

一般セッション | VI. 核融合工学：601-2 核融合炉材料工学（炉材料，ブランケット，照射挙動）

📅 2025年3月13日(木) 16:15 ~ 17:25 🏠 会場(Zoomルーム9)

[2I13-16] 機能材料

座長:片山 一成(九大)

16:15 ~ 16:30

[2I13]

酸化マグネシウム被覆のリチウム鉛中腐食挙動と重水素透過低減性能評価

*横山 輝一¹、清水 悠加¹、伊藤 鉄馬¹、大久保 洸佑¹、田中 照也²、居波 涉¹、川田 善正¹、近田 拓未¹
(1. 静岡大、2. 核融合研)

16:30 ~ 16:45

[2I14]

液体LiPbの凝固収縮過程が α -Al₂O₃被膜の剥離挙動に及ぼす影響

*二見 彰太¹、近藤 正聡¹ (1. Science Tokyo)

16:45 ~ 17:00

[2I15]

ODS-Cuの酸化物粒子分散状態に及ぼすMA時の元素添加手法の影響

*齋藤 隼輝¹、余 浩¹、高子 墨¹、陣場 優貴¹、荻野 靖之¹、井上 耕治¹、近藤 創介¹、笠田 竜太¹ (1. 東北大)

17:00 ~ 17:15

[2I16]

Er₂O₃発光特性を利用する核融合炉内環境モニタリングにおける誘導 γ 線ノイズの影響評価

*小倉 結季¹、田中 照也^{2,1}、高山 定次² (1. 名大、2. 核融合研)

17:15 ~ 17:25

座長持ち時間

酸化マグネシウム被覆のリチウム鉛中腐食挙動と重水素透過低減性能評価

Corrosion behavior of magnesium oxide coating in lithium-lead and evaluation of its deuterium permeation reduction performance

*横山 輝一¹, 清水 悠加¹, 伊藤 鉄馬¹, 大久保 洸佑¹, 田中 照也², 居波 渉¹, 川田 善正¹,
近田 拓未¹

¹静岡大学, ²核融合研

核融合炉ブランケットに用いる機能性被覆の新規材料として酸化マグネシウムを選定し、マグネトロンスパッタリング法で作製した被覆試料の性能評価を行った。

キーワード: トリチウム, 透過, 被覆, 酸化マグネシウム, 腐食

1. 緒言

核融合炉液体ブランケットシステムの実用化に向けて構造材料に機能性被覆を施す研究が進展し、セラミックスを用いた被覆によるトリチウム増殖材との共存性や高い水素同位体透過低減性能が示されてきた[1]。酸化マグネシウム (MgO) は、電気特性や熱力学的安定性などが優れており、電気絶縁性についての研究が進められている一方、トリチウム増殖材との共存性や水素同位体透過挙動については明らかにされていない。そこで本研究では、マグネトロンスパッタリング法によって作製した MgO 被覆のリチウム鉛中腐食挙動と重水素透過低減性能を調査した。

2. 実験手法

低放射化フェライト鋼 F82H を基板として用い、マグネトロンスパッタリング法により膜厚 1 μm 程度の MgO 被覆を作製した。特性評価として、電界放出型走査電子顕微鏡による表面および断面観察、重水素透過試験 (導入重水素圧力 10~80 kPa、試験温度 300~600 °C) およびリチウム鉛曝露試験を 500、550、600 °C でそれぞれ 500 時間行った。

3. 結果・考察

MgO 被覆試料における重水素透過フラックスの温度依存性を図に示す。500 °C 以上で透過フラックスは減少し、降温時の 500 °C では未被覆基板と比べて 1/250000 に重水素透過を低減した。これより、400 °C を超える温度で MgO 被覆の結晶構造が変化することが示された。発表では、表面および断面の観察結果、またリチウム鉛曝露試験によるトリチウム増殖材との共存性についてもあわせて報告する。

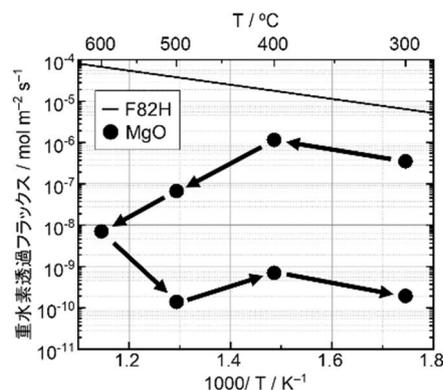


図 F82H 基板および MgO 被覆試料における重水素透過フラックスの温度依存性

参考文献

[1] T. Chikada *et al.*, Fusion Eng. Des. 136 (2018) 215–218.

*Kiichi Yokoyama¹, Yuka Shimizu¹, Tetsuma Ito¹, Kosuke Okubo¹, Teruya Tanaka², Wataru Inami¹, Yoshimasa Kawata¹,
Takumi Chikada¹

¹Shizuoka Univ., ²NIFS.

液体 LiPb の凝固収縮過程が α -Al₂O₃ 被膜の剥離挙動に及ぼす影響

Effect of solidification shrinkage of liquid LiPb on exfoliation of α -Al₂O₃ layer formed on FeCrAl alloys

*二見 彰太¹, 近藤 正聡²

¹東京科学大学工学院機械系, ²東京科学大学総合研究院

小型の密閉キャプセルを使用して、 α -Al₂O₃被膜を表面に形成した FeCrAl 合金の試験片を液体リチウム鉛合金 (LiPb, 873 K) に浸漬し 100 時間の腐食試験を実施した。腐食試験終了時点で高温に保持したままキャプセルを逆さまにし、試験片表面から液体 LiPb を分離させることで、試験片に液体 LiPb が付着したまま凝固収縮して被膜を傷めないようにした。試験片の分析結果から LiPb が被膜と基材との間へ侵入していることがわかった。

キーワード : FeCrAl 合金, リチウム鉛合金, α -Al₂O₃ 被膜, 凝固収縮

1. 緒言 FeCrAl 合金は、その優れた耐食性により核融合炉の液体リチウム鉛(LiPb)ブランケットの候補構造材料として期待されている[1]。それは、高温の液体 LiPb との化学的共存性を向上させる Al リッチな保護性酸化被膜を形成するためである。しかし、保護性酸化被膜の剥離も確認されているが、その原因は明らかにされていない。1つの要因として、被膜に付着した液体 LiPb が凝固収縮する際に発生する応力により保護性酸化被膜が破壊されて剥離してしまうことが懸念される。本研究の目的は、液体 LiPb の凝固収縮が FeCrAl 合金上に形成された α -Al₂O₃ 被膜に及ぼす影響を明らかにすることである。

2. 実験手法 試験片として使用した FeCrAl 合金の組成は Fe-23.8Cr-5.9Al である。試験片の大きさは 15 mm×8 mm×3 mm であり、その表面を鏡面研磨した。その後、1273 K の大気下で 10 時間の予備酸化処理を行い試験片表面に α -Al₂O₃ 被膜を形成させて、液体 LiPb と一緒にキャプセル封入した。873 K, 0.3 MPa の液体 LiPb 環境下で 100 時間の静止場腐食試験を行った。腐食試験終了時点で高温に保持したまま、キャプセルを逆さまにして試験片表面から液体 LiPb を分離させた(図 1)。腐食試験終了後、1つの試験片は酸洗浄(酢酸とエタノールと 30%過酸化水素水を体積比 1:1:1 の割合で混合)を行い、試験片表面から LiPb を取り除いた。もう1つの試験片は酸洗浄せずに断面を切り出し、電解放出型走査型電子顕微鏡(FE-SEM)やオージェ電子分光法(AES)を用いて断面分析を行った。

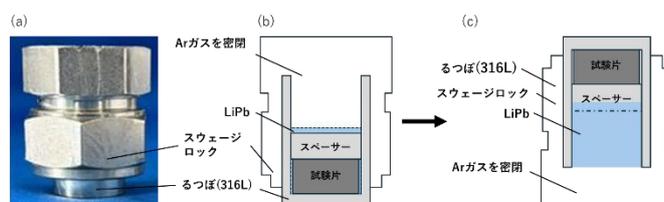


図1 試験キャプセルの構造, (a)写真, (b)腐食試験時, (c)腐食試験終了後

3. 実験結果・考察 図2に酸洗浄を行った後の試験片の LiPb 浸漬前後の様子を示す。浸漬後の試験片から、 α -Al₂O₃ 被膜の剥離が確認された。一方、浸漬後の試験片の質量は 1.54836 g であり、予備酸化処理前の試験片の質量(1.54856 g)と比べてほぼ変化がないことから、 α -Al₂O₃ 被膜が剥離した以外は、基材の腐食はほとんど起こらなかったと考えられる。図3に酸洗浄を行わなかった試験片の SEM 像を示す。試験片と基材の間に液体 LiPb が侵入したことがわかる。液体 LiPb の侵入が α -Al₂O₃ 被膜の剥離要因の一つであると考えられる。気密型のキャプセル内で温度上昇に伴って圧力が上昇したことにより、 α -Al₂O₃ 被膜内への液体 LiPb の侵入が促進された可能性がある。

参考文献

[1] Masatoshi Kondo, et al., corrosion science 197(2022) 110070

*Shota Futami¹, Masatoshi Kondo²

¹Science Tokyo

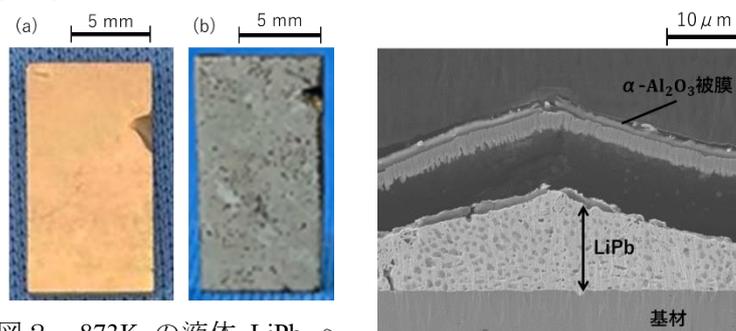


図2 873K の液体 LiPb へ 100 時間浸漬した FeCrAl 合金の試験片の写真, (a)浸漬前, (b)浸漬後(酸洗浄後)

図3 873K の液体 LiPb へ 100 時間浸漬した FeCrAl 合金の試験片の表層断面 FE-SEM 像(酸洗浄なし)

ODS-Cu の酸化物粒子分散状態に及ぼす MA 時の元素添加手法の影響

The influence of MA element addition process on the oxide particle dispersion in ODS-Cu

*齋藤 隼輝¹, 余 浩¹, 高 子墨¹, 陣場 優貴¹, 荻野 靖之¹, 井上 耕治¹, 近藤 創介¹,

笠田 竜太¹

¹東北大学

核融合炉ダイバータヒートシンク構造材料として、酸化物分散強化銅合金が注目されている。本研究では、メカニカルアロイング (MA) によりイットリア安定化ジルコニア (YSZ) 分散強化を志向した酸化物分散強化銅合金を作製し、合金特性に及ぼす MA プロセスの影響の解明を試みた。

キーワード：核融合炉ダイバータヒートシンク、銅合金、ODS 銅合金、メカニカルアロイング

1. 緒言

核融合炉ダイバータヒートシンク構造材料として、酸化物分散強化銅合金 (ODS-Cu) が注目されている。これまで、Cu と Y₂O₃、Zr 粉末の MA で作製した Zr 添加 ODS-Cu の強度が Cu-Y₂O₃ 系 ODS-Cu の 1.6 倍に向上し、その主因が他の ODS 合金では報告のない YSZ の微細分散粒子が形成したことにあると明らかにされてきた^[1, 2]。そこで本研究では、Cu、YSZ 粉末の MA により YSZ 分散強化を志向した Cu-YSZ を作製し、Zr 添加 ODS-Cu との比較から、合金特性に及ぼす MA プロセスの影響を解明することを目指した。

2. 手法

水冷式ボールミル装置 Emax を用いて、Cu と YSZ の粉末を MA し、Cu-YSZ 粉末を作製した。作製した合金粉末を放電プラズマ焼結により 50 MPa, 880 °C、15 分の条件で焼結した。焼結後の試料についてビッカース硬さ試験と電子線後方回折 (EBSD) 測定、3次元アトムプローブ (3D-AP) 測定を行い、強度と微細組織を評価した。また、Zr 添加 ODS-Cu と Cu-YSZ の酸化物粒子分散状態について、3D-AP 結果をもとに比較した。

3. 結果と考察

ビッカース硬さ試験から、Cu-YSZ の強度は Zr 添加 ODS-Cu よりも低く、既存の Cu 合金程度であると示された。EBSD と 3D-AP の結果から、Cu-YSZ の結晶粒はサブミクロンサイズのもので直径 1 μm 以上のものが存在すること、Cu-YSZ 中の酸化物粒子は Zr 添加 ODS-Cu と比べ直径 10 nm 以上の粗大な粒子が多く、数密度も 1/8 程度であることが示された。Zr 添加 ODS-Cu のように、MA 時に Zr などの第三元素を添加することで Cu の延性が抑制され、MA の均一性が高まり、酸化物粒子の分散状態が改善する可能性が示唆された。

4. 結言

Cu-YSZ では、Zr 添加 ODS-Cu と比較して酸化物粒子の数密度が低く、サイズも大きくなっていた。ODS-Cu の MA において、第三元素の添加が MA の均一性改善に寄与する可能性が示唆された。

参考文献

[1] Gao *et al.*, Journal of Alloys and Compounds, 2022

[2] Saito *et al.*, Journal of Alloys and Compounds, 2024

*Toshiki Saito¹, Hao Yu¹, Zimo Gao¹, Yuki Jimba¹, Yasuyuki Ogino¹, Koji Inoue¹, Sosuke Kondo¹, and Ryuta Kasada¹

¹Tohoku Univ.

Er₂O₃ 発光特性を利用する核融合炉内環境モニタリングにおける 誘導γ線ノイズの影響評価

Impact estimation of gamma-ray induced luminescence noises on environmental monitoring
in a fusion reactor utilizing luminescence properties of Er₂O₃

*小倉 結季¹, 田中 照也^{2,1}, 高山 定次²

¹名古屋大学, ²NIFS

核融合炉内材料の結晶性や温度を酸化エルビウム(Er₂O₃)結晶の発光特性から評価するモニタリング手法を検討している。放射線輸送計算により炉内の誘導γ線が測定系の石英ファイバーに入射した際のチェレンコフ光によるノイズの発生量を評価したところ、Er₂O₃の発光強度を高める必要があることが分かった。そこで、Y₂O₃にEr³⁺をドーブした材料の試作と発光特性評価を進めている。

キーワード : Er₂O₃、発光測定、石英ファイバー、γ線誘起ノイズ、チェレンコフ光

1. 緒言

Er₂O₃焼結ディスクに紫外光を照射すると、可視光における赤色領域(640~700nm)および緑色領域(530~570nm)にピークを持つ発光スペクトルが観測される。これまでの研究でこれらの発光ピーク強度比はEr₂O₃ディスクの結晶性及び温度に依存することを明らかにしており、これを利用した核融合炉内環境モニタリングシステムについて検討している。測定システムの構成は、核融合炉のメンテナンスの際に、内部にあらかじめ設置しておいたEr₂O₃材料へ紫外光を照射し、その発光を分光器で観測するというものである。励起光および材料の発光は石英ファイバーを挿入して伝送することを想定している。しかし、核融合炉内で発生した誘導γ線が石英ファイバーに入射すると、伝送経路上でチェレンコフ光や誘起発光が発生し、測定への妨げとなる可能性がある。そこで、放射線輸送計算コードを用いて、発光ノイズ強度の評価を行った。

2. 核融合炉内のチェレンコフ光発生量評価

原型炉の22.5°セクター体系データ(図1)と放射線輸送計算コードPHITS^[1]を用いた1年間の運転による放射性核種の生成量分布を計算し、さらに運転停止後1か月の時点でそれらが放出する誘導γ線の線量率分布を計算した。誘導γ線により石英ファイバー内で発生するチェレンコフ光の強度を計算したところ、現在のEr₂O₃発光特性評価において分光器で検出されている光子数と比較して、およそ10000倍のチェレンコフ光が発生すると見積られた。そのため、Er₂O₃材料の発光強度を向上させ、正確なスペクトルの測定方法を確立する必要がある。

3. Er 試料の発光強度改善

これまでのEr₂O₃の発光特性評価実験ではEr₂O₃100%の焼結バルク試料を用いてきた。この試料はErの密度が高いため濃度消光が発生している可能性がある。そこで、濃度消光を低減させ、発光強度を高めるため、Y₂O₃にEr³⁺をドーブした材料を作製し^[2]、発光強度の評価及び結晶性や温度による発光スペクトル変化の確認を行っている。

参考文献

[1] T. Sato, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024)

[2] Danil K. Aleshin et al., "Synthesis of spherical Y₂O₃:Er emitting particles with variable radial composition by controlled double-jet precipitation of layered precursors", Particuology, Vol. 74, 92-102(2023)

*Yuiki Ogura¹, Teruya Tanaka^{2,1} and Sadatsugu Takayama²

¹Nagoya Univ., ²NIFS.

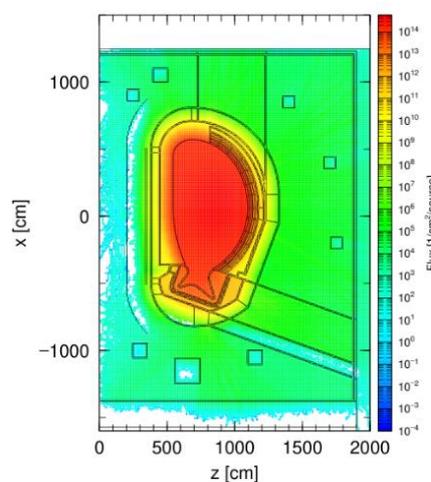


図1 原型炉の放射線輸送計算体系と運転中の中性子フラックス分布