

現在までの主要な研究内容

大阪大学接合科学研究所

てらじまたけし

寺島岳史 (特任助教)



Key words

大気圧非平衡プラズマ、CVD、表面改質、金属ガラス、非晶質、溶接、異材接合、複合材料、溶射、急冷凝固、組織、レーザ、装置開発

特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点

<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~prj1/>

自己紹介・研究紹介

<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~prj1/terajima/terajima.html>

【研究】

大気圧非平衡プラズマの生成と応用

平成 12～17 年

東京工業大学総合理工学研究科

博士前・後期課程

非平衡プラズマは低温で多量のフリーラジカルを生成するため CVD、エッチング、洗浄などの半導体プロセスに欠かせないツールです。しかし通常は数 torr の減圧下で生成するため真空装置の導入や維持に多額のコストが掛かり、またバッチ処理の制約があるなど運用面で問題がありました。そこで大気解放下でも運用可能な Vacuum-Free のグロー放電発生装置の開発に取り組みました。

電極表面に誘電体を設置して電圧波形に工

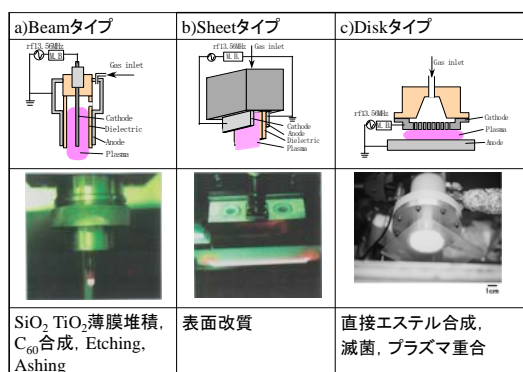


図 1 大気圧非平衡プラズマ発生装置 (3 タイプ) と応用の実施例

夫を加えることで大気圧下でも安定なグロー放電プラズマを生成することに成功しました (図 1)。プラズマ診断の結果、ガス温度は低い (723K) が電子温度は異常に高い (1.5keV) 非平衡プラズマであることが分かりました。これを用いることで条件によっては熱可塑性プラスチックに対するプラズマプロセスを大気解放下で実施することが可能になりました。このプラズマ活性反応場を用いてプラズマ重合、カーボンクラスター(グラファイト、C₆₀ など)の合成、微生物の滅菌などの応用研究を行い、大気圧非平衡プラズマが減圧プラズマと同等かそれ以上の有用性を持つことを証明しました。

(代表的な論文)

- 「Fabrication of carbonaceous thin films and clusters using the low temperature rf plasma generated under atmospheric pressure」
T. Terajima, K. A. Chaudhary, K. Inomata and H. Koinuma, New Diamond and Frontier Carbon Technol., vol.13, 231-244(2003).

金属ガラスの接合・加工

平成 17 年～

大阪大学接合科学研究所 (特任助教)

- 「金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」
- 「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト拠点」

金属ガラス (BMG) とは明瞭な過冷却状態を有し、ガラス形成能が特に高いアモルファス合金の総称です。現在までに数百種類の合金が開発され、最大で約 7.5cm の大きさを持つバルク材の作製が可能になっています。原子配列が不規則で特定のすべり面が無いいため類似する結晶合金と比較して強度、弾性、耐疲労、耐蝕性、水素透過性、軟磁気特性に極めて優れた特性を示します。またガラス転位温度 (≒融点×0.6) 付近で過冷却状態に転移するため、その粘性流動性を利用した成形加工なども可能です。このように金属ガラスは従来の結晶合金には無い多くの優れた特性を持つため新たな産業応用が検討されています。実際に構造材料、水素分離膜、磁気ヘッド、生体材料分野では実用化に向けた研究が進行中です。

現在金属ガラスの研究は基礎から実用化ステージに移行しつつあり、接合を始めとする加工技術の確立が求められています。その中でも

金属ガラスの接合は特に困難であり、もし継手の冷却速度が臨界値を下回ると直ちに結晶化して本来の特性が失われます。また異種材料との接合では元素拡散による結晶化誘発や膨張係数ミスマッチによる残留応力などの問題があります。

そこで私は金属ガラスの実用化を見据えた加工プロセス（接合、コーティング、表面改質など）や組織制御に重点を置き研究を行ってきました。以下に主な成果を挙げます。

【金属ガラスのファイバーレーザー溶接】

継手の冷却速度を向上するには入熱量を最小限に抑える必要があります。そこで着目したのが電子ビーム溶接に匹敵するエネルギー密度(数 MW/cm²)を備えたファイバーレーザーです。Zr₅₅Al₁₀Ni₅Cu₃₀ 金属ガラスをファイバーレーザー溶接した結果、継手を結晶化させることなく超高速ビードオンプレート溶接(秒速 72m)することに成功しました。

更にレーザーを物質に照射した際に発生する表面衝撃を利用して、金属ガラスとプラスチックを接着剤を使わずに直接接合するレーザー溶接法を開発しました。

・ 「Laser Butt Welding of The Mg-Based Metallic Glass」

T. Terajima, K. Nakata, H. Kimura and A. Inoue, Ceramics Trans., vol. 219, 55-60 (2010) [論文目録 5]

・ 「High-power fiber laser welding and its application to metallic glass Zr₅₅Al₁₀Ni₅Cu₃₀」

Y. Kawahito, T. Terajima, H. Kimura, T. Kuroda, K. Nakata, S. Katayama and A. Inoue, Mater. Sci. Eng. B, vol.B148, 105-109(2008).

・ 「Laser Direct Joining of Glassy Metal Zr₅₅Al₁₀Ni₅Cu₃₀ to Engineering Plastic Polyethylene Terephthalate」

Y. Kawahito, Y. Niwa, T. Terajima and S. Katayama, Mater. Trans., vol.51, 1433-1436 (2010).

【金属ガラス複合材料】

Zr 基金属ガラスは高強度であるが、破断まで弾性的に変形するため構造材料として利用するには必ずしも適当ではありませんでした。そこで機械的性質の改変を目的として W 微粉末を分散した Zr 基金属ガラス複合材料を開発しました(図 2)。その結果 W 微粉末を 8.7vol% 添加すると圧縮に対して塑性歪みが 1.3% 現れ、破断強度は 1480MPa から 1870MPa に向上しました。分散した W 微粉末が亀裂伝播のシェアバ

ンドを末端させる働きをするため、機械特性が改変することを明らかにしました。

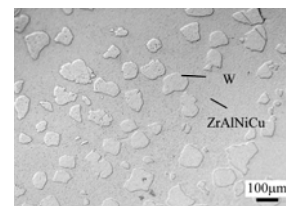


図 2 W / Zr 基金属ガラス複合材料の断面組織

・ 「Development of W-reinforced Zr-based metallic glass」

T. Terajima, K. Nakata, H. Kimura and A. Inoue, Mater. Trans., vol.50, 1322-1325(2009).

【高速フレイム溶射を用いた複合金属ガラス皮膜の作製】

高速フレイム溶射法を用いて Fe 基金属ガラス溶射皮膜(Fe₄₃Cr₁₆Mo₁₆C₁₅B₁₀)を作製しました。ガラス転位温度に加熱した Fe 基金属ガラス粉末を超音速で基板に吹き付けることで、その衝撃と過冷却状態の粘性流動性により緻密な金属ガラス皮膜を得ることに成功しました。更に WC/12Co サーメット粉末を混合することで、WC/12Co-Fe 基金属ガラス複合溶射皮膜を得ることができました(図 3)。金属ガラス特有の耐食性に WC/12Co 特有の硬さと耐摩耗性を付加するコーティングを開発しました。

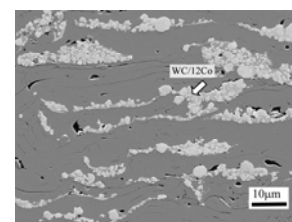


図 3 WC/12Co-Fe 基金属ガラス複合溶射皮膜

・ 「Composite Coating Containing WC/12Co Cermet - Fe-based Metallic Glass Deposited by High-Velocity Oxygen Fuel Spraying」

T. Terajima, F. Takeuchi, K. Nakata, S. Adachi, K. Nakashima and T. Igarashi, J. Alloys Compd., vol. 504S, S288-S291 (2010).

【金属ガラス表面の Cu メタライズ】

Cu₃₆Zr₄₈Al₈Ag₈ 金属ガラスは表面に均質な酸化被膜を形成するため耐食性に優れます。一方でそれは、はんだ接合が困難であることを意味しています。つまり Cu₃₆Zr₄₈Al₈Ag₈ 金属ガラスのはんだ接合を可能にするためには、表面処理を施してはんだがぬれやすい状態に改質する必要があります。そこで casting 時の合金溶湯の余熱を利用した金属ガラス表面の Cu メタライズ法の開発を行いました。はんだ接合は金属ガラスのガラス転位温度以下でプロセスが進行するため結晶化させることなく接合するこ

とが可能になります。

その結果、Cu 箔と $\text{Cu}_{36}\text{Zr}_{48}\text{Al}_8\text{Ag}_8$ 金属ガラスは反応層を介して金属組織的に接合していることが透過電子顕微鏡観察(TEM)により明らかになりました(図4)。この溶着過程の温度履歴

を解明するために溶湯近傍の数値シミュレーションを行いました。Cu 箔は溶湯の余熱で半熔融して溶着し、その直後に溶湯は 1000K/s 以上で急冷されてアモルファスを形成することが分かりました。またオージェ電子分光分析により Cu 箔が酸化被膜の形成を抑制

する役割を果たしていることが明らかになりました。これらの結果として金属ガラスのはんだぬれ性は大幅に向上しました。

- ・ 「Development of Cu Metallized Bulk Amorphous Alloy」
T. Terajima, J. Alloys Compd., (Accepted).

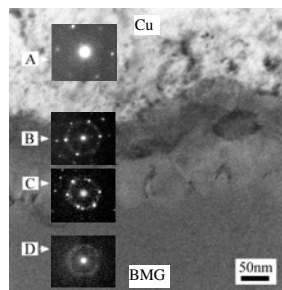


図4 Cu 薄膜/Cu 基金属ガラス界面の透過電子顕微鏡像