

# マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

## ARIM User's Report

[Release : 2023.07.28] [Update : 2023.05.14]

### 課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	22HK0007
利用課題名 Title	1族・2族元素による低密度ハイエントロピー合金の創製
利用した実施機関 Support Institute	北海道大学 / Hokkaido Univ.
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用 (ARIM事業参画者以外) / Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	計測・分析/Advanced Characterization
重要技術領域 Important Technology Area	量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル/Materials using quantum and electronic control to perform innovative functions 革新的なエネルギー変換を可能とするマテリアル/Materials enabling innovative energy conversion
キーワード Keywords	電子顕微鏡/Electron microscopy,集束イオンビーム/Focused ion beam,電子回折/Electron diffraction,電子分光,表面・界面・粒界制御/ Surface/interface/grain boundary control,エネルギー貯蔵/ Energy storage

### 利用者と利用形態 / User and Support Type

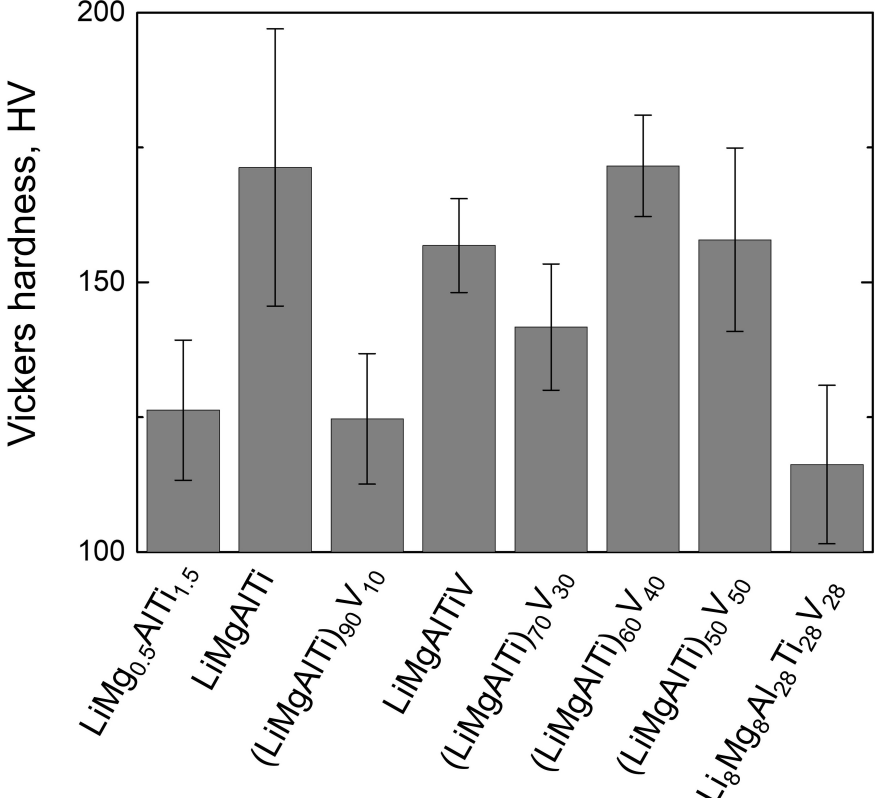
利用者名 (課題申請者) User Name (Project Applicant)	磯部 繁人
所属名 Affiliation	北海道大学大学院工学研究院材料科学部門
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	吉田すずか,鈴木啓太,原田真吾,内田悠,澤厚貴,遠堂敬史,王永明,森 有子
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization

## 利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

<b>利用した主な設備</b> <b>Equipment ID &amp; Name</b>	HK-202 : オージェ電子分光装置 HK-301 : 環境セル対応透過電子顕微鏡 HK-303 : 電界放出形電子プローブマイクロアナライザー HK-304 : 集束イオンビーム加工・観察装置 HK-403 : 集束イオンビーム加工装置
---	--

## 報告書データ / Report

<b>概要 (目的・用途・実施内容)</b> <b>Abstract (Aim, Use Applications and Contents)</b>	ほぼ等原子比の複数元素から構成されるハイエントロピー合金(HEA)は、機械的特性や熱的安定性、耐食性などの点で従来合金に比べ優れることがある[1]。HEAの優れた特性を持ちながら軽量性を付与することができれば、例えば輸送機器の構造材料であればエネルギー効率の改善に繋がるため、近年では軽量材料のHEA化も試みられている。しかしながら、単相固溶体を形成する軽量HEAの報告例は少なく[2]、現状では軽量HEAに関する相形成や機械的特性を初めとする種々の知見が不足している。これまで、HEAの固溶体形成を予測するパラメーターは複数提案され、軽量HEAにおけるパラメーターの満たすべき基準も提案されている[3]が、メカニカルアロイング(MA)法で作製された軽量HEA : $\text{LiMg}_0.5\text{AlScTi}_{1.5}$ [4]は、一部パラメーターの基準を満たさないにもかかわらず単相固溶体を形成する。この理由の一つとして、パラメーターの基準が溶解法で作製されたHEAでの経験則に基づいて提案されたものであることが考えられる。以上を踏まえ、本研究では種々の軽量HEAを作製し、MAによって作製される軽量HEAの固溶体形成条件及び機械的特性について調査した。[1] M.H. Tsai et al., Mater Res Lett, (2014),2, 107–123. [2] O. Maulik et al., Mater Res Express, (2018),5, 052001.[3] X. Yang et al., JOM, (2014),66, 2009–2020. [4] K.M. Youssef et al., Mater Res Lett, (2014),3, 95–99.
<b>実験</b> <b>Experimental</b>	等原子比の $\text{LiMgAlTiM}$ ( $M=\text{Si, V, Cr, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, Sn}$ )及び非等原子比 $\text{Li-Mg-Al-Ti-V}$ 系軽量HEAをMA (ボールミリング法)により作製した。ミリング条件は、回転速度 : 400 rpm、ミリング時間 : 20h ( $\text{LiMgAlTiM}$ )、50 h ( $\text{Li-Mg-Al-Ti-V}$ )、ボール対試料質量比 : 96:1とした。作製した試料に対し、結晶構造解析、元素分析、微細組織観察を行った。また、MA後の粉末試料をホットプレスによりバルク成型し、ビッカース硬度試験を行った。
<b>結果と考察</b> <b>Results and Discussion</b>	15種の $\text{LiMgAlTiM}$ の中でV、Nbを用いた組成でBCC固溶体を得られた。Nbと比較し軽量であるVを用いた組成に対し詳細な調査を行い、組成比を調整することで $\text{Li-Mg-Al-Ti-V}$ 系軽量HEAの単相固溶体を作製することに成功した。Fig.1に $\text{Li-Mg-Al-Ti-V}$ 系のビッカース硬度を示す。ビッカース硬度は約110~170の範囲であり、既存の軽量合金と同等の硬度を有することが明らかとなった。また、本研究及び先行研究でMAにより作製された軽量HEAに対して、固溶体形成を予測する種々のパラメーターについて整理した。その結果、MA法による軽量HEAでの固溶体形成を予測するパラメーターとして、電気陰性度差が最も重要な可能性が示唆された。

<p>図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1</p>	 <p>Fig.1 Vickers hardness of Li-Mg-Al-Ti-V lightweight HEAs.</p> <table border="1"> <caption>Approximate Vickers Hardness (HV) values from Fig.1</caption> <thead> <tr> <th>Alloy Composition</th> <th>Vickers Hardness (HV)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LiMg<sub>0.5</sub>AlTi<sub>1.5</sub></td> <td>~125</td> </tr> <tr> <td>LiMgAlTi</td> <td>~170</td> </tr> <tr> <td>(LiMgAlTi)<sub>90</sub>V<sub>10</sub></td> <td>~125</td> </tr> <tr> <td>LiMgAlTiV</td> <td>~155</td> </tr> <tr> <td>(LiMgAlTi)<sub>70</sub>V<sub>30</sub></td> <td>~140</td> </tr> <tr> <td>(LiMgAlTi)<sub>60</sub>V<sub>40</sub></td> <td>~170</td> </tr> <tr> <td>(LiMgAlTi)<sub>50</sub>V<sub>50</sub></td> <td>~155</td> </tr> <tr> <td>Li<sub>8</sub>Mg<sub>8</sub>Al<sub>28</sub>Ti<sub>28</sub>V<sub>28</sub></td> <td>~115</td> </tr> </tbody> </table>	Alloy Composition	Vickers Hardness (HV)	LiMg <sub>0.5</sub> AlTi <sub>1.5</sub>	~125	LiMgAlTi	~170	(LiMgAlTi) <sub>90</sub> V <sub>10</sub>	~125	LiMgAlTiV	~155	(LiMgAlTi) <sub>70</sub> V <sub>30</sub>	~140	(LiMgAlTi) <sub>60</sub> V <sub>40</sub>	~170	(LiMgAlTi) <sub>50</sub> V <sub>50</sub>	~155	Li <sub>8</sub> Mg <sub>8</sub> Al <sub>28</sub> Ti <sub>28</sub> V <sub>28</sub>	~115
Alloy Composition	Vickers Hardness (HV)																		
LiMg <sub>0.5</sub> AlTi <sub>1.5</sub>	~125																		
LiMgAlTi	~170																		
(LiMgAlTi) <sub>90</sub> V <sub>10</sub>	~125																		
LiMgAlTiV	~155																		
(LiMgAlTi) <sub>70</sub> V <sub>30</sub>	~140																		
(LiMgAlTi) <sub>60</sub> V <sub>40</sub>	~170																		
(LiMgAlTi) <sub>50</sub> V <sub>50</sub>	~155																		
Li <sub>8</sub> Mg <sub>8</sub> Al <sub>28</sub> Ti <sub>28</sub> V <sub>28</sub>	~115																		
<p>その他・特記事項 (参考文献・謝辞等) Remarks(References and Acknowledgements)</p>																			

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

<p>DOI (論文・プロシーディング) DOI (Publication and Proceedings)</p>	
<p>口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文 Oral Presentations etc.</p>	
<p>特許出願件数 Number of Patent Applications</p>	0件
<p>特許登録件数 Number of Registered Patents</p>	0件