

补充材料

设计制备具有优异形成能力和磁热效应的 GdHoErCoNiAl 高熵

非晶合金*

王壮¹⁾ 金凡¹⁾ 李伟¹⁾ 阮嘉艺¹⁾ 王龙飞²⁾ 吴雪莲³⁾ 张义坤²⁾ 袁晨晨^{1†)}

1) (东南大学材料科学与工程学院, 南京 211189)

2) (杭州电子科技大学材料与工程工程学院, 杭州 310018)

3) (安徽工业大学材料科学与工程学院, 马鞍山 243032)

表 S1 稀土基非晶合金磁热性能参数统计表

Table S1. Statistical table of magnetocaloric parameters of RE-based MGs.

Composition	G factor	T_c / K	$ \Delta S_M^{pk} $ / ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	$\delta T_{FWHM}/K$	RCP/ ($J \cdot kg^{-1}$)	Refs.
Gd ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ CoNiAl	7.60	65	8.21	73.99	607.20	This work
Gd ₃₀ Ho ₁₅ Er ₁₅ CoNiAl	9.64	67	8.28	80.43	665.67	
Gd ₄₀ Ho ₁₀ Er ₁₀ CoNiAl	11.68	81	8.31	89.17	740.82	
Gd ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	15.75	94.0	9.49	88	835	[S1]
Tb ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.50	47.0	6.36	64	408	
Dy ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	7.08	29.0	8.14	50	411	
Ho ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	4.50	22.3	11.8	28	328.5	[S2]
Er ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	2.55	10.3	12.61	21	264.9	
Tm ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	1.17	5.0	13.25	13	168.1	
Ho ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	4.50	22.2	14	39	540	[S3]
Er ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	2.55	11.3	17.8	24	432	
Tm ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	1.17	5.4	16.8	23	394	
Ho ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	4.50	17.9	12.4	37	460	[S4]
Er ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	2.55	9.5	14.3	26	372	
Tm ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	1.17	4.4	14.1	17	235	
Ho ₆₀ Co ₁₀ Ni ₃₀	4.50	22.7	12.5	36	447	[S5]
Tm ₆₀ Co ₁₀ Ni ₃₀	1.17	6.3	14.2	17	242	
Ho ₅₇ Cu ₁₈ Al ₂₅	4.50	22.2	18.5	25	458	
Tm ₅₇ Cu ₁₈ Al ₂₅	1.17	4.9	18.2	18	334.5	[S6]
Ho ₅₇ Cu ₂₅ Al ₁₈	4.50	22.8	11.8	41	482	
Tm ₅₇ Cu ₂₅ Al ₁₈	1.17	5.4	15.4	20	301	
Gd ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	15.75	93.0	4.95*	70	346.3*	[S7]
(Gd _{0.7} Ho _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	12.38	64.0	4.64*	67	310.9*	[S8]
(Gd _{0.5} Ho _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	11.79	58.0	4.40*	53	234.7*	
(Gd _{0.3} Ho _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.13	45.0	5.02*	42	209.4*	

(Gd _{0.7} Er _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	9.15	38.0	3.87 [*]	—	—	
(Gd _{0.5} Er _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	7.88	27.0	4.74 [*]	52	246.3 [*]	
(Gd _{0.3} Er _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	6.51	23.0	5.06 [*]	—	—	
Ho ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	4.50	14.0	7.98 [*]	24	191.5 [*]	
(Ho _{0.7} Er _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	3.92	13.0	7.53 [*]	21	161.1 [*]	
(Ho _{0.5} Er _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	3.53	11.0	8.42 [*]	20	168.4 [*]	
(Ho _{0.3} Er _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	3.14	10.0	8.55 [*]	19	162.4 [*]	
Er ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	2.55	8.0	9.46 [*]	15	146.6 [*]	
Gd ₂₅ Tb ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	13.13	73.0	8.88	65	577	
Gd ₂₅ Dy ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	11.42	60.0	8.72	65	567	[S9]
Gd ₂₅ Ho ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	10.13	50.0	9.78	64	626	
Tm ₃₉ Ce ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	0.83	2.0	14.8	—	207 ⁺	
Tm ₃₉ Pr ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	1.06	2.0	14.5	—	208 ⁺	
Tm ₃₉ Gd ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	5.41	10.5	11.2	—	340 ⁺	
Tm ₃₉ Nd ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	1.37	4.0	12.2	—	182 ⁺	[S10]
Tm ₃₉ Tb ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	3.88	12.0	9.9	—	248 ⁺	
Tm ₃₉ Dy ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	2.89	5.0	12.6	—	283 ⁺	
Tm ₃₉ Ho ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	2.14	4.0	18.3	—	333 ⁺	
Tm ₃₉ Er ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	1.57	3.0	18.1	—	301 ⁺	
Gd ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	6.75	37.0	11.2	56	627	
Dy ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	3.86	18.0	12.6	37	468	[S11]
Tm ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	1.50	9.0	15	25	375	
Gd ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	7.61	43.0	9.1	68	619	
Tb ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	5.86	29.0	8.6	61	525	[S12]
Tm ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	2.36	13.0	11.9	34	405	

*Data obtained under a changing magnetic field up to less than 5 T;

⁺Data obtained via the integral method.

表 S2 稀土基非晶合金热力学参数统计表

Table S2. Statistical table of thermodynamic parameters of RE-based MGs.

Composition	4f electron number	T_g (K)	T_x (K)	ΔT_x (K)	Refs.
Gd ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ CoNiAl	9.33	560.6	616.3	55.7	This work
Gd ₃₀ Ho ₁₅ Er ₁₅ CoNiAl	8.75	554.8	613.9	59.1	
Gd ₄₀ Ho ₁₀ Er ₁₀ CoNiAl	8.17	551.3	605.3	54.0	
Gd ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	7.0	600	656	55	[S1]
Tb ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	8.0	616	674	58	
Dy ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	9.0	635	702	66	
Ho ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	10.0	628	653	25	[S2]
Er ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	11.0	639	665	25	
Tm ₆₀ Co ₂₀ Al ₂₀	12.0	662	682	20	
Ho ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	10.0	632	663	31	[S3]
Er ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	11.0	644	676	32	
Tm ₅₅ Ni ₁₈ Al ₂₇	12.0	657	678	21	
Ho ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	10.0	598	634	38	[S4]
Er ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	11.0	623	652	29	
Tm ₆₀ Ni ₂₀ Al ₂₀	12.0	626	663	37	
Ho ₆₀ Co ₁₀ Ni ₃₀	10.0	569	615	46	[S5]
Tm ₆₀ Co ₁₀ Ni ₃₀	12.0	614	641	27	
Ho ₅₇ Cu ₁₈ Al ₂₅	10.0	601	627	26	
Tm ₅₇ Cu ₁₈ Al ₂₅	12.0	622	638	16	[S6]
Ho ₅₇ Cu ₂₅ Al ₁₈	10.0	573	599	26	
Tm ₅₇ Cu ₂₅ Al ₁₈	12.0	604	631	27	[S7]
Gd ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	7.0	604	654	50	[S8]
(Gd _{0.7} Ho _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	7.9	614	668	54	
(Gd _{0.5} Ho _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	8.2	618	677	59	
(Gd _{0.3} Ho _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	8.5	625	683	58	
(Gd _{0.7} Er _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	9.0	632	691	59	
(Gd _{0.5} Er _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	9.1	633	691	58	
(Gd _{0.3} Er _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	9.8	640	703	63	
Ho ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.0	642	708	66	
(Ho _{0.7} Er _{0.3}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.3	648	708	60	
(Ho _{0.5} Er _{0.5}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.5	658	719	61	
(Ho _{0.3} Er _{0.7}) ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	10.7	658	721	63	
Er ₅₅ Co _{17.5} Al _{27.5}	11.0	663	726	63	
Gd ₂₅ Tb ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	7.5	612	659	47	
Gd ₂₅ Dy ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	8.0	627	669	42	
Gd ₂₅ Ho ₂₅ Co ₂₅ Al ₂₅	9.5	633	675	42	
Tm ₃₉ Ce ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	8.5	608	663	55	[S10]
Tm ₃₉ Pr ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	9.1	611	666	55	

Tm ₃₉ Nd ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	9.4	621	701	80	
Tm ₃₉ Sm ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	10.0	631	693	62	
Tm ₃₉ Gd ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	10.5	646	717	71	
Tm ₃₉ Tb ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	10.8	650	711	61	
Tm ₃₉ Dy ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	11.1	657	701	44	
Tm ₃₉ Ho ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	11.4	666	719	53	
Tm ₃₉ Er ₁₆ Co ₂₀ Al ₂₅	11.7	668	723	55	
Gd ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	9.3	612	652	40	
Dy ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	10.0	632	668	36	[S11]
Tm ₂₀ Ho ₂₀ Er ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	11.0	648	680	32	
Gd ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	9.0	610	659	49	
Tb ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	9.3	623	663	40	[S12]
Tm ₂₀ Er ₂₀ Dy ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	10.7	645	690	45	

参考文献

- [S1] Jin F, Pang C M, Wang X M, Yuan C C 2023 *J. Non-Cryst. Solids* **600** 121992
- [S2] Zhang Y K, Zhu J, Li S, Zhang B, Wang Y M, Wang J, Ren Z M 2022 *J. Alloys Compd.* **895** 162633
- [S3] Jia Y S, Zhao X Y, Liu X L, Li L W 2020 *J. Alloys Compd.* **813** 152177
- [S4] Zhang Y K, Guo D, Wu B B, Wang H F, Guan R G, Li X, Ren Z M 2020 *J. Appl. Phys.* **127** 033905
- [S5] Guo D, Zhang Y K, Geng S H, Xu H, Ren Z M, Wilde G 2018 *J. Mater. Sci.* **53** 9816
- [S6] Dong Z Q, Yin S H 2020 *J. Magn. Magn. Mater.* **495** 165888
- [S7] Zhang Y K, Li H D, Geng S H, Lu X G, Wilde G 2019 *J. Alloys Compd.* **770** 849
- [S8] Zhang H Y, Li R, Zhang L L, Zhang T 2014 *J. Appl. Phys.* **115** 133903
- [S9] Xue L, Shao L L, Luo Q, Shen B L 2019 *J. Alloys Compd.* **790** 633
- [S10] Huo J T, Zhao D Q, Bai H Y, Axinte E, Wang W H 2013 *J. Non-Cryst. Solids* **359** 1
- [S11] Huo J T, Huo L S, Li J W, Men H, Wang X M, Inoue A, Chang C T, Wang J Q, Li R W 2015 *J. Appl. Phys.* **117** 073902
- [S12] Li J, Xue L, Yang W, Yuan C, Huo J, Shen B 2018 *Intermetallics* **96** 90