

## Fe-Ni 基ナノ結晶合金における $L1_0$ 型規則相の生成

東北大学金属材料研究所(現:大阪大学超高压電子顕微鏡センター) 佐藤和久  
東北大学金属材料研究所 Parmanand Sharma 張 岩 竹中佳生 牧野彰宏

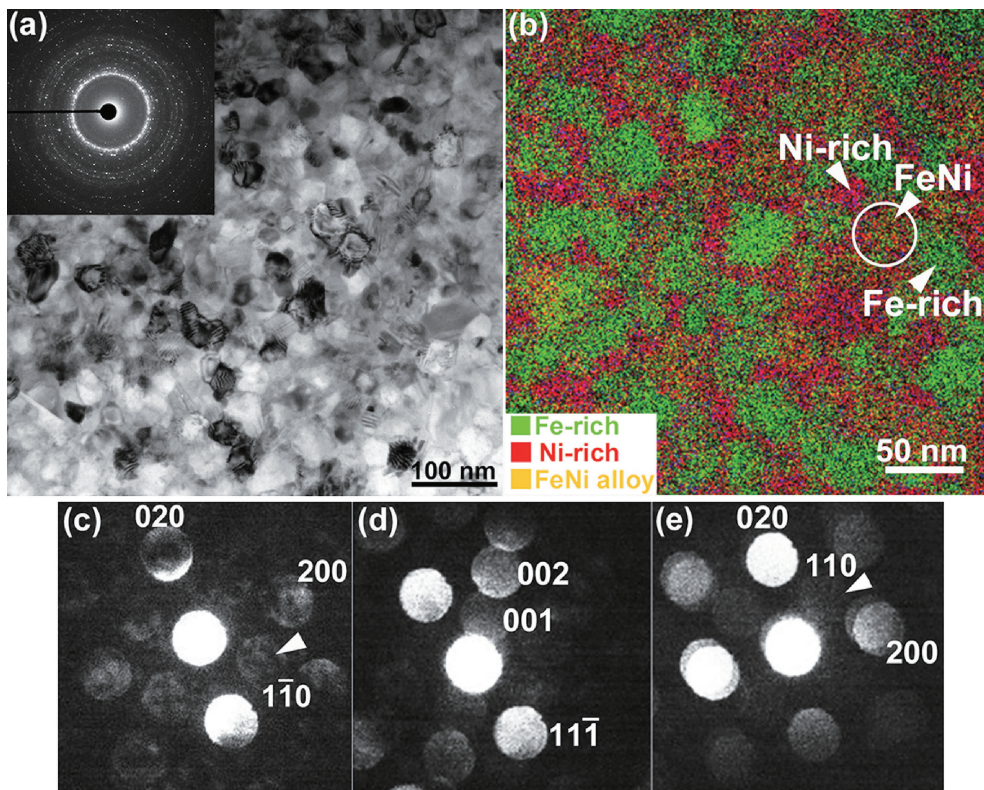


Fig. 1 (a)  $\text{Fe}_{42}\text{Ni}_{41.3}\text{Si}_x\text{B}_{12-x}\text{P}_4\text{Cu}_{0.7}$  ナノ結晶合金 ( $x=8$  at%) の明視野 TEM 像と制限視野電子回折図形, (b) STEM-EDX 元素マッピング像, (c) (d) (e) NBD 図形(合金組成と熱処理条件は本文参照).

鉄隕石中に含まれる  $L1_0$  型 FeNi 規則相は, 希土類元素を含まないことから, 新しい永久磁石材料の候補として注目を集めている. しかしながら, 規則化には天文学的な時効時間が必要とされ, バルク合金において熱処理による規則相形成例はない. 最近に至り, 著者らは  $\text{Fe}_{42}\text{Ni}_{41.3}\text{Si}_x\text{B}_{12-x}\text{P}_4\text{Cu}_{0.7}$  急冷薄帯 ( $x=2-8$  at%) を熱処理したナノ結晶合金中に,  $L1_0$  型 FeNi 規則相が形成されることを見出した<sup>(1)</sup>. Fig. 1(a) にナノ結晶合金の透過電子顕微鏡(TEM)明視野像と制限視野電子回折図形を示す. 粒径 30 nm サイズの多結晶組織が形成されていることがわかる. 走査透過電子顕微鏡(STEM)を用いて, エネルギー分散 X 線分光法(EDX)により元素マッピングを行ったところ, 本合金は組成の異なる 3 領域(Fe-rich 相, Ni-rich 相, 等比組成 Fe-Ni 相)から構成されていることが判明した(Fig. 1(b)). 極細束電子線を走査しながらナノビーム電子回折(NBD)図形を観察した結果,  $L1_0$  型構造に由来する規則格子反射が検出され, 規則相の生成を確認した. Fig. 1(c), (d), (e) に NBD 図形を示す

(プローブサイズ約 0.5 nm, 収束半角 3 mrad)<sup>(2)</sup>. 観察試料の合金組成と熱処理条件, 入射方位はそれぞれ, (c)  $x=8$  at%, 673 K-1.04 Ms, [001]入射, (d)  $x=6$  at%, 773 K-3.6 ks, [110]入射, (e)  $x=4$  at%, 813 K-3.6 ks, [001]入射である. また, Fig. 1(c) に示す NBD 図形は(b)の丸印で囲んだ領域から得た. いずれの NBD 図形も規則格子反射を含み, 本合金の規則-不規則変態温度は過去の文献値(593 K)より高温であることを示している. 短時間熱処理での規則相形成は, アモルファスの結晶化に伴う高速拡散に起因すると推察される. より詳細な観察結果は文献(2)を参照されたい.

### 文 献

- (1) A. Makino, P. Sharma, K. Sato, A. Takeuchi, Y. Zhang and K. Takenaka: Scientific Reports, **5** (2015), 16627.
- (2) K. Sato, P. Sharma, Y. Zhang, K. Takenaka and A. Makino: AIP Advances, **6** (2016), 055218.  
(2016年 7月 5日受理)[doi:10.2320/materia.55.596]

$L1_0$ -type Ordered Phase Formation in Fe-Ni-based Nanocrystalline Alloys; Kazuhisa Sato<sup>\*,\*\*</sup>, Parmanand Sharma<sup>\*</sup>, Yan Zhang<sup>\*</sup>, Kana Takenaka<sup>\*</sup> and Akihiro Makino<sup>\*</sup> (\*Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai. \*\*Present address: Research Center for Ultra-High Voltage Electron Microscopy, Osaka University, Ibaraki)

Keywords: scanning nanobeam electron diffraction,  $L1_0$ -FeNi, atomic ordering, permanent magnet

TEM specimen preparation: Ar ion milling

TEM utilized: JEOL JEM-ARM200F (200 kV, Cold-FEG)