

# 亜共晶 Zr 基金属間化合物への重イオン照射による微細構造変化

大阪府大<sup>1</sup>、東北大金研<sup>2</sup>、量研機構高崎<sup>3</sup>、原子力機構<sup>4</sup>

○盛国祐太 (M2)<sup>1</sup>、岩瀬彰宏<sup>1</sup>、松井利之、和田武<sup>2</sup>、加藤秀実<sup>2</sup>、前川雅樹<sup>3</sup>、河裾厚男<sup>3</sup>、石川法人<sup>4</sup>、堀史説<sup>1</sup>

## 1. 緒言

材料へのイオン照射によって引き起こされるユニークな現象をもとにイオン照射による材料改質の研究が行われている。我々の研究グループでは、優れた高温耐性や高強度で構造材料として利用されている金属間化合物に重イオン照射を施すと結晶状態から非平衡相のアモルファス状態に変態し、それに伴う表面の硬度制御による材料改質への応用の可能性を見出している[1]。しかし、どのような合金系の種類、イオン種、照射条件で結晶がアモルファス化するかという照射効果との相関については不明な点が多い。そこで、バルクでのアモルファス化が容易なことで知られるZr-Cu-Al合金へのイオン照射を行うことでアモルファス化や結晶構造の安定性についての知見を得ることができると考えた。これまで広い過冷却液体領域を有する共晶組成のZr<sub>30</sub>Cu<sub>40</sub>Al<sub>10</sub>合金結晶への重イオン照射でアモルファス化が進み、軟化することがわかってきた。今回はアモルファス状態で共晶合金とは特性が異なることが報告されている[2]亜共晶組成における照射効果を調べるために、エネルギーの異なる照射条件でZr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub>に対して重イオン照射を行い、照射領域のアモルファス化過程の傾向を原子配置の乱れやナノサイズ自由体積変化から微細構造の変化挙動について評価し、共晶合金との違いについて検討した。

## 2. 実験方法

### 2-1. 試料作成

アーク溶解炉にて高純度母材の Zr, Cu, Al を合金化した後に、10mmφの棒状に鑄造して作成したZr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub>合金を厚さ 0.5mm 程度のディスク状に切り出し表面研磨した後、真空中にて 873K で均質化処理を行ったものを実験用試料とした。

### 2-2. イオン照射

作製した試料に対し原子力研究機構東海研究所タンデム加速器にて 200 MeV の Au イオンを  $1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$  から  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 、量子応用研究機構高崎研究所 TIARA のタンデム加速器にて 16 MeV の Au イオンを  $4 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  から  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  真空中室温にてそれぞれ照射した。

### 2-3. 評価

イオン照射前後の各試料に対して X 線回折測定(GIXD、XRD)及び高エネルギー加速器研究機構 BL-27B にて Cu-K 吸収端を用いた X 線吸収微細構造(EXAFS)測定を行い、結晶構造と微細構造評価を行った。また、機械的特性変化の評価として 10g 荷重にてマイクロビッカース硬さ測定を行った。

## 3. 結果と考察

図 1 に 16 MeV-Au イオン照射を行った Zr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub> 合金の EXAFS スペクトルを、図 2 に 200 MeV-Au イオン照射を行った Zr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub> 合金の EXAFS スペクトルを示す。16 MeV-Au と 200

MeV-Au 照射の照射量に対する変化に着目すると、いずれの照射でも照射量が増えるに従い Cu 原子周囲の第一配位のピークが減少しているが、200 MeVの方が顕著に低下していることがわかる。またこれらの X 線回折では、いずれのエネルギー照射でもアモルファス化を示すハローパターンが確認できたが、200MeVの方が早くアモルファス化が起こっていた。これらの結果から Cu 原子周囲の結合の乱れとアモルファス化には相関があり、その効果はエネルギーに依存しより高いエネルギーのほうが早く進むことがわかった。これは、照射イオンによる弾性弾き出し付与エネルギーが 200 MeVの方が高いことを考えると、弾き出し損傷による構造の乱れが直接アモルファス化に影響しているためであると考えられる。また、これらの照射によっていずれのエネルギーでも照射量増加に伴い硬度が上昇したため、アモルファス化による硬度の変化への影響がうかがえる。しかし、この硬度変化は同じ照射条件での共晶合金では軟化という逆の結果がこれまで得られている。共晶合金でも結晶構造の照射による変化は今回行った亜共晶合金と同様に結晶性のピークが減少しハローパターンが見られるものであった。そのため、硬度変化は結晶性の乱れによって生じるが、その逆変化の要因としてはアモルファス状態に生じる違いや空隙の分布などの状態に違いがある可能性が考えられる。

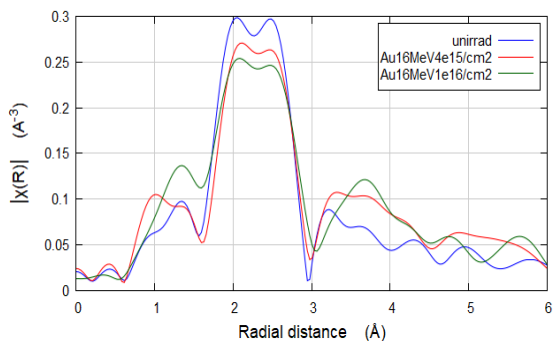


図1 Zr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub>合金への16MeV-Auイオン照射によるEXAFSスペクトル変化

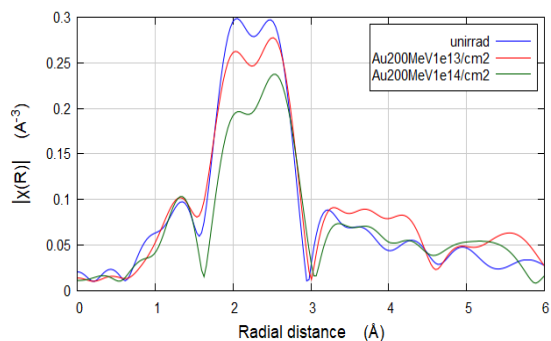


図2 Zr<sub>45</sub>Cu<sub>45</sub>Al<sub>10</sub>合金への200MeV-Auイオン照射によるEXAFSスペクトル変化

#### 4. 結言

共晶組成に比べてアモルファス化しにくい亜共晶組成のZrCuAl合金でもイオン照射によってアモルファス化することがわかった。その変化はエネルギーが高いほど早く進み、硬度変化とも比較的良い相関がある傾向を示した。しかし、アモルファス化に伴う硬度変化は共晶合金と亜共晶合金では全く異なり、亜共晶合金では硬化した。この2つの組成合金での違いの原因は不明であるが、照射によって変化したアモルファス状態が合金組成によって異なることが示唆された。今後、異なる組成合金のアモルファス状態微細構造や自由体積分布などについて検討したい。

#### 参考文献

- [1] H. Kojima, H. Yoshizaki, Y. Kaneno, S. Semboshi, F. Hori, Y. Saitoh, Y. Okamoto, A. Iwase, Nucl. Instr. Meth. B, 372 (2016) 72.
- [2] F.Hori, A. Ishii, T. Ishiyama, A.Iwase, Y.Yokoyama, T.J.Konno, J. Alloys Compound 707 (2017) 73.