3N_4 をはじめとする窒化物スピネルが物性的にも大変興味ある新規物質¹⁹⁾ である可能性を示していて, 今後の試料づくりからの実験的検討が待たれるところである.

3.6 6 配位 Si について

酸化物中では 6 配位 Si は, ルチル型 SiO_2 (ステショバイト) をはじめとするケイ酸塩中に知られている. これらはいずれも高压状態で安定化される. 6 配位 Si だけからなるペロブスカイト型 MgSiO_3 , イルメナイト型 MgSiO_3 , ホランダイト型 KAlSi_3O_8 , カルシウムフェライト型 NaAlSiO_4 , パイロクロア-型 $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ それと K_2NiF_4 型 Ca_2SiO_4 が上げられる. また 4 配位 Si と共存する 6 配位 Si を含むものとしては, ガーネット $\text{MgSiO}_3(\text{Mg}_4\text{SiSi}_3\text{O}_{12})$ やパイロキシン $\text{NaMg}_{0.5}\text{Si}_{0.5}\text{Si}_2\text{O}_6$, ワデアイト $\text{K}_2\text{Si}_4\text{O}_9$ などがある. リン酸塩中の Si では常圧下でも 6 配位 Si を有する化合物が知られている. これらは, P より Si の方が 6 配

位を選択的に占めるため、 $\text{SiP}_2\text{O}_7(\text{I})$, $\text{Rb}_2\text{SiP}_4\text{O}_{13}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SiP}_4\text{O}_{13}$ などがある。

酸化化物では、サイアロン (Si-Al-O-N) 系やシオン (Si-O-N) 系で通常は SiO_4 , SiO_3 , AlN_4 , AlON_3 , AlO_2N_2 , AlO_3N の 4 面体から成る構造を示して、6 配位の Si は $\text{Ce}_{16}\text{Si}_{15}\text{O}_6\text{N}_{32}^{20)}$ とスピネル型サイアロン $\text{Si}_{6-Z}\text{Al}_2\text{O}_2\text{N}_{8-Z}$ ($0 < Z < 4.2$)²¹⁾ の 2 種類に含まれている。前者は常圧で合成されるが、後者は約 30 GPa の衝撃圧力が必要であることがごく最近明らかになった。

このように 6 配位 Si は、高圧下やごく限られた化合物中でのみ安定化し、めずらしい化合物と考えられる。

4. まとめと展望

窒化物の高圧相は BN や AlN など配位数の増加を伴う相転移が良く知られているが、 Si_3N_4 では約 15 GPa 以上でスピネル構造の高圧相に転移することが明らかになった。この Si は 4 配位と 6 配位とが共存している。このスピネル相は、更に圧力を上げることで次の高圧相に転移すると期待が膨らむ。その最も可能性のある構造として CaTi_2O_4 型あるいはその類似構造がエネルギー的に有利なようである結果を示している。²²⁾ しかし、衝撃圧縮の 150 GPa までの結果では、その可能性の検討に対してまだ圧力が不足していることを示している。

スピネル型 Si_3N_4 の結合はかなり強力であり、共有結合性が大きく、ダイヤモンドや cBN などの代替物質としての性質が期待されている。したがって、今後その物性を明らかにしてその有用性を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究成果は、多くの方々との共同研究として得られたものである。物質・材料研究機構の小林敬道、丹所正孝、木本浩司、泉富士夫、池田拓史、三友護の各氏、STA フェローの賀紅亮博士、京大の田中功助教授およびそのグループ、および岡山大学の神崎正美助教授それぞれに感謝いたします。

文 献

- 1) A. E. Ringwood: *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*, McGraw-Hill (1975).
- 2) A. Zerr, G. Miehe, G. Serghiou, M. Schwarz, E. Kroke, R. Riedel, H. Fueß, P. Kroll and R. Boehler: *Nature* **400**, 340 (1999).
- 3) M. Schwarz, G. Miehe, A. Zerr, E. Kroke, B. T. Poe, H. Fuess and R. Riedel: *Adv. Mater.* **12** [12], 883 (2000).

- 4) T. Sekine, H. He, T. Kobayashi, M. Zhang and F. Xu: *Appl. Phys. Lett.* **76** [25], 3706 (2000).
- 5) J. Z. Jiang, K. Stahl, R. W. Berg, D. J. Frost, T. J. Zhou and P. X. Shi: *Euro. Lett.* **51** [1], 62 (2000).
- 6) G. Serghiou, G. Miehe, O. Tschauner, A. Zerr and R. Boehler: *J. Chem. Phys.* **111** [10], 4659 (1999).
- 7) K. Leinenweber, M. O' Keeffe, M. Somayazulu, H. Hubert, P. F. McMillan and G. H. Wolf: *Chem. Eur. J.* **5** [10], 3076 (1999).
- 8) S. K. Deb, J. Dong, H. Hubert, P. F. McMillan and O. F. Sankey: *Solid. State. Comm.* **114**, 137 (2000).
- 9) H. He, T. Sekine, T. Kobayashi and K. Kimoto: *J. Appl. Phys.* (印刷中).
- 10) N. Scotti, W. Kockelmann, J. Senker, St. Trassel and H. Jacobs: *Z. Anorg. Allg. Chem.* **625**, 1435 (1999).
- 11) M. P. Shemkunas, W. T. Petuskey and G. H. Wolf: *J. Am. Cer. Soc.* (印刷中).
- 12) M. Zhang, H. He, F. F. Xu, T. Sekine, T. Kobayashi and Y. Bando: *J. Appl. Phys.* **88** [5], 3070 (2000).
- 13) I. Tanaka, T. Mizoguchi, T. Sekine, H. He, K. Kimoto, T. Kobayashi, S-Di. Mo and W. Y. Ching: *Appl. Phys. Lett.* **78** [15], 2134 (2001).
- 14) T. Sekine, M. Tansho and M. Kanzaki: *Appl. Phys. Lett.* **78** [20], 3050 (2001).
- 15) H. He, T. Sekine, T. Kobayashi, H. Hirotsaki and I. Suzuki: *Phys. Rev.* **B62** [17], 11412 (2000).
- 16) E. Soignard, M. Somayazulu, J. Dong, O. F. Sankey and P. F. McMillan: *J. Phys. Cond. Matt.* **13**, 557 (2001).
- 17) S. D. Mo, L. Ouyang, W. Y. Ching, I. Tanaka, Y. Koyama and R. Riedel: *Phys. Rev. Lett.* **83** [24], 5046 (1999).
- 18) W. Y. Ching, S-Di. Mo, I. Tanaka and M. Yoshida: *Phys. Rev.* **B63**, 064102-1 (2001).
- 19) W. Y. Ching, S-D. Mo, L. Ouyang, I. Tanaka and M. Yoshida: *Phys. Rev.* **B61** [16], 10609 (2000).
- 20) K. Köllisch and W. Schnick: *Agnew. Chem. Int. Ed.* **38**, 357 (1999).
- 21) T. Sekine, H. He, T. Kobayashi, M. Tansho and K. Kimoto: *Chem. Phys. Lett.* **344**, 395 (2001).
- 22) K. Tatsumi, I. Tanaka, H. Adachi, F. Oba and T. Sekine: *J. Am. Cer. Soc.* (印刷中).

プロフィール

関根利守 Toshimori SEKINE
 独立行政法人 物質・材料研究機構 物質研究所
 Advanced Materials Laboratory, National Institute
 for Materials Science, Tsukuba 305-0044, Japan
 e-mail: SEKINE.Toshimori.nims.go.jp
 最終学歴：1979 年東京工業大学大学院理工学研究科博士過程
 専門分野：超高压下凝縮系の物理化学
 現在の研究テーマ：動的超高压の発生とその物質科学的応用
 趣味：将棋