解説

Review

超高純度金属材料

新藤裕一郎*

Ultra High Purity Materials

Yuichiro Shindo

Synopsis

Ultra high purity materials have developed with the semiconductor material. Furthermore, these materials have attractive characteristics to conventional materials. Ultra high purity materials have been obtained high electrical and thermal conductivity at low temperature, lower hardness, lower softening temperature, lower deformation resistance (high workability), higher Residual Resistivity Ratios (RRR) due to less non-metallic inclusion and voids. These properties have not been recognized in the conventional materials. Ultra high purity materials have been expected to be useful for semiconductor application, MoSi₂ heater, freezing point measurement, analysis standard sample, high temperature application, bonding wire and so on.

1. 緒 言

産業の米といわれている半導体が、重厚長大を代表する材料 Fe から主役の座を奪って久しい。その半導体も高集積化が進むにつれてプロセスの微細化が進み、ナノレベルの世界へ突入しようとしている。また、そこに使用される半導体材料も、Table 1 に示すように変遷してきている。Al から出発し、W, Mo, Ti さらには Co, Cu, Ta など種々の高純度金属材料が使用され、要求されてきた。この高純度金属は、さらにナノテクノロジーという大きな新分野に使用されつつある。ナノレベルの世界では、当然のことながら微量の不純物が悪影響を及ぼすからである。ナノメタラジーは、金属材料の組成、組織、構造などをナノレベルで制御し、新たなナノメタルを創出するようになる。

現在工業的に使用されている金属の性質は、純度 2 N (99 %) から 3 N (99.9 %) の金属材料の特性であり、その特性は不純物により変化した結果であり、その金属そのものの特性を十分に反映しているとはいえない。たとえば、Fe は一般に錆びやすく低温で脆い性質を有すると教えられてきたが、高純度化した Fe は錆びにくく、その耐食性は環境によっては金に匹敵することや、低温 (～ 200 K) はもちろんのこと、極低温 (～ 20 K) でも可塑性を有することなど、これまでの常識から理解できない現象がたびたびと見出されてきている¹⁾。このように超高純度金属材料は、材料の基本である熱力学、物理化学的性質、力学特性などのこれまでの知識を根本的に変える可能性を有している。このことから、各種金属も超高純度化すれば、新たに新世界が開けてくる。

Table 1. Roadmap of semiconductor materials.

Year of production	1970	1976	1982	1985	1988	1992	1995	1998	2000	2002	2005
DRAM	1 K	16 K	256 K	1 M	4 M	16 M	64 M	256 M	1 G	4 G	16 G
Gate materials	Al	Poli-Si	MoSi ₂	WSi ₂		TiSi ₂			CoSi ₂		NiSi
Gate insulator	SiO ₂								SiON		HfSiON
Interconnect	Al		Al-Si/TiN				Al-Cu/TiN		Cu/TaN		

2006 年 7 月 23 日受付

* 日鉱金属(株)電子材料カンパニー磯原工場新素材開発センター (Innovative Materials Development Center Isohara Works Electronic Materials Company Nippon Mining & Metals Co., Ltd.)

本論文では、金属の高純度化方法について簡単に述べ、その金属の特性の一部を超高純度 Cu を中心に報告し、最後に将来の展望について述べる。

2. 高純度金属の製造方法

市販されている金属の純度は、通常 2 N (99 %) ~ 4 N (99.99 %) である。これらの金属を高純度化する場合、大きく分けて湿式精製法と乾式精製法がある。湿式精製法では電解、再結晶、イオン交換、溶媒抽出法などがあり、乾式精製法では蒸留、帯溶融精製、固相電解、真空溶解などがある。必要に応じて、これらの精製法を組み合わせる。主な精製法について Table 2 に簡単にまとめたが、この表で示したものは、ほんの一例に過ぎない。

Cu を例にとって述べると、一般的な高純度化方法は Table 3²⁾ のようになる。電解法の繰返し以外に帯溶融精製を何度も繰返して高純度化する。その中で、最高純度を出しているのが、帯溶融精製の中でも浮遊帯溶融精製法

である。出発原料は、硝酸浴電解精製した RRR=10000 の高純度銅から作製したロッドであり、これを浮遊帯溶融精製法で 9 回精製後真空焼きなましを行っている。この結果、帯溶融のスタート側で RRR=22000 の値を得ており、極めて高純度化されたことが確認できる。帯溶融精製法では、素材の表面清浄、脱ガス、容器材質、雰囲気などが重要となる。ここで、RRR とは残留抵抗比 (Residual Resistivity Ratios : RRR) の略で、温度 293 K と 4.2 K との比抵抗の比であり、純度評価の判定の一つに用いられる。しかし、含有される不純物の種類によって値がある程度左右されるという欠点を有するが、総合的な純度を評価するのに最適であり、RRR が高いほど純度が良いことを表している。ここで、日鉱金属(株) (以下、当社という) で製造している高純度 Cu の不純物分析と RRR 値の一例を Table 4 に示す。不純物分析結果と RRR を示している。不純物分析測定方法は、Glow Discharge Mass Spectrometry (グロー放電質量分析法 : GD-MS) を採用している。GD-MS は、試料

Table 2. Purification process of metal.

	Purification method	Property utilized
Hydro-metallurgical purification	Selective precipitation	Solubility
	Cementation	Electrode potential
	Electro winning Electro refining	Electrode potential
	Ion exchange	Distribution of dissolved ions between phases
	Solvent extraction	Distribution of dissolved ions between phases
Pyro-metallurgical purification	Distillation Sublimation	Vapor pressure
	Zone melting Fractional crystallization	Distribution of atoms between solid and liquid phases
	Electro transport	Ion mobility
	Selective reaction	Reactivity

Table 3. Refining process of Cu.

	Purification process	Purity
1	Re-electro refining (sulphate) → Oxidation melting → 3 rd -electrorefining(nitrate-) → Atmosphere melting Continuous casting	5 N
2	Re-electro refining(sulphate: several pass) → Zone refining(several pass) Re-electro refining(sulphate : several pass) → Vacuum melting → Zone refining(several pass)	>5 N RRR=3000 ~ 6000
3	Re-electro refining(2 pass) → De-sulphurization-zone refining (3 pass)	6 N RRR=900 ~ 1160
4	Refining → Melting → Casting Use of pure water and clean room, clean of circumstance	6 N RRR=4000
5	Re-electro refining(sulphate) → Vacuum casting Re-electro refining (sulphate) → Zone refining(several pass)	5 N RRR=824 7 N RRR=5450
6	Re-electro refining (sulphate) +Electro refining(nitrate:3 pass) → Vacuum melting Continuous casting	7 N
7	Electrolysis → Zone refining(repeat)	8 N
8	Re-electro refining(several pass) → Crucible melting → Floating-zone melting(9 pass)	RRR=22000

Table 4. Typical analysis of several coppers.

Element	Commercial (OFC:4 N)	High purity Cu (6 N)	Ultra high purity Cu (9 N)	Unit
Na	0.01	<0.01	<0.005	ppm
K	0.2	<0.01	<0.01	ppm
U	<0. 1	<0.1	<0.1	ppb
Th	<0. 1	<0.1	<0.1	ppb
Fe	0.15	0.02	<0.001	ppm
Ni	0.02	<0.005	<0.001	ppm
Ag	8	0.2	<0.005	ppm
Cr	<0.01	0.02	<0.005	ppm
S	10	<0.005	<0.005	ppm
As	0.1	<0.005	<0.005	ppm
Sb	0.03	<0.005	<0.005	ppm
Bi	0.02	<0.001	<0.001	ppm
Al	1.5	0.05	<0.001	ppm
C	<10	<1	<1	ppm
O	75	<1	<1	ppm
N	<10	<1	<1	ppm
RRR	100	18000	45000	

Table 5. RRR value of various coppers.

Purity	Reference	NMM
4 N	100 ~ 550	—
6 N	900 ~ 7500	18000
7 N	9500	—
9 N	—	38000 ~ 45000
Highest value (past)	36000	—

をグロー放電により原子化およびイオン化し、イオン化した目的元素を質量分析により定量する方法で、固体のまま直接定量でき、高感度にはほぼ全元素を迅速に測定できる。純度が9 Nになると、全ての不純物元素が分析下限値以下となり、RRRも45000と非常に高い値を示している。各種純度によるRRRの結果を、Table 5^{2)~5)}に示す。市販されている純度4 NレベルのCuは文献によると約100 ~ 550と非常に低く、純度6 Nレベルでは約900 ~ 7500の値を示す。過去において、文献で報告されている値の最高値³⁾は36000である。一方、当社CuのRRRは6 Nで18000であり、9 Nで38000 ~ 45000と非常に高い値となっている。

3. 超高純度金属材料の性質および用途

ここでは、主にCu, Ti, 合金を例にとって報告する。

3. 1 超高純度 Cu

IT技術の進展に伴い、近年、銅に対する要求がより高純度、高強度にと極限化してきている。純銅の中には、比較的高純度品といわれている4 N ~ 5 Nレベルの無酸素銅(Oxygen Free Copper: OFC)や(超)高純度銅と呼ばれて

いる6 N ~ 9 Nレベルの銅がある。ここでは、半導体スパッタリング用Cuターゲットを例に用いて、純度6 Nの高純度銅の特性について説明する。

現在、LSI配線にはAlあるいはAl合金(Al-Cu-Si)が使用されているが、LSI設計寸法の微細化に伴いAlよりも比抵抗の小さな金属が求められている。Table 6は、配線材料の物性を比較したものである。この表で明らかなようにCuはAlよりも比抵抗が小さくかつ融点が高いため、エレクトロマイグレーションにも強いという特性を有している。このような優位性から近年、Cu配線が盛んに使用されている。Cu配線の簡単な模式図を、Fig.1に示す。バリア層(TaN)、Cuシード層、Cu配線の3層構造で形成されており、バリア層およびCuシード層は一般にスパッタリング法によって形成される。Cuシード層に要求される特性として、a)比抵抗が小さいことb)膜に欠陥(パーティクル)がないことなどが挙げられる。

非磁性体である純Cuの電気抵抗 ρ は、Matthiessenの法則から式(1)で表されることが知られている。

$$\rho = \rho_0 + \rho_t \cdots \cdots \cdots (1)$$

Table 6. Physical properties comparison of interconnect metal.

Metal	Melting point (°C)	Resistance (mΩ cm)	Oxidation resistance	Heat rate of expansion (ppm/k)	Self diffusion D_0 (cm ² /s)	Self diffusion E_a (eV)
Al	660	2.6 ~ 3	Good	29	1.7	1.5
Cu	1083	1.68	Bad	17	0.35	2.1
Ag	961	1.62	Fair	19	0.24	1.9
Au	1063	2.38	Good	14	0.091	1.8
W	3410	5.52	Fair	4.6	-	>3

Fig.1. Diagram of Cu conductor interconnect.

Fig.2. Relationship between electrical resistivity and additional elements³⁾.

ここで、 ρ_0 : 残留抵抗, ρ_i : 格子振動に起因する抵抗を表す。 ρ_i は温度に依存する項で物質固有の値を示す。一方、 ρ_0 は原子空孔、転位、不純物などに大きく依存する。Fig.2 に純 Cu の電気抵抗に及ぼす微量不純物の影響を示す⁶⁾。この図より Cu の電気抵抗上昇に O, S, P, Fe などの不純物が大きく寄与することがわかる。したがって、

Fig.3. Resistivity after sputtering⁷⁾.

Cu シード層をスパッタリング法で成膜する際、使用する Cu ターゲットには、上記不純物元素が極力低減されたものが要求される。当社で高純度化した超高純度 Cu ターゲット (6 N) と市販されている純度 5 N レベルの無酸素銅ターゲットを用いて、成膜した Cu 薄膜のシート抵抗を比較した結果を、Fig.3 に示す。なお、用いた OFC ターゲットと高純度 Cu ターゲットの純度は、Table 4 に示している値とほぼ同様である。O, S, Fe 含有量の高い OFC ターゲットを用いて成膜した Cu 薄膜のシート抵抗は 250 mΩ 前後であるのに対し、高純度 Cu ターゲットを用いたものは約 235 mΩ となり、OFC に比較し約 5 ~ 6 % 抵抗値が減少している。高純度 Cu は、不純物元素含有量が少なく、さらに不純物元素による粒界のピンニング効果が少ないため、室温でも粒成長が起きてシート抵抗が低下したと考

えられる。また、低温でも容易に結晶粒径の粗大化が起こるため、エレクトロマイグレーション特性、メッキ下地などに有利に働くという利点もある。

スパッタリングした場合、スパッタリングによる薄膜形成時にパーティクルと呼ばれる欠陥が生じ、この欠陥は半導体の製造歩留りを低下させることがある。Fig.4は、Cu 薄膜上に存在するパーティクル数を、OFC ターゲットと6N Cu ターゲットで比較した結果を示したものである。純度5NのOFC ターゲットを用いた場合のパーティクル数は約40個であるのに対し、純度6Nの高純度Cu ターゲットでは10個以下となり、著しくパーティクル数が減少する⁷⁾。OFC ターゲットのパーティクルが多い理由は、不純物であるO, SのCu中への室温における固溶限が数ppm以下と非常に小さいため、結晶粒界上に偏析した酸化物あるいは硫化物が介在物となって、スパッタリング中に成膜面上に飛来するためであると推察される。

Cu 配線は、Cu シード層をスパッタで成膜した後に電気メッキにより形成される。電気メッキする際、用いられるアノードの純度や液の純度に配線の膜は影響される。例えば、液組成を同一とし、アノードに純度の異なるCuを用いて室温で電気メッキし、その膜を熱処理した場合の結果をFig.5, Fig.6に示す。カソードに電着したCu中の膜の硬さは、メッキ直後は純度によらずほとんど差は見られない。しかし、時間が経過するにつれて、用いたアノードの純度がよいほど硬さは低くなり、9N Cuをアノードに用いた場合が一番低い硬さになっている。また、膜中の不純物を分析した結果、やはり高純度のものを用いたほうが不純物量は低いことも判明している。Fig.6から、膜の硬さは、膜中の不純物含有量の合計量に大きく依存することがわかる。

Fig.4. Comparison of particle number between 5N Cu and 6N Cu.

Fig.5. Relation between hardness of copper plating film and annealing time.

Fig.6. Relation between hardness of copper plating film and impurities.

超高純度 Cu のその他の特性を、次に述べる⁸⁾。

Fig.7 では、熱伝導率の温度変化を純度 4N と 6N で比較している。純度 4N の Cu は 18 K がピークとなり、その時の熱伝導率は $3.1 \times 10^3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ であるが、6N Cu の熱伝導率は 8 K 付近でピークとなり、その値は $3.0 \times 10^4 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ となった。Fig.8 は、等時焼鈍曲線を示しており、 $\Phi 2 \text{ mm}$ まで冷間伸線し、各温度においてアルゴン雰囲気中で 3.6 ks 焼鈍したものの引張強さの変化を示している。6N Cu の半軟化温度は 350 K 程度であり、4N Cu の約 440 K に比べて大幅に低下している。Fig.9 は、6N Cu の極細線の常温における軟化曲線を示している。 $\Phi 25 \mu\text{m}$ の 6N Cu を室温に放置しておく、約 800 ks で軟化したが、4N Cu は変化が認められなかった。Fig.10 は、純度の異なる Cu に In を添加した場合を示しているが、高純度化した Cu は微量の元素を添加するだけで軟化特性に著しい変化を生じて

Fig.7. Thermal conductivity at very low temperature.

Fig.8. Relation between tensile strength and annealing temperature.

Fig.9. Softening curve of ultra-fine wire at room temperature.

Fig.10. Effect of In content on softening temperature.

いる。結晶組織は、不純物量が減少すると粗大化傾向にあり、その一例を Fig.11⁹⁾ に示す。Cu 中の酸素含有量が少なくなると、結晶組織が粗大化していることがわかる。

このように、超高純度 Cu は市販の Cu に比べて、極低温において電気抵抗が小さく、低温での熱伝導率が高くなり、再結晶温度も低く、常温で軟化し、さらに中間温度域での脆性がほとんどなくなる。

以上のことからわかるように、超高純度 Cu の物性をほんの少し調査しただけで新しい特性が次々と出現している。

3. 2 高純度 Ti

工業用の CP-Ti は、酸素含有量が多いため延性などに乏しいが、高純度化すると異なった状況になる。純度 4N5 Ti と 6N Ti を比較した場合、引張速度 10 mm/min、線径 1.0 mm、標点距離 70 mm で行ったものの結果の一例を、Fig.12 に

Fig.11. Grain size dependence on purity and oxygen content.

Fig.12. Change of the elongation by the heat treatment temperature after cold workings.

示す。4N5 Ti は伸びが 923 K において最大となり 31 ~ 47 % であったが、6 N Ti は 873 K において伸びが最大になり 44 ~ 56 % となった。また、破断応力、耐力は 4N5 Ti では

773 ~ 873 K の間で大きく変化し、それ以上の温度範囲では若干の減少が見られた。一方、6N Ti では破断応力、耐力は 573 ~ 673 K の間で大きく変化した。耐食性は、アノード動電位分極曲線で調査すると、6N Ti は自然浸漬電位が高く皮膜形成後の電流値も低いことから、工業用 Ti (CP-Ti) よりも耐食性が高いことがわかる。また、6N Ti は、自然浸漬電位からの電流の立ち上がりは鋭く皮膜形成電位（ここでは電流値が平坦になり始める電位）が卑側にある。このことは、酸化皮膜形成が早いことを示唆している。CP-Ti と 6N Ti の耐食性の違いは、表面酸化膜の緻密さによるものと思われる。

3. 3 合金

単一の金属だけでなく、合金でも変化がある。

東北大学の安彦（金属材料研究所）らは、Cr-Fe 合金について詳細に研究している^{10), 11)}。Cr-Fe 合金において、Cr 量が増加するにつれて耐食性や強度は増加するが、加工硬化や脆化が激しくなるため、現在実用化されているフェライト系ステンレス鋼のクロム含有量は重量比で 30 % が限界である。Fe-Cr の状態図を、Fig.13 に示す。状態図では σ 相が存在しているが、超高純度金属を用いると Cr 含有量 30 % 以上になっても σ 相が現れず、加工可能となり、大幅に高温特性、耐食特性および加工特性が向上した。

形状記憶合金で用いられている Ni-Ti 合金でも、Table 7¹²⁾ に示すように、破断伸びや最大加工減面率の向上が見られる。

4. 超高純度金属の将来展望

超高純度金属材料が、一般金属材料と比較して優れた特性を示すいくつかの例を述べてきたが、ここでは、高純度金属および超高純度金属材料が用いられようとしている分野をいくつか紹介する。

4. 1 セラミックヒーター¹³⁾

高純度粉末も従来から半導体用途に製造されてきたが、別の用途にも用いられようとしている。

セラミックヒーターの一つである MoSi_2 （二珪化モリブテン）ヒーターは、酸化雰囲気中の高温使用ヒーター（最高使用温度 2123 K）としてガラス工業やセラミック焼成の分野で幅広く使用されている。また、金属ヒーターの 10 倍以上の出力密度を有することから急速昇温ヒーターとしても注目されている。通常のヒーター（不純物が多いもの）を用いると、Fig.14 に示すようにペストと呼ばれる粉状化現象が生じ断線が生じる。この原因は、不純物が多いと酸素がヒーターの中に容易に侵入して、Mo と Si の同時酸化が進み、表面に粉状の Mo 酸化物が生じるためである。

Fig.13. Fe-Cr phase diagram.

Table 7. Impurity content, and mechanical properties in Ni-Ti alloy.

	Impurity content (ppm)			Elongation (%)	Reduction on area(%)
	O	C	N		
Conventional	700	350	80	55	45 ~ 50
High purity	400	20	20	75	65 ~ 70

Fig.14. "Pest" on MoSi₂ heater elements.

しかし、高純度品は 773 K で長時間保持してもなんら変化はおきない。これは、表面に緻密な酸化皮膜が形成されているため、容易に酸素が侵入できないためである。また、Fig.15 に示すように、市販のヒーターを石英管の中に入れて 1873 K に通電加熱すると、高温保持中にヒーター表

面から Fe, Na などの不純物が揮発し、石英管内壁に付着してしまう。しかし、高純度ヒーターを用いるとほとんど不純物が揮発しないことが確認された。このように、炉内の雰囲気を汚染しないことにより、クリーンな環境が要求される半導体ウエハの熱処理用途分野での使用が期待されている。

4. 2 記録材料¹⁴⁾

不揮発性メモリーとして有望な MRAM や相変化メモリーは、実現すれば、例えばパソコンで作業中のファイルなどがスイッチの入・切で失われず、切る前の状態から再起できるなど大きな機能を付与することができる。

相変化メモリーの心臓部に当たる相変化材料には、例えば GeSbTe 系や AgInSbTe 系といった書換え可能な CD や DVD の記録材料が検討されている。これは、非晶質と結晶質の間の相変態を熱的に誘導して記録し、これに伴う 1 桁以上の電気的抵抗値変化を読み取るものである。

既にナノレベルに突入している LSI のスケールでの相変化は、微量の不純物の偏析が予想され、これが繰返し記録回数に大きく影響すると考えられる。特に GeSbTe 系は、

Fig.15. SEM photograph of the impurities adhering to the wall of quartz.

モル比で 2:2:5 の定比化合物であり、結晶化の際に結晶粒界などへの不純物の偏析を防ぐための高純度対応が最も重要である。

スパッタリングプロセスにより形成されるこの記録層の純度は、ターゲット材料の純度により決定されるので、高純度ターゲットの製造技術がキーテクノロジーとなる。

4. 3 標準物質試料¹⁵⁾

超高純度金属は、温度測定標準試料としても用いられている。融点直上から冷却していくと固相が出始め、固相と液相が共存して一定の時間一定の値（温度）を示す。高純度になればなるほど、一定の値を示す時間が長時間続く。ところが、純度が悪くなると、なだらかに低下する。Fe-C 合金の例を、Fig.16 に示す。これからわかるように、高純度品は、長時間温度の定点として採用できることを示している。

温度以外にも、転位論の学問分野や極微量の不純物分析用などにも標準物質として用いられようとしている。

4. 4 高温金属材料^{10), 11)}

クロム基鉄合金は、従来製造できないといわれていた Cr 含有量 50 % 以上のものでも、高純度にすると製造可能となる。これらの合金は、現在最高級のニッケルベースのスーパーアロイ、ニッケル基超合金の性能をものぐデータが得られている。ニッケル基超合金は超耐熱性の高強度材料であり、ジェットエンジンやガスタービン発

Fig.16. Dependence on material purities for freezing curves of Fe-C.

電機の中核部材として用いられ、高温の燃焼ガスでタービンを回すタービン翼材料であるが、高純度のクロム基合金はその代替材料として期待されている。

4. 5 IC 用ボンディングワイヤ^{4), 16)}

Si チップとリードフレームを結ぶボンディングワイヤは、主に Au 線が用いられている。この Au 線は、ボンディング速度や信頼性が優れているが高価であることから、たびたび安価な Cu 線への変更が検討されてきた。しかし、問題点が多く一部しか実用化されていなかったが、

ここへきて最近のAu価格の高騰により再び見直されてくるようになった。Cu線は、Au線より変形抵抗が大きいためボール圧着時にSiチップがダメージを受けてしまう。そこで、超高純度Cuを用いると硬さが低下しSiチップのダメージを防げるようになる。しかし、ワイヤのループの安定性に問題もあるため、ドーパントの特性改良も行われている。

4.6 ナノメタル¹⁷⁾

金属材料の微構造をナノスケールで制御することで、今までに無い機能・性能を発現する材料を「ナノメタル」と一般に呼んでいる。

「ナノメタル」の製造方法の一つとして、液相からの急速冷却がある。急速冷却法による制御では、いったん融点以下の大過冷却状態にしておいた上で、結晶相の析出をコントロールする条件がキーテクノロジーとなる。この際に、不純物が大きく影響されるため超高純度金属が必要とされる。そしてこの「大過冷却状態」はナノガラスと呼ばれ、これを安定化するに、①3成分以上の多元素系であること、②各成分の原子径の差が12%以上であること、③元素間化合物の生成が大きな発熱を伴うこと、が必要とされる。この過冷却状態から、当該状態安定性を利用して希望のナノレベル微構造を制御する。

この急速冷却法による金属ガラスやナノメタルを応用して、微細な加工精度を要求される部材・部品や高機能材料が期待される。例えば、航空・宇宙分野におけるTi合金を金属ガラス化することによって強度を2倍にし、大幅な機体軽量化が可能となる。さらには、鍛造の必要も無くなり、製造コストダウンの期待も大きい。

5. 結 言

これまで述べたように、超高純度金属は、半導体からナノテクノロジーの分野まで領域を広げようとしている。現在工業用で用いられている金属は、本来の金属の性質と大きくかけはなれており、さらに純度を上げ超高純度化した場合には、全く異なった新しい物性値が発見され、根本的に世界が変わることが予想される。ナノテクノロジーの開発が進む中、具体的には、量子およびスピントロニクス（ナノエレクトロニクス）、マイクロマシン（MEMS）などから高純度金属の要求が高まる可能性が高い。さらには、ナノメタラジーとしての高純度金属の研究も盛んになりつつある。このような環境の中、当社では、半導体産業で培われた高純度化技術を数多く保有していることから、さらなる金属の高純度化を行い、市場に供給しつつ、あるいは大学などとの提携により金属本来の性

質を見極め、ナノメタラジーの発展の一助になりたいと思っている。

（文 献）

- 1) 高木清一：まてりあ, 33(1994), 6.
- 2) 三宅和彦：日本金属学会会報, 31(1992), 267.
- 3) 石川幸雄, 三村耕司, 一色実：東北大学素材工学研究所彙報, 51(1995), 10.
- 4) 吉田秀昭：金属, 1(1988), 14.
- 5) Akihiko kurosaka, Kazuhiro Tomomatsu and Haruo Tominaga: Fujikura Technical Review, 1992, 51.
- 6) P.Gregory, A.J.Bangay and T.L.Bird: METALLURGIA May, (1965), 207.
- 7) 岡部岳雄：SEAJ Journal, 64(2000), 24.
- 8) 加藤正憲：伸銅技術研究会誌, 35(1996), 28.
- 9) 岩村卓郎：新素材, 5(1991), 49.
- 10) 安彦兼次：別冊日経サイエンス138, 日経サイエンス社, 2002, 52.
- 11) 安彦兼次：源流, 3(2001), 46.
- 12) 相場満, 永井博司, 浅川基男：日本金属学会会報, 31(1992), 541.
- 13) 高村博, 宮下博仁：資源と素材, 121(2005), 176.
- 14) 奥田昌宏：電子材料, 4(2002), 105.
- 15) Bernd Fellmuth, Kenneth D. Hill : Metrologia, 43(2006), 71
- 16) 森暁, 小野敏昭, 内山直樹, 中根守久：高温学会誌, 13(1987)2, 88.
- 17) 長坂宏, 東海林昭, 富永亮, 井上明久：第1回金属ガラス成形加工技術シンポジウム講演集, 1(2004), 87.