

金属間化合物シリーズ  
(その2 1, 2, 3頁)

優れた超電導材料を求めて  
——合金から化合物の時代へ——

極低温で電気抵抗が完全にゼロになる超電導状態では、電力を損失せずに大電流を流したり、強磁界を発生できるため、エネルギー、輸送、医療診断、情報など広い分野の新技术に 응용が図られている。この超電導状態は、温度、磁界及び電流密度がそれぞれある臨界値 ( $T_c$ ,  $H_{c2}$ ,  $J_c$ ) を超えると破れてしまうため、実用超電導材料としては、これらの臨界値が高いものほど有利である。

現在はNb-Ti系合金が実用超電導線材の主流になっているが、図に示すように化合物材料は合金材料より格段に高い $T_c$ と $H_{c2}$ をもつため、次第に合金から化合物の時代へと移りつつある。

超電導化合物では、A15型化合物の $T_c$ が最も高く、 $H_{c2}$ も高い。既に実用化されている $Nb_3Sn$ や $V_3Ga$ 、20K(約253℃)以上の $T_c$ と30T(テスラ)以上の $H_{c2}$ をも

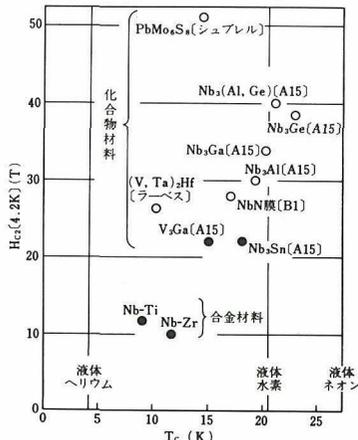


図 主な超電導材料の $T_c$ と液体He温度(4.2K)における $H_{c2}$ 。  
●は実用化された材料。

つ $Nb_3Ge$ ,  $Nb_3Ga$ ,  $Nb_3(Al, Ge)$ などがこの型に属する。A15型に次いで高い $T_c$ をもつB1型化合物には $NbN$ ,  $Nb(N, C)$ などがある。また、 $V_2(Hf, Zr)$ ,  $(V, Ta)_2Hf$ などのラベース型化合物は $H_{c2}$ が高いほか、ひずみや中性子照射による臨界値の劣化が小さい特長をもっている。さらに $PbMo_6S_8$ などのシュブレル型化合物は50T以上の極めて高い $H_{c2}$ を示す。その他、 $LiTi_2O_4$ ,  $Ba(Pb, Bi)O_3$ など多くの興味深い超電導化合物が知られている。

一般に、化合物の $T_c$ や $H_{c2}$ は化学量論組成に近く、結晶の秩序度が良いほど高くなる。一方、化合物材の $J_c$ は結晶粒が細かいほど大きくなり実用上優れている。写真に示した融体急冷法で作製した $Nb_3(Al, Ge)$ 化合物は数10nmの極めて細かい結晶からなり、強磁界中で大きい $J_c$ を示す。

超電導化合物の開発は、明日の新技术の発展のため、また、

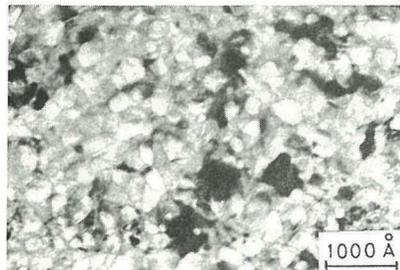


写真 融体急冷法で作製した $Nb_3(Al, Ge)$ 化合物の結晶組織。

NbやVなどのレアメタルの利用面に寄与する点で大きな期待がもたれている。

# 超電導化合物の線材化技術

——実用化の扉を開くかぎ——

超電導化合物は、一般に極めて硬く塑性加工が困難であるため、線材化技術の開発がその実用化のかぎとなる。当研究所では、種々の新しい線材化法を開発し、この分野の進歩に大きな貢献をしてきた。

最初に、VあるいはNb下地テープの表面から連続的にGaあるいはSnを拡散して $V_3Ga$ や $Nb_3Sn$ テープの作製を試みた。その結果、 $V_3Ga$ の場合、普通の拡散では生成が困難であったが、GaにCuを添加すると $V_3Ga$ を生成する触媒的な効果のあることを見だし、その線材化に成功した。この $V_3Ga$ テープを用いて、世界最高の磁界を発生する17.5 T超電導マグネットを製作した。

引き続き、極細多芯形式の化合物線材を作製する複合加工法を發明した。この製法では、図1のように、V(Nb)の芯とCu-Ga(Cu-Sn)合金との複合体を作製し、これを線状に加工したのち熱処理すると $V_3Ga$ ( $Nb_3Sn$ )芯が生成される。図1の複合体を加工後、再び束ねて加工を繰り返すと、数万本に達する直径数 $\mu m$ の化合物芯からなる線材が作製できる。このような極細多芯線を用いたマグネットは、大きい電磁気的な変動が加わっても超電導状態が破れないため、化合物を線材として実用化する上の画期的な技術となった。

ところが $V_3Ga$ や $Nb_3Sn$ をしのぐ高い $T_c$ や $H_{c2}$ をもつ化合物材は、

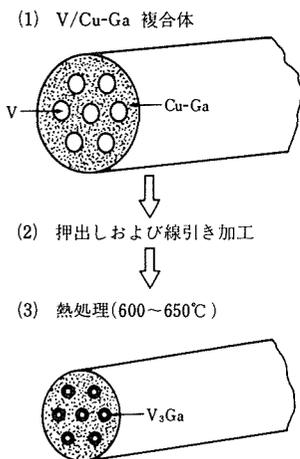


図1 複合加工法による $V_3Ga$ 線材の製造原理。

2に、連続的な融体急冷法による $Nb_3(Al, Ge)$ とCuとの複合テープの作製原理を示した。 $Nb_3(Al, Ge)$ は、30T級の強磁界を発生し得る超電導材料として期待されている。

また、 $T_c$ が高く、液体水素中でも超電導性を示す $Nb_3Ge$ は、種々の蒸着法によって化学量論比に近い組成の化合物として合成される。図3に当研究所で開発中の化学的蒸着法による $Nb_3Ge$ テープの作製原理を示した。これはNbとGeの塩化物ガスを水素で還元して $Nb_3Ge$ を蒸着するもので、蒸着法の中では最も実用に近い製法である。

以上のように、新しい線材化技術の開発は、より高い性能をもつ化合物材料の実用化を可能にし、革新的な飛躍を生ずるものになっている。

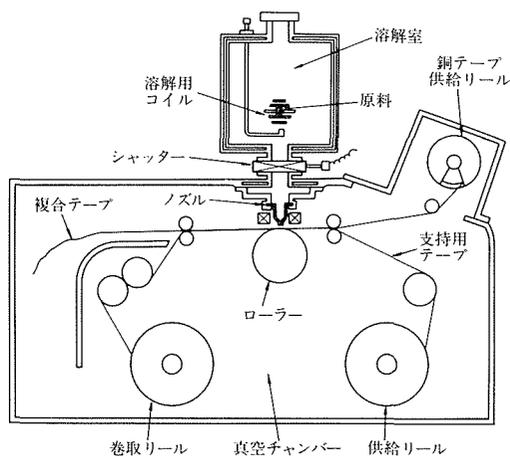


図2 連続融体急冷法による化合物複合テープの製造原理。

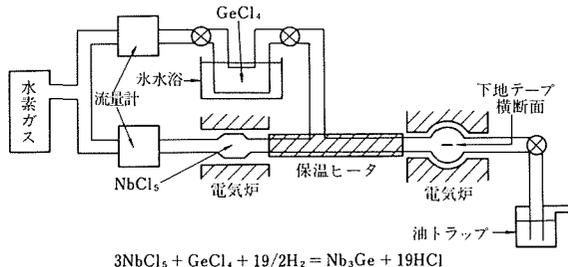
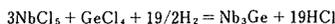


図3 連続化学蒸着法による $Nb_3Ge$ テープの製造原理と反応式。



# 新技術を支える金属間化合物磁性材料

——希土類系化合物を中心に——

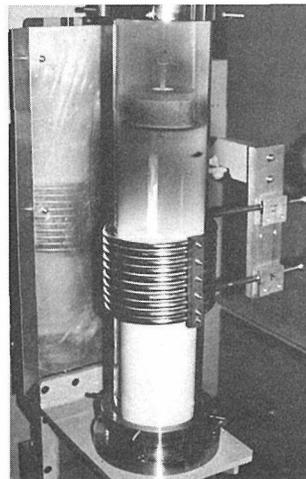
近年、電子工業の急速な発展に伴い、ニーズが多様化し、今までのFe、Coを主成分とした磁性材料とは異なった、種々の機能をもつ磁性体が注目されるようになった。希土類金属は、温度領域によって異なった磁気的な構造をとるために、その磁気的性質が温度により複雑に変化する。室温で強磁性を示すのはGdのみであるが、低温になるとGdよりも原子番号の大きいTb、Dy等は、Fe、Coよりも強い強磁性を示し、また、極めて大きな磁気的な異方性をもつようになる。このような特徴のある磁気的性質を反映して、これら希土類を含む金属間化合物や酸化物は、低温になると、種々の興味ある現象を示し、物性、応用の両面から注目されている。

希土類金属Rと鉄族遷移金属（Fe、Co、Ni等）の間には種々の金属間化合物が存在するが、そのうち $RCo_5$ 、 $R_2Co_{17}$ で示されるCoとの2種類の化合物は従来のアルニコやフェライト磁石等に比べて、格段に強い永久磁石材料として脚光を集めている。これらの化合物では、お互いの原子が磁気的な作用を及ぼし合い、従来の磁性材料とは著しく異なった磁性を示すようになる。

当研究所では、現在までに $SmCo_5$ 、 $GdCo_5$ 、 $SmCo_{3.5}Cu_{1.5}$ 等の単結晶を作製して種々の基礎特性、特に、実用上重要な磁化反転の機構について研究を進めてきた。これらの化合物では、一定の磁界の下で、磁化がゆっくり反転していく顕著な磁気余効が観察される。これは、反転磁区の芽が熱ゆらぎの効果によって磁壁上に生じ、それが磁壁に沿って成長するために起るものである。このような振る舞いは通常の強磁性体では全く認められず、これら化合物の磁壁の幅が非常に狭いことに付随した現象と考えられる。さらに、液体ヘリウム温度近傍の極低温領域において、磁化曲線に突然不連続な跳びが現われたり、保磁力の値が温度によって変化しなくなる等の異常現象が見いだされた。同様の現象は他の希土類を含む強磁性化合物においても観察されており、この種の化合物がもつ特性の多様性の一面を示すもので、今後、その機構の

解明が期待される。

一方、希土類化合物は磁気冷凍用材料としても脚光を浴びている。最近、超電導技術の進歩に伴って極低温利用機器の使用範囲が広がりつつあり、極低温環境を効率良く発生する高性能の冷凍機の開発が強く望まれている。磁気冷凍は、従来の気体の膨張、圧縮を繰り返す冷凍法に比較して、高効率の新しい冷凍法として注目されている。この方法は磁性体の磁気モーメントの整列と乱れに伴う発熱と吸熱を利用するもので、磁気冷凍機の実用化には、磁気モーメントが大きく、比熱が小さく、熱伝導の大きい磁性体（作業物質）の開発がきざとなる。この観点から磁気モーメントの大きいGd、Dyやその化合物が有望と考えられている。現在、当研究所では、液体ヘリウムを作る20K以下の磁気冷凍を対象に、 $Gd_3Ga_5O_{12}$ 、 $Dy_3Al_5O_{12}$ 等の反強磁性ガーネットについて研究を進めている。特に、熱伝導は磁気冷凍機の冷凍サイクルの動作速度を決める重要な因子で、極低温では欠陥の少ない単結晶ほど熱伝導が向上するため、写真に示すような引上げ法によって、大型で良質の単結晶の作製技術の確立を図っている。また、20K以上室温までの広い温度領域の磁気冷凍には、強磁性体のキュリー温度近傍での磁気モーメントの変化を利用するため、キュリー温度の異なった種々の希土類化合物を対象に探索を進めている。



写真説明：引上げ法による磁気冷凍作業物質単結晶（希土類金属ガーネット）の作製。

# 1983年外国人来訪者一覽

○筑波支所

来訪者合計153名

国名	人数	月日	氏名	所属機関		
韓国	32	7. 26	Dr. S. Hong	Oxford Airco Co.		
		8. 31	金鉉斗氏 他3名	韓国機械研究所		
		11. 17	鄭周永氏 他27名	全国経済人連合会		
インド	25	11. 16	Dr. M. Singh 他10名	The India-Japan Study Committee		
		11. 29	Dr. S. Varadarajan 他13名	Indian Science Policy Delegation		
マレーシア	24	1. 26	Dr. M. Mohamad 他20名	Prime Minister of Malaysia		
		3. 25	Mr. B. M. Y. Abdullah 他2名	Standards and Industrial Research Institute of Malaysia		
アメリカ	18	2. 25	Dr. V. R. Arp	National Bureau of Standards		
		3. 24	Prof. R. E. Newnham 他1名	Pennsylvania State University		
		4. 8	Dr. E. Adam	Oxford Airco Co.		
		8. 31	Mr. A. Karim	Instron Asia Limited		
		9. 29	Dr. A. Tauber 他2名	Department of the Army		
		10. 15	Prof. H. I. Aaronson	Carnegie-Mellon University		
		10. 25	Dr. H. I. Mchenry	National Bureau of Standards		
		12. 6	Dr. T. C. Reuther 他7名	Japan-US Workshop Delegates		
		中国	9	3. 18	周榮章氏 他1名	北京鋼鉄学院
				9. 16	余金中氏 他5名	中国科学院
カナダ	8	12. 1	Mr. W. Ellwood 他7名	Arctic Marine Transportation R & D Canadian Mission Delegates		
		2. 9	Dr. P. Poirier	Rhone Poulenc Japan Co.		
フランス	6	6. 29	Mr. R. Latte 他4名	PARIBAS		
		9. 8	趙康造氏 他4名	朝鮮大学校		
北朝鮮	5	3. 24	Dr. W. Kraus 他1名	Ruhr-Universität Bochum		
		4. 12	Prof. Dr. E. Nembach	Universität Münster		
西ドイツ	4	4. 12	Dr. K. H. Schmidt	Bochum Stahlwerke		
		4. 22	Mr. J. Gavour 他2名	Embassy of Italy		
イタリア	3	4. 11	Prof. K. Schwarz 他1名	Vienna Technische Universität		
オーストリア	2	3. 4	Mr. M. Pesevski 他1名	Federal Administration for International Scientific Educational, Cultural and Technical Co-operation		
ユーゴスラビア	2	1. 20	邱紹成 他1名	国立工業材料研究所		
台湾	2	10. 31	Prof. M. G. S. Ferreira	Technical University of Lisbon		
ポルトガル	1	10. 16	Mr. R. Luckman 他11名	電機労連国際代表团		
その他	12					

## ◆短 信◆

### ●人事異動

昭和58年12月31日付

退職 田中 稔 (製錬研究部長)

昭和59年1月1日付

併任 製錬研究部長

吉松史朗 (工業化研究部長)

### ●海外出張

森藤文雄 原子炉材料研究部

核融合炉用高融点金属材料の脆性改善に関する研究のため、昭和59年1月15日から昭和59年4月14日までフランスへ出張した。

通巻302号

編集兼発行人 越 川 隆 光  
印刷 株式会社三 興 印刷  
東京都新宿区信濃町1 2  
電話 東京(03)359-3841(代表)

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所  
東京都目黒区中目黒2丁目3番12号  
電話 東京(03)719-2271(代表)  
郵便番号 153