

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：55501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246015

研究課題名(和文) 超高強度高靱性次世代型金属系ナノ組織構造材料の開発とその変形強化機構の研究

研究課題名(英文) Synthesis of Ultra-High Strength and High Toughness Next-Generation Metallic Structure Materials with Nano Structure and Research of the Deformation and Strengthening Mechanisms

研究代表者

藤田 和孝 (Fujita, Kazutaka)

宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：10156862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,700,000円、(間接経費) 11,010,000円

研究成果の概要(和文)： 超高強度を有する金属ガラス合金(MGA)とナノ結晶合金(NCA)について、超高強度とともに高延性も有するBMGとNCAを開発し、その変形強化機構を検討した。

BMGは過冷却液体の粘度が10の8乗以上でかつ同液体中にナノ準結晶が析出する組成において、引張応力下で約0.3%程度の加工硬化を伴う塑性変形と、それに引続き約0.7%のセレーションを伴い加工軟化する塑性変形の発現に成功した。NCAは電析Cu基板の表面粗さでコントロールされる試験片表面粗さにより、ナノ結晶Ni-14～18at.% W合金の引張強度は約3GPaに達し、0.5～3%の塑性変形発現にも成功した。

研究成果の概要(英文)： On the metallic glassy alloy (MGA) and nanocrystalline alloy (NCA) which show ultra-high strength, the high ductility together with the ultra-high strength were intended. In addition, the deformation and strengthening mechanisms were investigated.

The MGA, that the supercooled liquid viscosity shows more than 10^8 Pa sec and the nano-quasicrystals precipitate in the supercooled liquid, showed work hardening with about 0.3% plastic strain and successively work softening accompanied by clear serrations with about 0.7% plastic strain without decreasing the tensile strength. The NCA showed that tensile strengths in the composition of the Ni 14-18 at.% W were achieved to about 3 GPa with the total strains of 3-5% containing the large plastic strain of about 0.5-3% by the specimen surface roughness controlled by the Cu-substrate roughness.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：金属ガラス ナノ結晶合金 アモルファス合金 引張塑性変形 加工硬化 靱性 熱的構造安定性 フラクトグラフィ

1. 研究開始当初の背景

金属ガラス合金 (MGA) は、高強度結晶合金を上回る高強度新材料である。しかし、機械構造部材としての応用は、引張試験において塑性変形をほとんど示さず脆性的に破断するので、信頼性に欠けると見られ、少ない。しかし、単相 MGA において国外で 1 件、国内では代表者らにより、明確な局所的な引張塑性変形が見いだされたが、いずれも加工軟化を生じている。また複合材でも塑性変形が生じたとする報告があるが、やはり、いずれも加工軟化を示している。

また、高強度なナノ結晶合金 (NCA) も、結晶粒の超微細化により極端に硬質化しており、一般に、塑性変形中の加工硬化は生じない。このため、大きな曲げ変形能を有するナノ結晶材料においても、引張変形中には塑性伸びは殆ど生じず、金属ガラスと同様、局所的なせん断帯を生じて、脆性的に破壊し、これら高強度合金の実用化への大きな障害となっている。

そこで、いずれの合金も実用化には塑性変形性の付与と加工硬化が必要である。

2. 研究の目的

MGA や NCA で生じつつある引張塑性変形について、高速度ビデオカメラを用いて、その場連続観察を行い変形機構を解明するとともに、レーザー顕微鏡、SEM および TEM を用いてマイクロ・ナノ組織と同機構との関係を解明する。さらに両合金において、この解析結果を基に超高強度・高延性の発現が期待されるナノ組織構造の最適化条件を明らかにし、その結果を反映した合金の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 既に一部開発に成功している加工軟化しながら引張塑性変形する MGA およびやや加工硬化しながら塑性変形する NCA について、塑性変形過程を連続観察し、また破断および破断途中を高倍率で観察し、その変形機構を明らかにする。

(2) MGA については、(1)の解析結果から、高強度・高塑性変形が生じやすいガラス遷移温度 (T_g)、結晶化温度 (T_x) および粘度を推定しその組成の探索を行う。NCA については電解浴中の各種イオン濃度の厳密な管理の下で、種々の合金組成のナノ結晶合金を試作し、(1)の解析結果から高強度・高塑性変形が生じやすい電析法独自の網目状ナノ組織構造の形成寸法とその制御方法の探索を行う。

(3) これらの組成の金属ガラス合金とナノ結晶合金を作製し、引張試験を実施して、塑性変形量と加工硬化の程度を測定し、それぞれ最適な超高強度と高靱性を有する両合金の開発を目指す。

4. 研究成果

MGA の引張塑性変形は約 0.02 秒程度で終了

するため、高速度ビデオカメラで引張破壊過程を観察したところ、MGA の塑性変形は一つの貫通したせん断帯 (主せん断帯) が連続的にすべり、せん断帯の厚さを 15nm と仮定した場合、粘度は過冷却液体で測定されている値とほぼ一致した。すなわち、せん断帯のすべりは過冷却液体を介して起こっていると考えられた。そこで、引張試験を粘性値が上がる低温下 (-140) で実施したところ、10% を大幅に超える大きな塑性変形を生じた。試験片表面では常温中と比べて、多くのせん断帯と、さらには複数の主せん断帯が観察された。しかし、依然として加工軟化を示した。

次に、Zr 基 MGA の組成を過共晶 (Zr45at%) から亜共晶 (Zr65at%) まで振って材料を作製し、塑性変形の出やすい低温下で引張試験を実施した。その結果、Zr55~65at% で一部塑性変形が出たが、破面様相は従来の様相と変わらず、Zr 濃度の変化による T_g 、 T_x および粘度の変化だけでは、大幅な延性の増加と加工硬化の発現は難しいことが分かった。

そこで高粘度な亜共晶 (Zr65at%) 組成で、かつナノメートルサイズの準結晶が析出する組成に変え、引張試験を実施したところ、従来材と同様、約 1% の塑性変形が生じ、加工軟化を示したが、従来材ではほとんど生じなかった明瞭なセレーションが多数生じ、より多くのせん断帯の発生・成長・交切を確認した。

そのため、Fig.1 に示すようにさらに高粘度 (約 10^8 Pa sec) でナノメートルサイズの準結晶が析出しガラス形成性に優れた組成の材料 (Zr66.5X3at%) を作製し、引張試験を実施した。

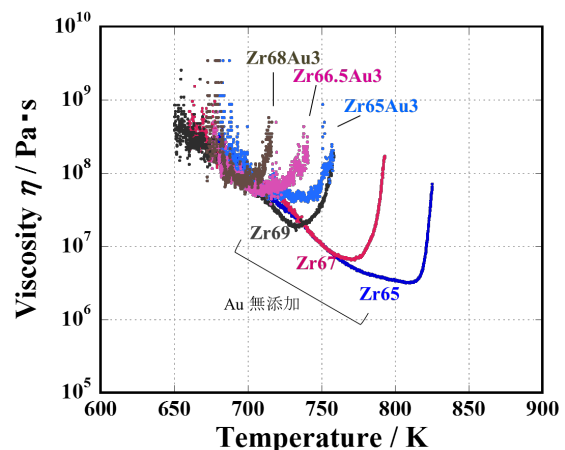


Fig.1 Zr₆₅₋₆₈Cu₁₇₋₁₄Ni₅Al₁₀Au₃ 金属ガラスの過冷却液体粘度の温度依存性

その応力ひずみ線図の代表例を Fig.2 に示す。本材料では約 0.3% 塑性ひずみまで明瞭な加工硬化が生じ、その後、約 1% 塑性ひずみまでは多くの明瞭なセレーションを生じながら加工軟化を示した。0.3% と微小ではあるが、連続的で明らかな加工硬化を初めて生じ、また明らかに比較的大きくすべっては止まることを繰返すことでセレーションが生じ

ていることを確認した。これらのことは、せん断すべりが小さい場合は僅かにすべる間にすべり抵抗が大きくなることを、またセレーションが生じるような大きなすべりを生じた場合もすべり速度を落とすすべりが止まる抵抗を生じたことを示している。このメカニズムは、圧延時に生じたせん断帯中にナノメートルサイズの準結晶の析出を確認しており、主にこれにより、過冷却液体の粘度が維持あるいは急速に上昇したことが推測された。なお、MGAのねじり試験の結果、10%を超える大きなせん断塑性ひずみが生じ、多くのせん断帯の交切が見られたが、加工硬化することはなかった。

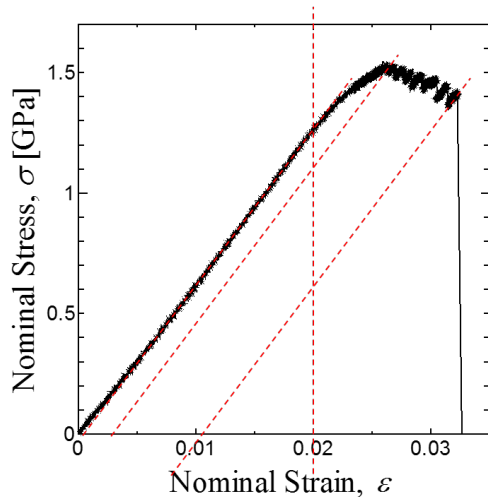


Fig. 2 Zr_{66.5}Au₃ 金属ガラスの公称引張応力ひずみ線図

次にNCAの引張破断面をSEM観察した結果、破面はマクロにはしぼれていたが、ミクロにも数百nmの大きさのディンプルからなり、典型的な延性破壊を示した。ただし、ディンプルの底には核となる介在物等は見られず、従来の結晶合金のディンプル形成機構とは異なり、完全結晶であるナノ結晶内ですべるのではなく、Niの多い網目状をなすナノ結晶粒の境界が関与してすべりが生じ、このようなディンプルが形成されていることも考えられた。ディンプルの大きさは試験片の表面で観察されるNiの多い網目状組織の大きさと概略対応するが、試験片内部ではNiの多い網目状組織は膜厚方向に細長く、ディンプル形状と対応しない。また、ディンプルが生成されるためにはより小刻みに滑ることが必要である。そこで、超高分解能SEMにより、ディンプル破面を観察したところ、Fig. 3で見られるように数nm~20nmの粒状物がディンプル内で観察され、粒状物はアモルファス合金では観察されなかったためナノ結晶であると見られ、すべりは予想通りその境界で生じているように見られた。

Fig. 4に応力ひずみ線図例を示す。約3GPaと高強度を生じたのは、アモルファス相である粒界ですべりを生じたためであり、その粒

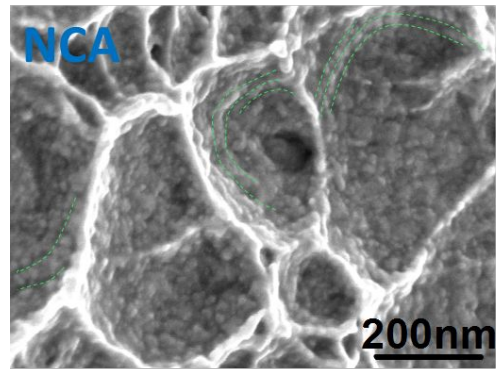


Fig. 3 NCA引張破面上のディンプル

の成長によりすべり抵抗が大きくなって、加工硬化と塑性変形を生じたものと考えられた。組成は、アモルファス中にナノ結晶が分散するNi-14~18at.% W合金において大きい塑性変形が見られた。なおディンプル形成の核は、ナノ結晶自体であることが考えられた。塑性変形機構解析のため、高速度ビデオカメラも用いて塑性変形過程の観察を行った。NCAの塑性変形はNiの多い網目状をなすナノ結晶粒の境界に沿って生じるのではなく、むしろ網目状組織とは無関係に直線的にせん断すべり変形している場合も確認した。塑性変形の大小はむしろ電析Cu基板の表面粗さに起因する表面での応力集中に関係し、これが大きい方が大きい塑性変形が見られた。また、破面近傍のくびれ機構については、発生したせん断帯が交互に切合ったため生じたと考えられた。せん断帯は、破断直前の $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$ 秒間に一方の表面から他方の表面まで断面を直線的に走り、これらの時間内で破断することを確認した。

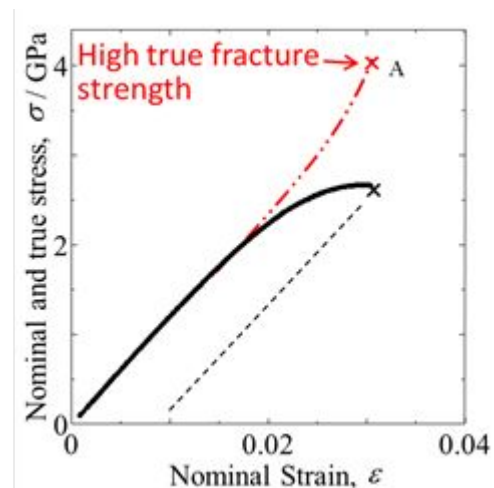


Fig. 4 NCAの公称引張応力ひずみ線図

NCA 粒径と網目状ナノ組織構造の寸法を変えたナノ結晶合金の製作では、酸素が材料の脆化に関係していることから、Ar ガスバブリングを行い、酸素濃度を落としたNCAの開発

を先行させた。その結果、従来、高強度なものは20 μ m厚さまでしか作製できなかったが、50 μ m厚さのものまで作製できるようになった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

Shin-ichi Yamaura and Kazutaka Fujita, “Ultra-High Cycle Fatigue Properties in Zr55Al10Ni5Cu30 Metallic Glassy Alloy Using Ultrasonic Fatigue Testing Machine”, J. Soc. Mater. Sci., Japan, Vol.63, (2014), in press. 査読あり.

Kazutaka Fujita, Kenta Nagaoka, Taiji Suidu, Takayuki Nabeshima, Tohru Yamasaki, “Fatigue Properties in Electrodeposited Nanocrystalline Ni-W Alloy”, J. Japan Inst. Metals, Vol.77, (2013), 192-197. 査読あり.

Doi:10.2320/jinstmet.J2012067

Kazutaka Fujita, Wei Zhang, Baolong Shen, Kenji Amiya, Chaoli L Ma and Nobuyuki Nishiyama, “Fatigue properties in high strength bulk metallic glasses”, Intermetallics, Vol.20, (2012), 12-18. 査読あり.

Doi: 10.1016/j.intermet.2012.03.021

H. Tokunaga, K. Fujita and Y. Yokoyama, “Tensile Plastic Deformation Behavior of Zr70Ni16Cu6Al8 Bulk Metallic Glass at Cryogenic Temperature”, Materials Trans., Vol.53, (2012), 1395-1399. 査読あり.

Doi: 10.2320/matertrans.M201202

Y.Yokoyama, H.Tokunaga, A.R.Yavari, M.Yamada, T.Yamasaki, K.Fujita and A. Inoue, “Viscous flow in sliding shear band formed during tensile deformation”, Intermetallics, Vol.19, (2011), 1683-1687. 査読あり.

Doi: 10.1016/j.intermet.2011.06.017

Hitoo Tokunaga, Kazutaka Fujita, Keito Maehara, Yoshihiko Yokoyama and Akihisa Inoue, “Plastic Deformation Behavior of Zr-Cu-Al Bulk Metallic Glass Matrix Composite”, J. Japan Inst. Metals, Vol.75, (2011), 562-568. 査読あり. <http://www.jim.or.jp/journal/j/pdf3/75/10/562.pdf>

Hitoo Tokunaga, Junpei Koyama, Kazutaka Fujita, Yoshihiko Yokoyama, Tohru Yamasaki and Akihisa Inoue, “Mechanisms of Tensile Plastic Deformation in Zr70Ni16Cu6Al8 Bulk Metallic Glass”, J. Japan Inst. Metals, Vol.75, (2011), 569-574. 査読あり. <http://www.jim.or.jp/journal/j/75/10/569-574.html>

K.Fujita, K.Misumi, W. Zhang and

A.Inoue, “Fatigue Property in Ni-Based Bulk Metallic Glass”, J. Japan Inst. Metals, Vol.75, (2011), 474-478. 査読あり. <http://www.jim.or.jp/journal/j/pdf3/75/09/474.pdf>

Kazutaka Fujita, Taiji Suidu and Tohru Yamasaki, “Tensile Properties in Electrodeposited Nanocrystalline Ni-W alloy”, J. Japan Inst. Metals, Vol.75, (2011), 348-354. 査読あり. <http://www.jim.or.jp/journal/j/75/06/348-354.html>

Hideki Kido, Kazutaka Fujita, Koichi Osaki, Tatsunari Sakurai, and Akihisa Inoue, “Spiral Pattern Formation on Bulk Metallic Glass by Electropolishing”, Chemistry Letters, Vol. 40,(2011), 191-193. 査読あり. <http://dx.doi.org/10.1246/cl.2011.191>

Y.Yokoyama, H.Tokunaga, A.R.Yavari, T.Kawamata, T.Yamasaki, K.Fujita, K. Sugiyama, P.K.Liaw and A.Inoue, “Tough Hypoeutectic Zr-Based Bulk Metallic Glasses”, Metallurgical and Mater Trans A, Vol.42, (2011), 1468-1475. 査読あり. DOI: 10.1007/s11661-011-0631-1

Kazutaka Fujita, Taiji Suidu and Tohru Yamasaki, “High Strength and High Ductility in Electrodeposited Nanocrystalline Ni-W Alloy”, Materials Science Forum, Vols, 654-656, (2010), 1118-1121. 査読あり.

Doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.654-656.1118

Kazutaka Fujita, Yuuhei Kawamura, Shinji Kimura, Hitoo Tokunaga, Yoshihiko Yokoyama, Hidemi Kato and Akihisa Inoue, “Creep Deformation Behavior at Temperature Less than Glass Transition Temperature in Zr-Based Bulk Metallic Glass”, J. Japan Inst. Metals, Vol.74, (2010), 614-621. 査読あり. <http://www.jim.or.jp/journal/j/74/09/614-621.html>

Akinori SHIROTA, Hitoo TOKUNAGA, Kazutaka FUJITA, Yoshihiko YOKOYAMA, Tohru YAMASAKI and Akihisa INOUE, “Effect of Strain Rate on Tensile and Compressive Plastic Deformation of Zr70Ni16Cu6Al8 Bulk Metallic Glass”, J. Soc. Mater. Sci., Japan, Vol.59, (2010), 118-123. 査読あり.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/130000165568>

〔学会発表〕(計 54 件)

Kazutaka Fujita, Masahiro Yamada, Hiroaki Ariyoshi, Yoshihiko Yokoyama, Tohru Yamasaki, “Tensile Plastic

Deformation with Work Hardening and Serrations on High Viscosity Monolithic Zr-based Bulk Metallic Glass”, The 15 International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials (RQ15), Shanghai International Convention Center, Oriental Riverside Hotel, Shanghai, China, 24-28 August, 2014.

Kazutaka Fujita, Makoto Fujishige, Akira Hirata, Hiroyuki Nishikawa and Yoshihiko Yokoyama and Hidemi Kato, “Torsion Behavior in Zr-based Bulk Metallic Glass”, Abstracts of The 10th International Conference on Bulk Metallic Glasses, p.97, Shanghai University, Shanghai, China, June 1-5, 2014.

有吉広明, 山田昌弘, 山崎 徹, 藤田和孝, 横山嘉彦, D. H. Kim, 「Zr-Cu-Ni-Al-Au 系金属ガラスの過冷却液体粘性および塑性変形特性」, 2013 年春期大会 (第 151 回) 日本金属学会講演大会概要, 416 (CD), 東京工業大学大岡山キャンパス, 2004/3/21-3/23.

Shin-ichi Yamaura, Kazutaka Fujita, “Ultrasonic Fatigue of Zr-based Glassy Alloy”, Abstracts of International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'2013), p.667, Rio Hotel, Las Vegas, USA, Dec. 1-6, 2013.

Kazutaka Fujita, Yoshiaki Kihara, Yoshihiko Yokoyama, “Investigation of Torsion Fracture on Zr-based Bulk Metallic Glass”, The 8th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (PRICM-8), Oral, "Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, USA, August 4-9, 2013.

Tohru Yamasaki, Kazutaka Fujita, “Plastic Deformation of High Strength Nanocrystalline Ni-W Alloys”, 8th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (PRICM-8), Oral, "Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, USA, August 4-9, 2013.

K. Fujita, A. Hirata, Y. Yokoyama, “Fatigue properties on torsion in Zr-based bulk metallic glass”, The 20th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM 2013), Oral, The 20th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM 2013), Oral, June 30 - July 5, 2013.

重本北斗, 長岡健太, 藤田和孝, 鍋島隆行, 山崎徹, 「電解析出アモルファス Ni-W 合金の疲労特性」, 2013 年春期大会 (第 151 回) 日本金属学会講演大会概要, P63 (CD), 東京理科大学大神楽坂キャンパス, 2013/3/27-29.

加藤大地 (学), 有吉文彬 (学), 藤田和

孝, 横山嘉彦, 堀史説, 「バルク金属ガラスの繰返し応力下における構造安定性」, 2013 年春期大会 (第 151 回) 日本金属学会講演大会概要, P61 (CD), 東京理科大学大神楽坂キャンパス, 2013/3/27-29.

山田昌弘, 山崎 徹, 藤田和孝, 横山嘉彦, 「Zr65-68Cu17-14Ni5Al10Au3 金属ガラスの圧縮変形特性と熱処理効果」, 2013 年春期大会 (第 151 回) 日本金属学会講演大会概要, 511 (CD), 東京理科大学大神楽坂キャンパス, 2013/3/27-29.

吉田慎二, 山田昌弘, 山崎 徹, 藤田和孝, 横山嘉彦, 「Zr65-68Cu14-17Ni5Al10Au3 系金属ガラスの過冷却液体粘性および圧縮変形特性」, 平成 24 年度秋季大会 (第 110 回講演大会), 立命館大学びわこ・草津キャンパス, 2012・11・20-22.

山崎 徹, 鍋島隆行, 足立大樹, 三浦永理, 藤田和孝, 「ナノ結晶 Ni-W 電析合金の引張変形時の塑性変形挙動」, 日本金属学会 2012 年秋期大会講演概要, S1・8, 愛媛大学城北キャンパス, 2012/09/17-19.

吉田慎二, 神里 良, 山田昌弘, 山崎 徹, 藤田和孝, 横山嘉彦, 「Zr65+xCu17-xNi5Al10Au3(x=0-3)金属ガラスの圧縮変形特性に及ぼす熱処理の影響」, 日本金属学会 2012 年秋期大会講演概要, P97, 愛媛大学城北キャンパス, 2012/09/17-19.

Kazutaka Fujita, Yoshihiko Yokoyama, Hidemi Kato, Satoshi Emura and Koichi Tsuchiya, “Creep in Zr-Based Bulk Metallic Glasses at Temperature Less than Glass Transition Temperature”, Abstracts of 19th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM 2012), OR-82, p.96, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia, June 22th-26th, 2012.

山本卓 (学), 長岡健太 (学), 藤田和孝, 高島佐衣, 山崎 徹, 「電界析出 Ni-W ナノ結晶およびアモルファス合金の引張破壊挙動に及ぼす膜厚の影響」, 2012 年春期大会 (第 150 回) 日本金属学会講演大会概要, p.P69 (CD), 横浜国立大学常盤台キャンパス, 2012/3/28-30.

Tohru Yamasaki and Kazutaka Fujita, “Work Hardening of High Strength Nanocrystalline Ni-W Alloys”, 2012 TMS Annual Meeting & Exhibition, Swan Resort - Swan 1, Orlando, FL, USA, 2012/03/11 - 2012/03/15.

長岡健太 (学), 水津泰士 (学), 藤田和孝, 高島佐衣, 鍋島隆行, 山崎徹, 「ナノ結晶およびアモルファス Ni-W 合金の引張特性」, 日本金属学会 2011 年秋期大会講演概要, p.4, 沖縄コンベンションセンターおよびカルチャーリゾートフェストーネ, 沖縄コンベンションセンターおよびカルチャーリゾートフェストーネ, 2011/11/07-09.

T. Yamasaki, H. Ogino, K. Fujita, Y. Yokoyama and A. Inoue, "Effect of Noble Metal Additions on Viscosity of Supercooled Liquids and Mechanical Properties in Zr-Cu-Ni-al Bulk Metallic Glasses", Abstracts of 14th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials (RQ14), p.35, "Abstracts of 14th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials (RQ14), p.35", Pestana Bahia hotel, Salvador, BA, Brazil, Aug. 28th – Sep. 03th, 2011.

K. Fujita, Y. Kawamura, Y. Yokoyama, H. Kato and A. Inoue, "Deformation Behavior under Constant Load at Temperature Less Than Glass Transition Temperature in Zr-based Bulk Metallic Glasses", Abstracts of 14th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials (RQ14), p.102, Pestana Bahia hotel, Salvador, BA, Brazil, Aug. 28th – Sep. 03th, 2011.

(20) (学)河村祐平、藤田和孝、江村聡、横山嘉彦、加藤秀実、土谷浩一、井上明久、「Zr基バルク金属ガラスのガラス遷移温度以下の低温クリープ変形挙動」、日本金属学会中国四国支部 第51回講演大会 講演概要集, p.63, 岡山理科大学, 2011/8/8-9.

(21) Kazutaka Fujita, Taiji Suidu, Tohru Yamasaki, "TENSILE PROPERTIES IN ELECTRODEPOSITED NANOCRYSTALLINE Ni-W ALLOY WITH HIGH DUCTILITY", Abstracts of International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials(THERMEC), p.315, Quebec City Convention Center, Quebec City, Canada, Aug. 1st – 5th, 2011.

(22) Kazutaka Fujita, Taiji Suidu, Tohru Yamasaki, "Fatigue Properties in Electrodeposited Nanocrystalline Ni-W Alloy", Abstracts of 18th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials, Recinto Ferial de Asturias "Luis Adaro", Gijón, Spain, June 26th- July 1st, 2011.

(23) 藤田和孝, 山崎 徹, 「電解析出ナノ結晶およびアモルファス Ni-W 合金薄膜の引張特性」, 粉体粉末冶金協会 2011 年度春期大会 講演概要, p.47, 早稲田大学国際会議場, 2011/5/30.

(24) J. Koyama, H. Tokunaga, K. Fujita, Y. Yokoyama and A. Inoue, "Tensile Plastic Deformation Behavior and Strain Rate Dependence of of Zr70Ni6Cu6Al8 Bulk Metallic Glass", Abstract of The 8th International Conference on Bulk Metallic Glasses, p.168, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, May 15-19, 2011.

(25) K. Nagaoka, K. Fujita, Taiji Suidu, Tohru Yamasaki, "Tensile Properties in Electrodeposited Nanocrystalline and Amorphous Ni-W Alloy", Abstract of The 8th International Conference on Bulk Metallic Glasses, p.166, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, May 15-19, 2011.

(26) Kazutaka Fujita, Taiji Suidu, Tohru Yamasaki, "High Strength and High Ductility in Electrodeposited Nanocrystalline Ni-W Alloys", Abstracts of the 7th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, p.164, Conference Center, 1-5 August, 2010.

(27) Kazutaka Fujita, Taiji Suidu, Tohru Yamasaki, "Fatigue Properties in High Strength and High Ductility", Abstracts of 17th International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials, p.285, Swiss Federal Institute of Technology(ETH Zurich) Zurich, Switzerland, July 4-9, 2010.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ

<http://u-search.ube-k.ac.jp/tc-data/1179>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

藤田 和孝 (FUJITA Kazutaka)
宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号 : 10156862

(2)研究分担者

山崎 徹 (YAMASAKI Tohru)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 30137252

(3)研究分担者

徳永 仁夫 (TOKUNAGA Hitoo)
宇部工業高等専門学校・機械工学科・準教授
研究者番号 : 70435460

(4)連携研究者

渡邊 大 (WATANABE Dai)
宇部工業高等専門学校・機械工学科・準教授
研究者番号 : 60535912