

# MATERIALS and PROCESSING



Materials and Processing  
Division Newsletter November 2007

NO.34



日本機械学会  
機械材料・材料加工部門ニュースレター

## 巻頭言



部門活動への期待  
— 特集 金型材料・加工  
技術の新展開に寄せて —

名古屋大学  
大竹 尚登

ゆとり教育が再考されている。円周率は3でも良いと教えるという発想（原則は今なお3.14である）には多くの人が落胆したと思うし、小職もその一人であるが、ゆとりの時間を使って広く物事を見たり、個々の生徒の得意な所をさらに伸ばしたりするという精神には頷ける所がある。残念ながら、時間があつたら子供は遊ぶものであるという当たり前のことを忘れていたので、ゆとりの時間を有効利用出来ず、内容を削っただけの結果になった。「失敗の多くは善意から行動した結果であり、また大多数の人間は見たい物しか見ていない」とはカエサル名言だが、ゆとり教育も残念ながらこの金言を見事に倣ってしまい、詰め込みを防止する動機は良いものの、見たくない「親・子・学校のゆるみ」を見なかった。

では大学ではどうか。我々が忘れてはいけないのは、科学技術はどんどん進歩していて、技術者として社会に出るまでに勉強せねばならないことが間違いなく増えているという事である。機械分野で言えば4力学の資質は当然の如く有し、それに加えてTOEICだ、コンピュータだ、経営も知らないと、とまで言われてしまう。しかも大学入試問題のレベルは昔よりだいぶ下がっているのに、卒業した先の技術は圧倒的に進んでいるのだから、現代の大学生は大変だ。ゆとり教育どころではなく、大学時代に本当に全てをこなすのは困難な状態にあると言って良い。さらに卒業して会社に行けばその場での専門的な仕事内容になるから、どうしても技術者として勉強しきれない部分が残る。

大学教育、大学院教育はこの狭間を埋めることに注力しなければならないが、学会の出来ることもある。本部門で開催している講習会「やりおなし機械材料」は毎回多くの人が集まる人気シリーズになった。この講習会は、小学校から大学に至るまでの教育量の低下と実際の科学技術の進展の間であって、学生時代と研究・製造現場との間を繋ぐ架け橋の役割を果たしているのだと思う。このような社会人を対象とした基礎教育は学会の役割として重要で、本部門としてもさらに力を入れるべき活動方向であろう。

技術における基礎と先端の共通点は、両者とも常に時代から希求されていることにある。基礎養育とともに先端的トピックを扱う分科会・研究会の活性化も本部門にとって重要であろう。当部門は別に専門学会を抱えている会員の方が多く、本部門での活動に躊躇することもあるかと思うが、逆に融合領域のテーマを進めるには適した環境であると思われる。より多くの分科会・研究会が当部門に設置されることを期待したい。発表の出口としても、長岡技術科学大学で開催予定のM&P2007講演会に加えて、2008年には後頁に紹介のあるICM&Pが、2009年にはASMP（アジアM&Pシンポジウム）が予定されている。分科会・研究会を中心に新セッション・融合セッションを立てて内外の講演会を進めて行く姿が望まれる。

さて、今回のニュースレター34号は金型材料・加工技術の新展開を特集したものである。金型は先端技術と製造技能の折混ざった深奥なる世界で、まさに融合領域として代表的なものである。とても金型の潮流の全てをここで総括できる訳ではないが、手法のユニークさから将来技術として注目されている4つの先端的トピックスが取り上げられている。折しも今年度に本学会のアカデミックロードマップが編纂され、当部門は秦委員を中心としてマイクロ・ナノ加工に焦点を絞って提案したところである。マイクロ・ナノ加工を駆使した金型を使った超小型精密部品の大量生産は今後の機械材料・材料加工の目標のひとつに違いなく、本ニュースレターからその息吹を汲み取って頂ければ幸甚である。

## ■特集 金型材料・加工技術の新展開

### □ 特集1 「MAGIC 加工」と「MVP 法」の金型への応用 □

名古屋大学大学院  
工学研究科  
上坂裕之、梅原徳次

#### 1. はじめに

携帯情報機器の民生化が急速に広まるに連れて、プラスチック部品のための成型用金型や、精密金属部品のためのプレス金型の短納期製造プロセスが求められている。その生産性を律速している工程に、金型の磨き工程がある。精密金型は、内面が複雑でかつ細かいため、作業員により手仕上げが行われており、未だ自動化はされていない。一方、梅原らはこれまで磁性流体を用いた様々な高能率研磨法を開発してきた<sup>1)2)</sup>。そこで、砥粒を混合した高分子により創成した磁気凝集流体により、磁気凝集流体砥石を考案し、磁場を印加する事で、砥粒の3次元分布制御が可能となり、2倍の研磨能率と3分の1の表面粗さが得られることを示し、この新しい砥石による金型研磨法を提案した<sup>3)</sup>。この砥石は、砥粒が規則正しく分布していることから、微小ストロークによっても均一に研磨できることが考えられ、複雑形状で研磨において大きなストロークを与えられない金型研磨に最適と考えられる。このように、有効な応用展開が期待できることから、この砥石を磁気配向性複合体 (Magnetic Intelligent Compound) 砥石 (MAGIC 砥石) と名付けた。次の章で本 MAGIC 砥石の原理と特徴を説明する。

また、そのような精密な金型では耐摩耗性を高めるために、DLC 等の耐摩耗性に富む硬質膜をその内面に成膜したい。内面形状への DLC 成膜においてはプラズマ CVD が一般に用いられるが、金型内面の幅が mm サイズになると従来法を用いてプラズマを発生することが難しく、プラズマ CVD 法による硬質皮膜の成膜は困難であった。3 章ではそのような mm サイズの内面へも適用可能な MVP 法という新しい高密度プラズマ生成法を紹介する。

#### 2. MAGIC 加工の原理と特徴

MAGIC 砥石は図 1 に示すような砥粒、磁性粒子及び結合材の複合体である。結合材は、70℃程度で液体となるため、磁場を印加した場合、磁性粒子の分布や配列を制御することができる。もし、磁場勾配を有する磁場である場合、非磁性の砥粒は排出される。この排出力により砥粒の分布が制御できる。また、MAGIC 砥石中の 2 個の磁性粒子同士は、図 2 に示すように、外部磁場方向に最大の吸引力を受け、外部磁場と垂直方向に最大の反発力を受けることとなる。また、もし、磁性粒子が多数個有る場合、磁性粒子は磁場方向に伸びたクラスターを形成することになる。磁場をかけながら MAGIC 砥石を固化させた場合の砥粒の配

列の様子を光学顕微鏡で観察した。水平磁場及び垂直磁場を加えた場合の観察結果を図 3 と図 4 にそれぞれ示す<sup>1)</sup>。図より、磁性粒子が磁場方向にクラスターを形成しながら配列し、かつその間に砥粒が配列する事が分かる。

このように砥粒の分布と配列が制御可能な MAGIC 砥石による金型側面の研磨法を図 5 に示す<sup>1)</sup>。磁性粒子と砥粒を懸濁した樹脂 (磁場配向性複合体と呼ぶ) を液状化温度以上に加熱し、金型の凹部にその液体を流し込み、ハンドルを差し込んだ後に、研磨面である金型側面に垂直方向の磁場を印可しながら室温まで徐冷する。その後、ハンドルに上下方向の微小往復運動を与えることで金型側面が研磨される。その際、加工力は外部よりハンドルを通じて与えられる。この研磨法の長所として、磁場により砥粒が凝集することなく均一に分布しかつ軟質な結合材に支持されているため深いひっかき傷を与えられない事、砥粒が均一に分布しているため微小振動でも均一に研磨できる事、金型凹部に対応した総型砥石が研磨現場で製作できる事、目こぼれした砥粒や結合材を繰り返し使用できるためリサイクル性が良い事及び表面樹脂を溶解することによりドレッシングが容易である事が挙げられる。

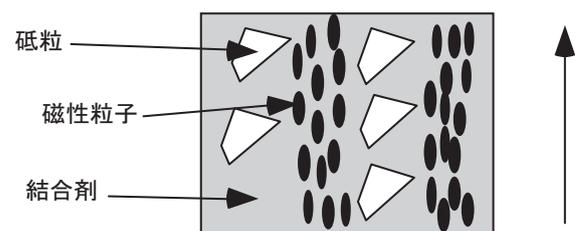


図1 MAGIC 砥石の構成要素

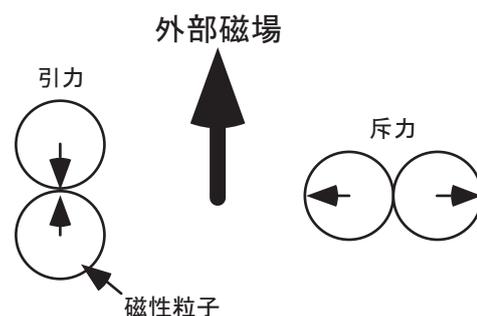


図2 磁性粒子同士の相互作用力



図3 MAGIC 砥石における砥粒分布の様子 (研磨面に垂直方向)<sup>3)</sup>

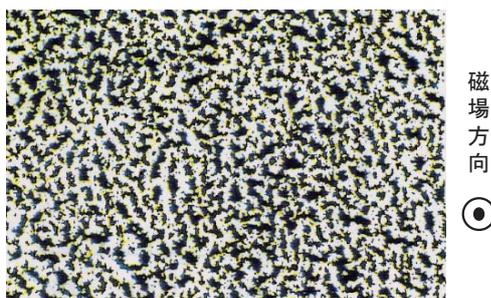


図4 MAGIC 砥石における砥粒分布の様子 (研磨面に水平方向)<sup>3)</sup>

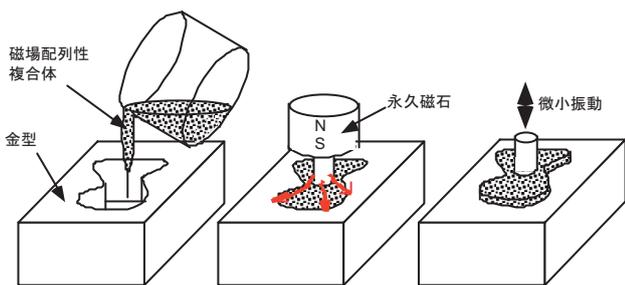


図5 MAGIC 砥石による研磨法の概略<sup>3)</sup>

### 3. MVP 法の原理と特徴

一般に金属面をプラズマ処理する場合、被処理金属に直流や交流の電圧を印加する電圧印加方式によってプラズマ生成を行う。電圧印加方式は、その電子密度が高くて  $10^{10}\text{cm}^{-3}$  程度であるが、被処理金属面が凹凸面、円筒内面等を含む場合好んで使用される。これは電圧印加によって生成されるプラズマは金属面に沿って均一に生成されるため、立体形状を均一に処理するのに適しているからである。しかしながら電圧印加方式には、電子密度の低さに伴う2つの欠点がある。ひとつは比較的処理速度が遅いことである。これゆえ立体面のプラズマ処理において高速化を達成可能な新しい高密度プラズマ生成法の開発が望まれている。もうひとつのより大きな欠点は、電子密度が低いことによって、狭い幅の内面の処理ができないことである。-100V 程度の電圧が印加された円筒内面に  $10^{10}\text{cm}^{-3}$  程度の電子密度のプラズマを生成維持したければ、円筒内径は 1 cm 程度が下限となる。この下限値は電子密度の平方根の逆数に比例するため、 $10^{12}\text{cm}^{-3}$  程度の電子密度のプラズマを用いれば、1mm 程度まで下げることができる。即ちより小さな凹面や内面形状を処理するにはプラズマの高

密度化が必要不可欠である。我々はこのような立体形状処理における電圧印加方式の欠点を改善・解決するために、MVP (Microwave Voltage-combination Plasma) 法という新しいプラズマ生成法を開発した。

図6に示すように、プラズマと誘電体との境界に沿って伝搬する表面波モードの電磁波が知られている<sup>4)</sup>。表面波の存在条件より、2.45 GHz マイクロ波によって生成される表面波励起プラズマの電子密度は、必然的に  $10^{11}\text{cm}^{-3}$  以上の高密度となる。表面波のエネルギーは境界近傍に集中しており、従って表面波を使って誘電性媒質からなる立体形状に沿った高密度プラズマ生成が可能となる<sup>4)</sup>。表面波励起プラズマを導電性媒質に沿って生成できれば、機械部品などの立体・内面形状に沿ってプラズマを生成することができ、大変に有用である。そこで我々は、プラズマと固体との境界に必ず存在するシー層に注目した<sup>4)</sup>。シー層では中性粒子やイオンの密度に比べて電子密度だけが急激に低下する<sup>4)</sup>。マイクロ波の高周波電磁界に応答できるのは電子だけであるから、電子の少ないシー層はマイクロ波に対して真空層と同じような働きをする。すなわち金属とプラズマの境界をマイクロ波の立場から眺めると、シー層という比誘電率 $\sim 1$ の誘電媒質が金属表面をうすく覆っていることになる。このプラズマ-シー層境界には上述の存在条件を満たす表面波が伝搬可能であるが、シー層の厚さが薄い場合は実質的にほとんど伝搬しない。そこで図6のように金属面に負電圧を印加してシー層電位を増大し、それによってシー層幅を拡大すると、実質的に表面波がプラズマ-シー層境界を伝搬可能となり、当該金属面形状に沿って高密度プラズマを生成する<sup>5)</sup>。これが MVP 法におけるプラズマ生成原理である。図7に金属球に沿って高密度プラズマを生成した場合の写真を示す。従来の電圧印加法である DC プラズマを生成した場合は、 $10^9\text{cm}^{-3}$  オーダーの低電子密度プラズマしか得られなかったが、MVP 法によって生成したプラズマは、 $10^{11}\text{cm}^{-3}$  を超える高密度であった<sup>6)</sup>。マイクロ波を金属体外表面ではなく、円筒内面に伝搬させ(図8)、細穴内面の処理を行わせることも可能である<sup>7)</sup>。このとき同条件で電圧印加のみにより DC プラズマを内面に生成することは出来なかった。このように MVP 法は、立体内外面形状に沿った高密度プラズマ生成が可能であり、金型内面のプラズマ処理にも有用

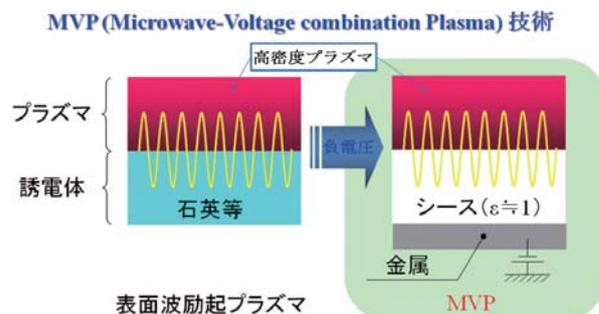


図6 MVP 法の原理と特徴

であると考えられる。現在、金型内面形状に対して MVP 法により窒化や DLC 成膜を施した場合の効果を検証中である。

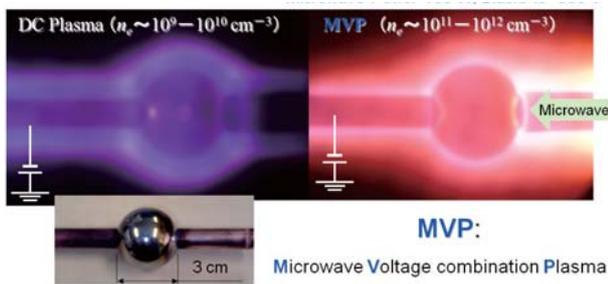


図7 金属球に沿ってのプラズマ生成による DC プラズマと MVP との比較

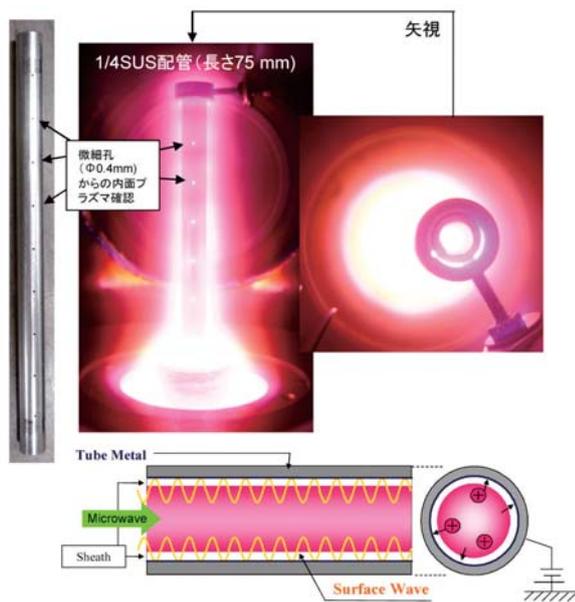


図8 MVP 法による細穴内面プラズマ生成

#### 4. おわりに

精密金型や機械部品は様々な立体形状面を有しているが、その複雑な内面形状を研磨するというニーズがある。そのようなニーズに応える、従来法より高速な研磨法である MAGIC 加工法を紹介した。同様にそのような内面形状をプラズマ処理したいというニーズもある。そのような場合において、従来法では処理困難な細い内面形状での定常プラズマ生成が可能である MVP 法を紹介した。

#### 参考文献

- 1) N. Umehara, Magnetic Fluid Grinding - a New Technique for Finishing Advanced Ceramics, *Annals of CIRP*, Vol.43, 1 (1994), pp.185-188.
- 2) 梅原, 他3名: 磁性流体を用いた局所領域の微小研磨, *精密工学会誌*, 60 1 (1994), pp.1606-1610.
- 3) 梅原, 他3名: MAGIC 砥石の開発とその応用 (第1報, 磁場配列を利用した新しい砥石による研磨法の原理と基本特性), *砥粒加工学会誌*, 46.9 (2001), pp.431-436.
- 4) M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg: *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing* (Wiley-Interscience, New York, 1994) .
- 5) H. Kousaka, et. al., "Microwave-Excited High-Density Plasma Column Sustained along Metal Rod at Negative Voltage": *Jpn. J. Appl. Phys.* 44 (2005), pp. L1154-L1157.
- 6) H. Kousaka, et. al., "Study on the axial uniformity of surface wave-excited plasma column sustained along a metal rod": *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 31 (2006), No. 2, pp. 487-490.
- 7) 上坂 裕之, 他2名, "金属体に沿って伝搬するマイクロ波による高密度プラズマ生成": *真空*, 49 (2006)

## □ 特集2 高精度超硬合金金型の開発 □

京都大学大学院  
エネルギー科学研究科  
馬淵 守

### 1. まえがき

日本の国際競争力が強い産業分野の一つに、材料・加工分野が挙げられる。しかし、この分野は中国などの猛烈な追い上げを受け、現在厳しい競争に立たされている。今後この分野で日本が生き残るためには、高精度化、小型化、高集積化、省エネ化などの高付加価値化が必須であり、またユーザーへの迅速な製品化ソリューションの提案など新しいチャレンジが必要である。そのような新しい技術の開発には金型技術の高度化が不可欠であり、最近金型技術の重要性が認識され直されている。

そのような背景の下、平成14年度から(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構により「精密部材成形用材料創製・加工プロセス技術プロジェクト」<sup>1)</sup>が実施された。この研究開発は、加工性に優れた被加工材の開発、および高性能な超硬合金金型の開発、高精度な加工技術の開発の3つの柱で構成されており、材料創製と加工を一体化した技術の開発が特徴である。特に、高性能な超硬合金金型の開発では、WCの微細粒化が技術開発の核心であった。本解説では、上述のプロジェクトの中で実施された研究開発の内 WC の微細粒化に焦点を絞り、超硬合金金型の高性能化について概

説したい。

## 2. 超合金素材開発

高精密化、微小化等に対応するため、金型の高硬化化が求められる。図1は、10% Co 超合金の硬度と原料 WC 粒径の関係を示したものである。HRA 硬度 95 を達成するには、原料 WC 粒径を 100nm 以下に微細化する必要があることがわかる。図2に、最近開発された超微細 WC 粉末を示す。粉末サイズは約 70nm である。このような超微細 WC 粉末が実用規模で開発されている。図3は、超微細 WC 粉末を用い製造された超合金の組織写真である。従来は、図3 (b) に示された粒径 0.5 $\mu\text{m}$  が微細粒とされてきた。しかし、図2に示したようなナノ WC 粉末を用いることにより、0.1 $\mu\text{m}$  の超微細粒超合金が製造されている。

図4は、WC 粒径と比摩耗量の関係である。WC 微細粒化により、耐摩耗性が向上することがわかる。耐摩耗性のみならず硬度、曲げ・引張強度、疲労強度等の機械的性質も WC 微細粒化により向上することが確かめられている<sup>1)</sup>。以上のように、最近の超合金の高性能化は、WC の微粒化により達成されている。

## 3. 超合金高精密加工技術

上述したように WC 微粒化により超合金の材料特性は向上する。しかし、それにとれない加工が難しくなり、これまで以上に高い加工技術が必要となる。図5は、超微細粒超合金を放電加工した後ラップ加工を施した例である。超合金は、WC 微細粒化にとれない加工変質層の影響が起りやすくなる傾向にある。したがって、放電加工後ラップ加工などにより加工変質層を除去することが必要となる。図5の場合、ラップ加工により加工変質層を除去するとともに、加工精度を $\pm 0.1\mu\text{m}$  以下にすることに成功している。

最近 FIB (Focused Ion Beam) 加工による超微細精密加工が注目を集めている。FIB 加工は、超合金金型の仕上げ加工としても有効である。図6は、FIB により仕上げ加工された超合金金型の例である。加工変質層が完全に除去されるとともに、きわめて平坦な金型表面が得られている。

## 4. あとがき

最近の金型技術への関心が高まるとともに、WC の微粒化等の新しい技術開発がなされ、超合金は今尚進化し続けている。また最近では、タングステンの高騰に伴い、WC は国家的な戦略材料として注目されるようになってきている<sup>2)</sup>。日本の物づくり技術は、高度な金型技術によるところが大きい。今後の材料技術と加工技術の一体化による金型技術の新展開に期待したい。

## 参考文献

- 1) 精密部材成形用材料創製加工プロセス技術プロジェクト, 平成 18 年度成果報告書

- 2) [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/19/07/07071217.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/07/07071217.htm)

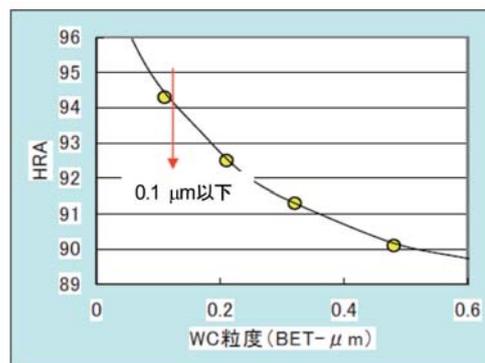


図1 10% Co 超合金の硬度と原料 WC 粒径の関係

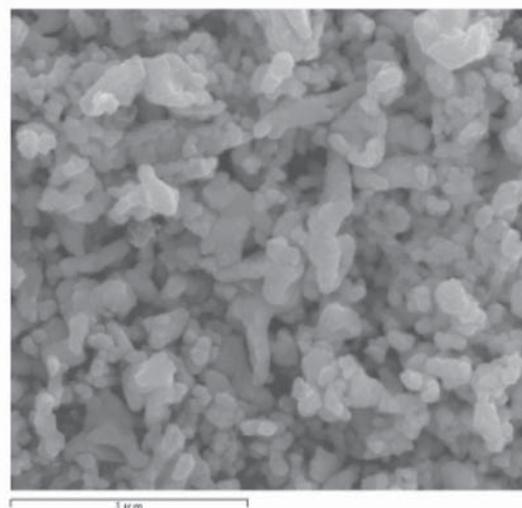


図2 70nm 級の超微細 WC 粉末

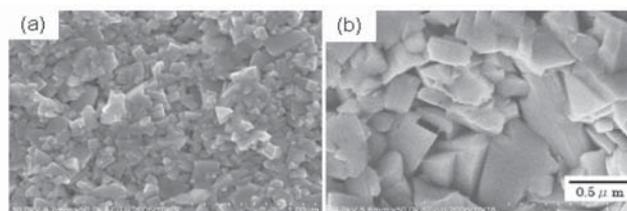


図3 0.1 $\mu\text{m}$  (a) および 0.5 $\mu\text{m}$  (b) 粒径の超微細粒超合金の組織

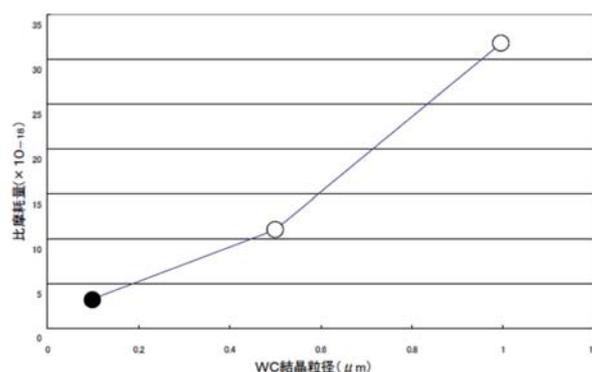


図4 10% Co 超合金における WC 結晶粒径と比摩耗量の関係

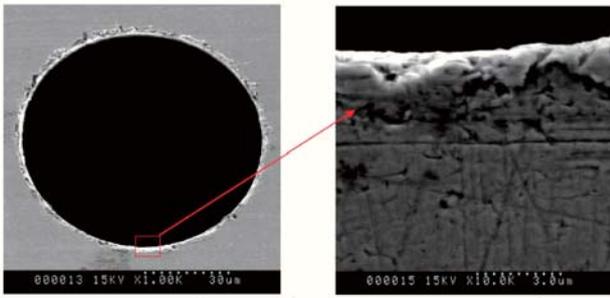


図5 放電加工およびラップ加工により作製した光コネクタ用超硬合金型

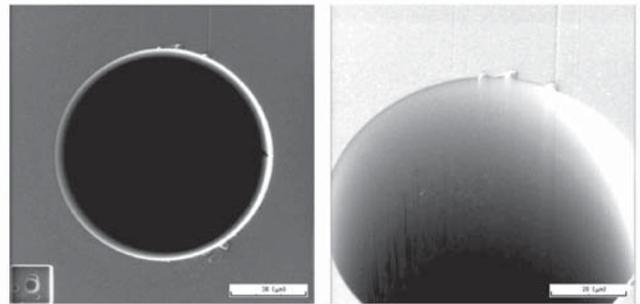


図6 FIBにより仕上げ加工された超硬合金型

□ 特集3 Ti系超塑性合金製マイクロ金型の製造法 □

香川大学  
工学部  
吉村 英徳, 三原 豊

1. まえがき

近年、バイオや光通信の分野で、 $\mu$ -TASや光導波路などマイクロもしくはナノの微細構造デバイスの開発が盛んに行われている。デバイスは半導体プロセス技術により高精度に製造ができるものの、デバイスをポリマー化して、射出成形やエンボス加工による生産性向上やコスト低減化が図られている。しかし、これらのデバイスに必要となる微細金型の製造において、機械加工等では表面精度、形状の制約、コスト、生産性の面で課題があり、適用範囲が制限される。Si等の母型へ微細電析して作られたNiなどのメッキ型が実用化段階にあるが、ガラスやポリマーの種類によっては高温での加工も考慮されるため、適用範囲の広い高強度の微細金型が必要になると思われる。

高強度微細金型として、金属ガラスによる製造も研究されているが、我々はTi系超塑性合金によって実現することを目的にその製造方法の確立を図ってきた。光通信などのデバイスには3次元的な微細構造を付与するだけでなく、高い表面品位を必要とする。そのため、Siのフォトリソ・エッチング技術、スパッタリングによる薄膜形成技術、Tiの超塑性鍛造技術を融合した新しい微細金型製造技術について紹介する。

2. Ti系超塑性合金微細金型製造法

図1に開発したマイクロ金型の工程を示す。本製造法は、フォトリソグラフィおよびエッチング技術による被転写用のSi母型の作製、反応性スパッタリングによる高寿命・高精度・高表面品位の金型のためのTiN/Ti傾斜組成皮膜の形成、Ti系超塑性合金の転写加工によるマイクロ金型の作製という3工程から構成される。

(1) 第1工程・Si母型の作製：まず、ICP-RIE (Inductively Coupled Plasma-Reactive Ion Etching) によるドライエッチングを行い、マイクロデバイスと同じ3次元形状を持つSi母型を作製する。Si基板上にレジストを塗布、露光・

現像してドライエッチングした後、光学的な要求を満たす高精度かつ平滑なSi母型を作るため、熱酸化とウェットエッチングを交互に数回繰り返し、エッチングした面の粗さを10nm以下に仕上げる。

(2) 第2工程・皮膜の形成：硬質皮膜による高転写性と長寿命化を実現するため、表面に硬質のTiNを有し、裏

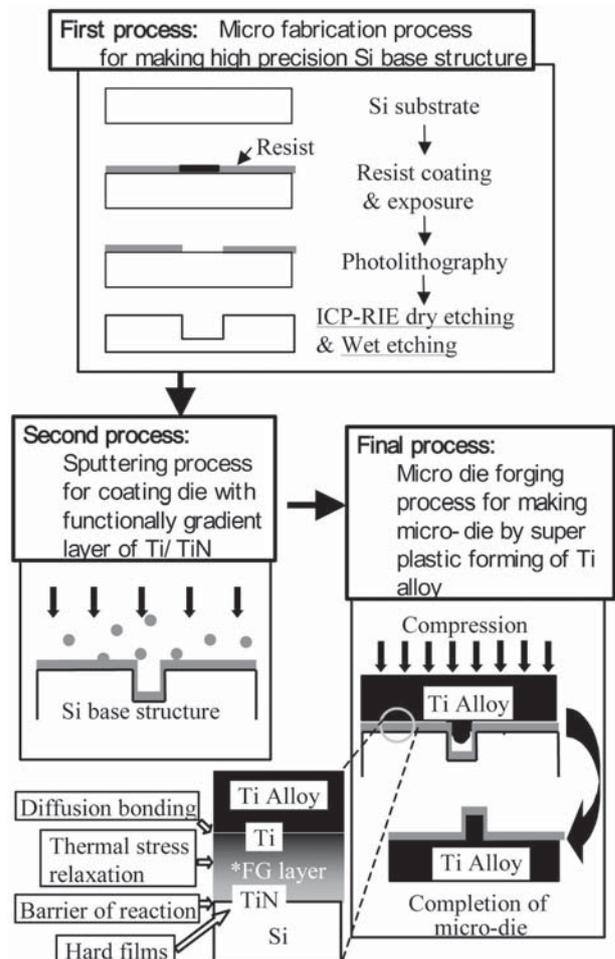


図1 Ti系超塑性合金マイクロ金型の製造技術 (\*FG layer: TiN/Ti 機能性傾斜組成皮膜)

面は Ti となる傾斜組成皮膜を反応性スパッタリングによって形成する。スパッタを 1Pa の真空中で行い、初めはアルゴン：窒素 = 20 : 1.65 の分圧比で窒素を流して第 1 工程後の基板の上に TiN を積層し、その後徐々に窒素分圧を下げ、最終的には窒素分圧を零にして Ti だけの層にすることで傾斜組成皮膜にする。傾斜組成皮膜のメリットを以下に示す。

(i) Si 側に TiN を積層することにより、700 ~ 800℃での長時間の鍛造加工による Si と Ti の拡散接合を防ぐ。離型材は不必要である。

(ii) 鍛造後、Si をはがした金型の表面が硬質な TiN 層となり、金型の長寿命化が図られる。

(iii) 裏面は Ti となり、鍛造による転写加工と同時に、皮膜と Ti 合金が拡散接合される。

(iv) TiN と Ti の二層では各層の熱収縮率が異なるため、スパッタ後室温に冷却されると大きな残留応力が発生し、皮膜が割れたり、皮膜が反って Si からはく離したりするが、徐々に窒素濃度を変化させることで残留応力を小さくでき、割れ・はく離を抑制できる。

(v) Ti 合金の超塑性鍛造による転写では、ナノレベルのような結晶粒サイズ以下の転写は困難であるが、スパッタによる皮膜に Si 母型と同じ表面粗さの面が転写されるため、光学的性能を満足する金型が作製できる。

図 2 のように、傾斜組成皮膜が薄い場合には Ti 合金の変形に伴って、厚い場合には柱状組織が合わさる Si 母型角部での皮膜強度の問題によって、割れやしわなどが発生したり、長時間の鍛造において皮膜の粗大結晶粒化が発生したりするため、50  $\mu$  m の矩形溝や V 字溝での金型製造では TiN 層、傾斜層、Ti 層をそれぞれ 1  $\mu$  m 程度積むのが望ましいという結果が得られている。

(3) 第 3 工程・Ti 合金による転写加工：Ni など従来の金型より高強度な金型を作るため、Ti 合金を用いた超塑性加工によってマイクロ形状を形成する。真空ホットプレスによる超塑性鍛造によって、転写と同時に Ti と傾斜組成皮膜を拡散接合することができる。

転写材として、Ti-4.5% Al-3% V-2% Mo-2% Fe の組成を持ち、他の Ti 系超塑性合金に比べて低い 730 ~ 750℃前後で最大超塑性伸びを示す JFE 製 SP700 を使用する。転写面は、ペーパー研磨した後、過酸化水素水と混合したアルミナ粉末によるバフ研磨をしておく。図 3 に熱間鍛造装置概要および加熱条件を示す。傾斜組成皮膜を挟むように Si 母型と Ti 試験片を重ねて圧縮する。Ti の酸化、窒化を防ぐため、真空引き・アルゴン置換を数度繰り返した後、アルゴン雰囲気下の陽圧下で約 730℃で熱間鍛造する。30 分で昇温、30 分均熱のため保持した後加圧する。このようにして作製された光導波路金型の Y 分岐近傍の SEM 写真を図 4 に示す。

超塑性鍛造のため、鍛造時間は長く、加工面圧力は大きいほど Si 母型への充満度は良いが、皮膜の割れや荒れ、粗大結晶粒化に対しては短時間かつ低圧の方が望ましい。自由鍛造では鍛造時間や加工面圧力は Ti 合金のひずみ速度依

存性によってのみ決まるため、密閉鍛造を適用し、静水圧応力下で圧縮することでこれらを自由に制御できることを確認した。その結果、最適な鍛造条件として約 100MPa、約 200 分での密閉鍛造を行うことで良好な金型の製造が可能となった。

### 3. あとがき

Ti 系超塑性合金微細金型の製造方法について紹介した。複雑な 3 次元形状をもつデバイスに対しては Si 母型角部へのスパッタの可否などの課題が残されているが、最適鍛造条件などを特定し、ほぼ実用化段階にあるといえる。今後エンジニアリングプラスチックの融点以上での樹脂加工やガラスの加工などの試作を行って本金型の有用性を確認していく所存である。

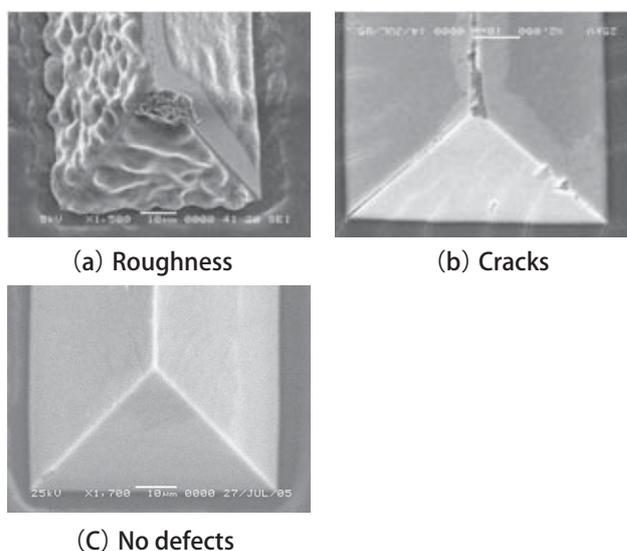


図 2 超塑性鍛造・Si 除去後の金型表面の傾斜組成皮膜の状態

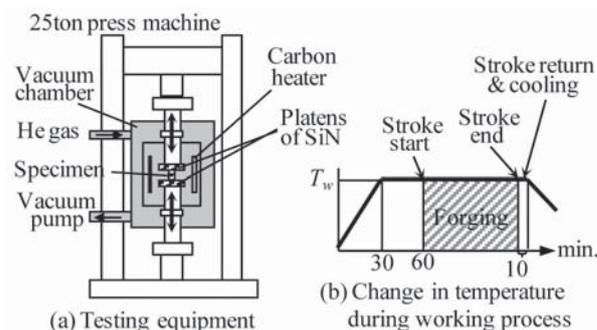


図 3 Ar 雰囲気置換熱間での Ti 超塑性鍛造加工

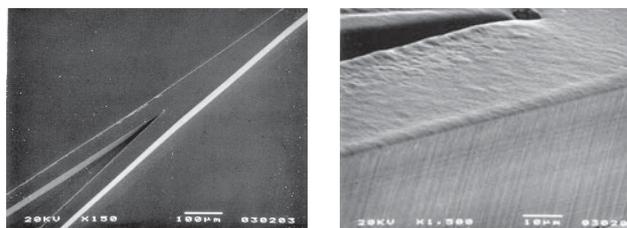


図 4 最適加工条件での矩形溝光導波路金型の Y 分岐近傍の形状

## 参考文献

- 1) 安原鋭幸・加藤和典・今村博史・大竹尚登: 塑性と加工, 43巻 492号 (2002), pp.45-50.
- 2) Becker, H.& Heim, U.: Sensors and Actuators, Vol.83 (2000), pp.130-135.
- 3) 杉山進: 塑性と加工, 44巻 514号 (2003), pp.1079-1082.
- 4) 高橋正春・村越庸一・前田龍太郎・杉本公一: H16 塑加春講論, (2004), pp.375-376.
- 5) Becker, H. & Gärtner, C.: Reviews in Molecular Biotechnology, 82巻 (2001), pp.89-99.
- 6) 早乙女康典: 精密工誌, 69巻 9号 (2003), pp.1221-1225.
- 7) 吉村英徳・大平文和・橋口原・方山智之・林宏樹・三原豊: 電気学会論文誌E, 124巻 4号 (2004), pp.129-135.
- 8) 吉村英徳・方山智之・大平文和・橋口原・池田大輔・三原豊: 塑性と加工, 47巻 540号 (2006), pp.54-58.

## □ 特集4 新しいアモルファス合金のレンズ金型材料への応用 □

東京工業大学  
フロンティア創造共同研究センター  
秦 誠一

## 1. はじめに

アモルファス合金は、多結晶合金に見られる結晶粒の異方性や粒界、偏析による不連続性に、本質的に無縁であり、それゆえ超精密切削加工に適した材料であるといえる。従来からプラスチックレンズの成形金型においては、金型ブランク材表面に電鍍によりアモルファスニッケル合金を成膜し、シングルポイントダイヤモンド切削加工(Single-point diamond machining: SPD)により光学面を創出している。筆者らは、プラスチックレンズ金型のみならず、ガラスレンズ金型へもアモルファス合金を適用するという、挑戦的な試みを行っている。

## 2. プラスチックレンズ金型への薄膜金属ガラスの応用

電鍍ニッケル合金は、低応力な膜質を実現するために、成膜に数日以上必要であり、これを短縮し試作レンズの期間短縮を図る目的で、スパッタ法で50 $\mu\text{m}$ 以上の膜厚を実現できるPd基薄膜金属ガラスの適用を検討している。金属ガラスは、過冷却液体域と呼ばれる温度領域で、酸化物ガラスのように成形可能なアモルファス合金である。図

1にスパッタ成膜により金型ブランクに約70 $\mu\text{m}$ 成膜されたPdCuSi薄膜金属ガラスと、それをSPDMにより回折格子を有するプラスチック成型金型に加工したものを示す。従来の電鍍ニッケル合金に比べ、短期間で製作可能であり、膜内の低応力、機械的強度や切削性といった特性は、同等以上である。現在、この金型は、試作レンズ用金型への応用が進められている。

さらに、従来の切削加工のみならず、金属ガラスの過冷却液体域での軟化を利用した微細・精密成形を用いることで、マスター金型の形状を転写した金型とすることができ、図2にSiで製作した金型を、PdCuSi薄膜金属ガラスに転写した例を示す。この方法では、切削加工による金型ごとの形状誤差が低減され、より複雑で精度の高い金型が容易に製作できる可能性がある。

## 3. ガラスレンズ金型へのアモルファス合金の応用

プラスチックレンズの成形温度は、高々250 $^{\circ}\text{C}$ であり、前述のPdCuSi系合金の耐熱性、耐酸化性でも十分に対応可能であった。しかし、BK7など広く使用されている光学

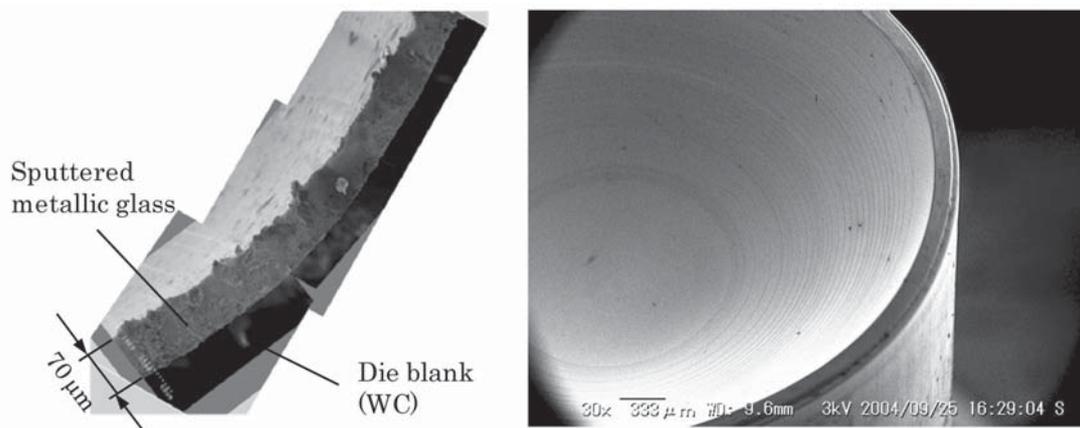


図1 金型ブランク材にスパッタ成膜されたPdCuSi(断面)とSPDMにより製作した回折格子付きプラスチックレンズ金型

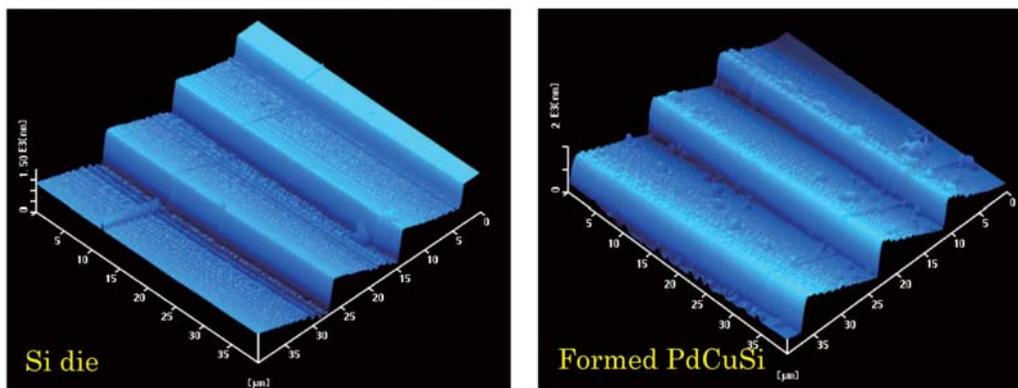


図2 シリコン金型を用いた PdCuSi 薄膜金属ガラスの転写成形

ガラスの成形温度は、550℃以上であり、プラスチックの成形温度の2倍以上である。このため、現在ガラスレンズの成形は、主に、超硬合金、SiC が金型材料として用いられている。これら従来のガラス成形金型材料は、焼結体であり SPDM による回折格子加工などは、極めて困難である。さらに、形状創成後、ガラスとの融着や酸化を防ぐために、保護膜を表面に成膜する必要がある。このため回折格子のエッジを鈍化させ、光学性能の低下を招いてしまう。

そこで、保護膜として用いられている Pt をベースとした新規アモルファス合金を探索した。すなわち、SPDM による回折格子の製作が可能な超精密切削性を有し、ガラス成形時にガラスとの融着、酸化、結晶化を生じず、十分な機械的強度を示すアモルファス合金の探索である。

#### 4. ガラスレンズ金型用アモルファス合金のコンビナトリアル探索

このような新材料を効率的に探索するために、多数のサンプルの集積製作と、その評価を特徴するコンビナトリアル探索を用いた。サンプルの製作には、新規開発したコンビナトリアルアークプラズマ蒸着装置 (Combinatorial arc plasma deposition : CAPD) を用いた<sup>1)~3)</sup>。

図3にCAPDの原理を示す。探索対象の合金構成元素を十分に混合し、その混合比の制御を容易とするために、CAPDでは、アークプラズマガン (Arc plasma gun: APG) を蒸着源として採用している。APGは、蒸着材料をカソードとして、コンデンサに充電した電荷により、アノードカソード間にアーク放電を誘起し、カソード材料をプラズマ化することで、パルス状に放出する。このプラズマを基板下に配置した永久磁石の磁場により基板上に誘導する。このAPGを図3のように三方向に配置し、各APGから一定の順序で成膜を繰り返すことで、異なるカソード材料を基板上で合成する。このような構成とすることで、一つの基板上で組成が連続的に変化した薄膜 (組成傾斜膜) を成膜することができる。

この組成傾斜薄膜を、成膜基板にあらかじめ設けたフォトレジストと銅薄膜からなるグリッド構造を剥離することで、1×1 mm角のサンプルを33×33 (1,089) 個のサンプル (薄膜ライブラリ) とする。図4に、CAPDを用い

て製作した薄膜ライブラリを示す。各サンプルには、ビットパターンにより、アドレスが表記されており、顕微鏡などで一部を拡大しても、どの位置のサンプルであるかを特定することができる。この薄膜ライブラリを用いて、アモルファス合金となる組成範囲などを調査した。

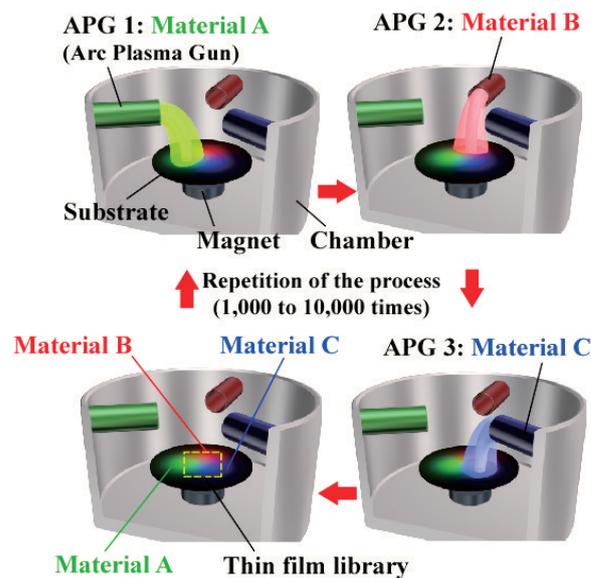


図3 CAPDの原理

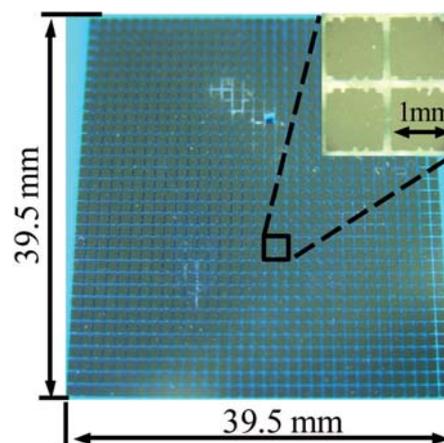


図4 薄膜ライブラリ

CAPDと薄膜ライブラリを用いて、約1年間で、24の合金系、総数25,000個以上のサンプルについて、ガラス成型に使用可能な合金を探索した。その結果、図5に示すPt-Zr-Ni系とPt-Hf-Ni系のPt-rich領域のアモルファス合

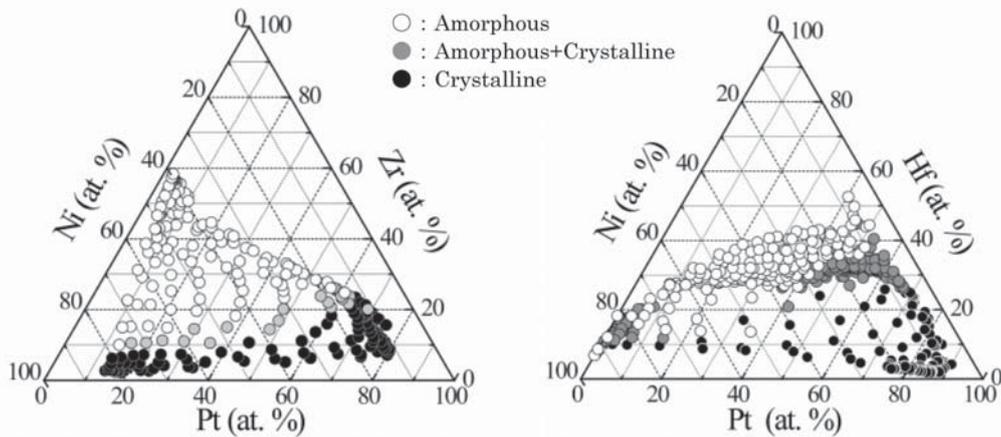


図5 Pt-Zr-Ni系およびPt-Hf-Ni系合金の相分布

金において、ガラスとの融着性や高温での耐酸化性に優れた薄膜がある可能性が見出された。

しかし、Pt-Zr-Ni系は、引張強度が1 GPa以上と優れるが、結晶化開始温度が概ね600℃前後とやや低く、550℃で連続的にガラス成形するためには、やや不十分であった。一方、Pt-Hf-Ni系では、結晶化温度が700℃以上と十分だが、引張強度が0.4 GPa前後と不十分であった。

そこで、図5でのアモルファス合金となる領域を参考としながら、多元同時スパッタ装置を用いて、Pt-Hf-Zr-Niアモルファス合金薄膜を成膜し、Zrの含有量を徐々に増加させて、その引張強度を調査した。その結果、Zrが特定の範囲で、引張強度が特異的に上昇し、Pt<sub>51</sub>Hf<sub>20</sub>Zr<sub>17</sub>Ni<sub>12</sub>において最高強度0.87 GPaを示した。Pt<sub>51</sub>Hf<sub>20</sub>Zr<sub>17</sub>Ni<sub>12</sub>の引張試験結果を図6に示す。

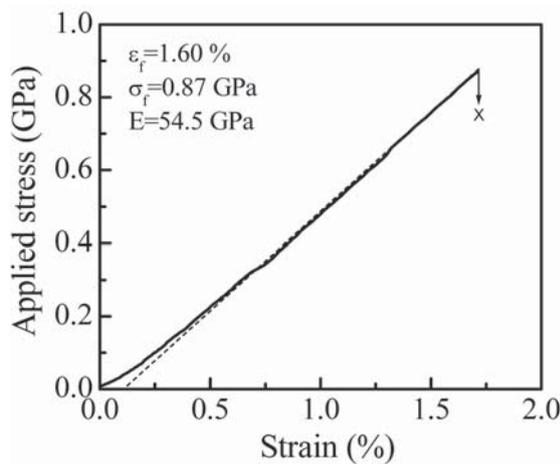


図6 Pt<sub>51</sub>Hf<sub>20</sub>Zr<sub>17</sub>Ni<sub>12</sub> 薄膜アモルファス合金の引張試験結果

さらに、このPt<sub>51</sub>Hf<sub>20</sub>Zr<sub>17</sub>Ni<sub>12</sub>アモルファス合金薄膜の結晶化開始温度やガラスとの融着性、大気中で加熱した場合の耐酸化性を調査した。その結果、結晶化開始温度は、720℃であり、550℃に加熱保持した状態で、溶解したガラス硝材を滴下しても、表面状態に大きな変化や、結晶化、ガラスの融着は見られなかった。また数時間にわたり550℃に加熱保持したにもかかわらず、酸化による外見上

の変化は見られなかった。

上記のように、要求される特性を、ほぼ満たしたPt<sub>51</sub>Hf<sub>20</sub>Zr<sub>17</sub>Ni<sub>12</sub>薄膜アモルファス合金のSPDMによる加工性を評価した。加工条件は、スピンドル回転速度500 rpm、送り速度0.2 mm/min.で、切り込み深さを1 μm/mmで増加させ、テーパ状の断面形状となるように、切り込みを行った。切削結果を図7に示す。図7より、光学顕微鏡の微分干渉観察では、ほとんどツールマークが観察されなかった。干渉計による測定では、表面粗さは5 nm Rzと良好な切削表面が得られた。

最後に、実際のガラス成形機にセット可能な金型ブランク材に、厚さ50 μmスパッタで成膜した後、上記切削条件にて回折格子の加工を行った。製作した回折格子付きガラスレンズ金型を図8に示す。図8のように良好なエッジ形状を有する回折格子を有する金型の製作に成功した。この金型を用いて、実際にBK7のガラス硝材を成形し、回折格子まで正確に成形できることを確認した。

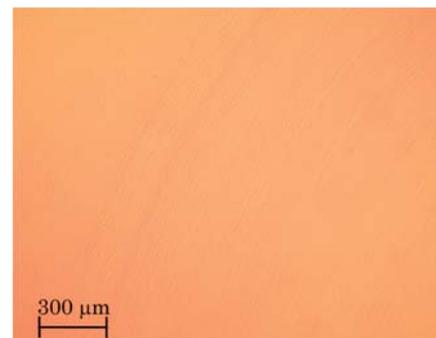


図7 SPDMによる加工表面

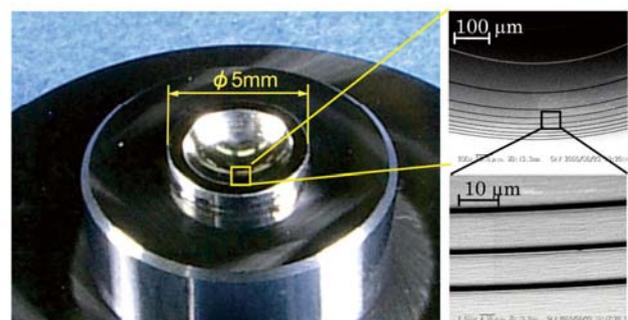


図8 回折格子付きガラスレンズ金型

## 5. おわりに

プラスチックおよびガラスレンズ成形金型へのアモルファス合金の適用について述べた。特に回折格子付の非球面レンズ用の金型として、SPDMが可能なPd基薄膜金属ガラスと、コンビナトリアル探索により見出したPt-Hf-Zr-Ni薄膜アモルファス合金について述べた。

ガラスレンズ成形用のアモルファス合金については、現在、より切削性、耐酸化性の優れた組成の探索を、CAPDおよび新しいコンビナトリアル評価技術の開発と共に進めている。機械屋の筆者としては、新材料の新規開発から実用的な金型の製作まで一貫して行う本テーマは、正に「挑戦的」であるが、挑戦的であるがゆえに、次々に関連する新しい発見や研究テーマが生まれている。このような研究を推進できるのも、共同研究者、共同研究企業、公的研究助成および、学生に恵まれたお陰であり、この場をお借りして御礼申し上げます。

## 謝 辞

本研究の一部は、平成16年度科研費（課題番号16686010）、NEDO新エネルギー・産業技術総合開発機構、

平成17年度大学発事業創出実用化研究開発事業および平成19年度科研費（課題番号19360063）の助成を得て行われた。また、実験の一部は、東京工業大学創造共同研究センター、メカノマイクロプロセス室および精密工学研究所ナノメカトロニクス研究設備にて行われた。

## 参考文献

- 1) Seiichi HATA, Ryusuke YAMAUCHI, Junpei SAKURAI and Akira SHIMOKOHBE, Combinatorial Arc Plasma Deposition of Thin Films, Jpn. J. Appl. Phys., 45,[4A] (2006), pp.2708-2713.
- 2) Ryusuke YAMAUCHI, Seiichi HATA, Junpei SAKURAI and Akira SHIMOKOHBE, Combinatorial Search for Low Resistivity PdCuSi Thin Film Metallic Glass, Jpn. J. Appl. Phys., 45,[7] (2006), pp.5911-5919.
- 3) Junpei Sakurai, Seiichi Hata, Ryusuke Yamauchi and Akira Shimokohbe, Searching for Novel Ru-Based Thin Film Metallic Glass by Combinatorial Arc Plasma Deposition, Jpn. J. Appl. Phys., 46,[4A] (2007), pp.1590-1595.

## 機械材料・材料加工部門「部門賞・一般表彰」公募のお知らせ

機械材料・材料加工部門では、第85期部門賞および部門一般表彰候補を下記の要領で公募します。自薦他薦を問わず奮ってご応募ください。

- \* 公募締切：平成19年12月7日（金）厳守
- \* 推薦書類：日本機械学会・各賞推薦書に準じます。（推薦・申請用紙を部門ホームページよりダウンロードしてお使い下さい。）
- \* 被推薦者資格：各賞とも日本機械学会会員であることが受賞資格となります。
- \* 書類提出先：日本機械学会 機械材料・材料加工部門（担当者 高橋正彦）  
160-0016 東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦館5階  
Fax：03-5390-3508 Email：ymasahiko@jsme.or.jp

推薦された候補者は第3技術委員会で審査され、部門運営委員会で決定します。結果は、今年度中に本人に連絡し、次期（平成20年度）のニュースレターに掲載します。また、受賞者は、2008年度年次大会時に表彰する予定です。

なお、本件に関するご質問・お問合せ等は、第3技術委員会委員長（松尾陽太郎、Tel：03-5734-2521、Email：ymatsuo@ceram.titech.ac.jp）までお願いします。

## 各賞の概要

- (1) 功績賞：機械材料・材料加工分野に関する学術、教育、出版など諸般の活動において、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (2) 業績賞：機械材料・材料加工分野に関する研究または技術開発において、顕著な業績のあった者に授与する。
- (3) 国際賞：機械材料・材料加工分野における学術、教育、出版などに関する国際的な活動を通し、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (4) 部門表彰（優秀講演論文部門）：当該年度に開催された本部門企画、担当、主催または共催の講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、学術・技術の進歩発展に寄与し、特に優秀と認められる論文の著者を対象とする。
- (5) 部門表彰（新技術開発部門）：機械材料・材料加工分野において本部門規格、担当、主催または共催の集会、出版物等において発表された新技術、新製品の開発者中、工業技術の進歩発展に特に貢献した者を対象とする。
- (6) 部門表彰（優秀ポスター発表部門）：当該年度に開催された本部門企画、担当、主催または共催の講演会において発表された機械材料・材料加工分野のポスター発表中、学術・技術の進歩発展に寄与し、特に優秀と認められるポスター発表の著者を対象とする。
- (7) 部門表彰（国際貢献部門）：本部門の交際会議や国際交流に関し、特に優れた貢献のあった者を対象とする。

## 2007 年度機械学会年次大会が終了

年次大会実行委員

羽賀 俊雄 (大阪工大)

2007年9月9日～12日までの4日間、関西大学千里山キャンパスを会場として開催されました。大阪では25年ぶりの開催となりました。記録的な猛暑も一段落し、天候にも恵まれ盛会でした。機械材料・材料加工部門では皆様のご協力で以下の企画を開催することができました。無事修了しましたことをご報告いたします。

### ●オーガナイズドセッション

- ① 複合材料の動向とその加工技術
- ② セラミックスおよびセラミックス系複合材料
- ③ アルミニウム合金およびマグネシウム合金の創製と加工技術
- ④ 粉末成形とその評価
- ⑤ 非破壊評価とモニタリング
- ⑥ バイオマス由来材料の成型加工と特性評価
- ⑦ 塑性加工の動向とその展開
- ⑧ 新機能多孔質材料の創製と評価
- ⑨ 溶接・接合の動向とその展開

- ⑩ 高エネルギー加工
- ⑪ 熔融加工・セミソリッド加工の動向とその展開
- ⑫ 締結・接合部の力学・プロセスと信頼性評価 (材料力学部門, 計算力学部門との共同企画)
- ⑬ 知的材料・構造システム (材料力学部門, 機械力学・計測制御部門, 宇宙工学部門との共同企画)

### ●特別企画

- 基調講演  
「マグネシウム合金の最近の開発動向」  
鎌土重晴 (長岡技科大)
- ワークショップ  
「機械材料としてのマグネシウム合金の新展開」
- 新技術開発レポート  
「マグネシウム合金双ロール鋳造法の実用化開発」  
(権田金属工業株)

### ●一般セッション

## 第3回 ICM&P2008 開催案内

### 3rd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing 2008 (ICM&P2008)

(主催：本会 機械材料・材料加工部門, 共催：米国機械学会)

開催日：2008年10月7日(火)～10日(金)

会場：ノースウェスタン大学  
(米国イリノイ州エバンストン)

シカゴ近郊の明るく広々としたキャンパスで開催されます。今回は米国機械学会の会議 International Manufacturing Science and Engineering Conference (3rd MSEC) と同時開催で、最先端の情報をより多く入手できるものと期待されます。奮って論文投稿ならびにご参加ください。さらに詳しい情報は随時以下の URL を通じてお知らせします。

<http://www.jsme.or.jp/mpd/>



### オーガナイズ・セッション

A 材料・加工：

- 1) 高分子・高分子複合材料
- 2) 金属・金属基複合材料
- 3) セラミックス・セラミックス基複合材料・C/C 複合材
- 4) 塑性加工・材料創製技術
- 5) 鋳造加工・半熔融加工
- 6) 粉末加工
- 7) 溶接・接合
- 8) コーティング・溶射
- 9) 超精密・マイクロ・ナノ加工
- 10) 超塑性加工
- 11) その他の材料・加工 など

B 特性・用途：

- 1) 材料の力学特性と計測技術
- 2) 加工・検査のロボット・知能化
- 3) 接着・界面
- 4) 結合・接触問題と強度評価
- 5) 表面改質および摩耗・摩擦材料
- 6) 多機能・複合機能化材料
- 7) 知的材料・構造,
- 8) 材料の動的特性と構造 (塩谷先生・小川先生記念セッション)
- 9) 非破壊検査技術
- 10) MEMS・NEMS・生体応用
- 11) その他の特性・応用 など

## 日程：

- 1) アブストラクト締切 : 2008年2月1日
- 2) 原稿締切 : 2008年3月30日
- 3) 受理お知らせ : 2008年6月15日
- 4) 著作権と著者登録締切 : 2008年7月15日
- 5) 最終原稿申込 : 2008年8月15日

General Chair：堂田邦明（名古屋工業大学）

事務局：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町  
 名古屋工業大学 つくり領域 北村憲彦,  
 Tel: (052) 735-5351, Fax: (052) 735-5342,  
 E-mail: kitamura.kazuhiko@nitech.ac.jp ;  
 名古屋工業大学 おもひ領域 牧野武彦,  
 Tel & Fax: (052) 735-5367,  
 E-mail: makino.takehiko@nitech.ac.jp

## 2008年度年次大会 in ヨコハマのご案内

## 第1技術委員会（年次大会）

小豆島 明, 川井 謙一（横浜国立大学）

2008年度の年次大会は、2008年8月4日(月)～7日(木)に横浜国立大学（横浜市）で開催されます。講演会の開催期間は8月4日～6日ですが、8月7日（機械の日）には市民開放行事が「機械の日記念行事」とともに横浜市内で開催される予定です。

機械材料・材料加工（M&P）部門では、例年と同様に

- ① 複合材料の動向とその加工技術
- ② セラミックスおよびセラミックス系複合材料
- ③ アルミニウム合金およびマグネシウム合金の創製と加工技術
- ④ 粉末成形とその評価
- ⑤ 非破壊評価とモニタリング
- ⑥ バイオマス由来材料の成形加工と特性評価
- ⑦ 塑性加工の動向とその展開
- ⑧ 新機能多孔質材料の創製と評価
- ⑨ 溶接・接合の動向とその展開
- ⑩ 高エネルギー加工

- ⑪ 溶融加工・セミソリッド加工の動向とその展開
- ⑫ 締結・接合部の力学・プロセスと信頼性評価（材料力学部門、計算力学部門との共同企画）
- ⑬ 知的材料・構造システム（材料力学部門、機械力学・計測制御部門、宇宙工学部門との共同企画）
- ⑭ 粒子付着・成膜プロセスと膜の機械的特性（材料力学部門との共同企画）
- ⑮ 金属材料の疲労特性と破壊機構（材料力学部門との共同企画）
- ⑯ マイクロナノ理工学（情報・知能・精密機器部門、機素潤滑設計部門、生産加工・工作機械部門、機力・計測制御部門との共同企画）

に関するオーガナイズドセッションを企画しています。

2008年度年次大会は、「マイクロ・ナノ」、「エネルギーと環境」、「人材育成と教育」をキーワードとして部門横断型の企画を検討中ですが、講演会、同好会等々、各種の行事にぜひご参加下さるようご案内申し上げます。

## 編集後記

ニュースレター No.34 を、お届けします。特集記事「金型材料・加工技術の新展開」では、短い時間にも関わらず多数の記事をご寄稿頂き、ありがとうございました。大竹先生の巻頭言にあるように、金型技術への新しい息吹を感じて頂ければ幸いです。さらに、今回は新しい巻頭デザインにてお送りしました。部門HPのリニューアルも進んでおり、季節とはうらはらに、新しい息吹満載です。本ニュースレターへのご意見、お問い合わせなどございましたら、広報委員会幹事（秦：shata@pi.nitech.ac.jp）までご連絡ください。

## 発行

発行日 2007年11月1日

〒160-0016 東京都新宿区信濃町35 信濃町煉瓦館

(社) 日本機械学会 機械材料・材料加工部門

第85期部門長 京極 秀樹

広報委員会委員長 品川 一成

Tel. 03-5360-3500 Fax. 03-5360-3508