



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112368790 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 26

(21) 申请号 201980014965.7
 (22) 申请日 2019.02.20
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 112368790 A
 (43) 申请公布日 2021.02.12
 (30) 优先权数据
 62/634,078 2018.02.22 US
 62/693,719 2018.07.03 US
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2020.08.24
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/US2019/018818 2019.02.20
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02019/164982 EN 2019.08.29
 (73) 专利权人 通用工程与研究有限责任公司
 地址 美国加利福尼亚州
 专利权人 加州大学董事会
 (72) 发明人 罗宾·伊费尔特 金恩正 陈成浩
 陈仁坤 许夏
 (74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018
 专利代理师 王东贤 朴圣洁

(51) Int. Cl.
 H01F 1/01 (2006.01)
 H01F 1/04 (2006.01)
 H01F 1/047 (2006.01)
 H01F 1/053 (2006.01)
 G22C 1/04 (2023.01)
 G22C 28/00 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 102881394 A, 2013.01.16
 US 2014290274 A1, 2014.10.02
 CN 102764887 A, 2012.11.07
 CA 2071930 A1, 1991.07.25
 CA 2074161 A1, 1991.09.17
 CN 101105996 A, 2008.01.16
 CN 102017026 A, 2011.04.13
 CN 103045177 A, 2013.04.17
 CN 104470644 A, 2015.03.25
 CN 105304250 A, 2016.02.03
 CN 106917030 A, 2017.07.04
 FR 1239488 A, 1960.08.26
 GB 1015170 A, 1965.12.31
 US 2004231158 A1, 2004.11.25
 US 2013017386 A1, 2013.01.17
 US 6770255 B1, 2004.08.03

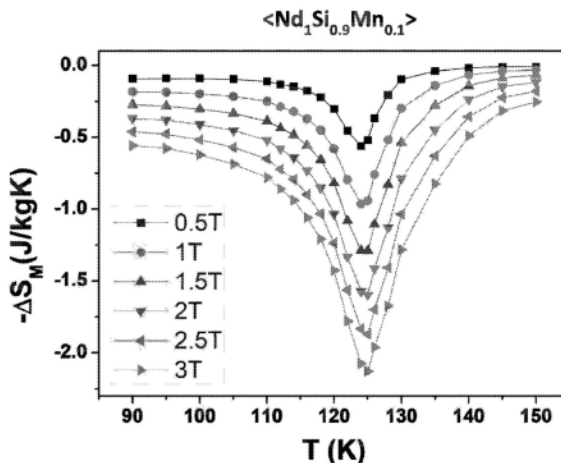
(续)

审查员 蒲天同

权利要求书4页 说明书15页 附图20页

(54) 发明名称
 用于磁制冷应用的磁热合金
 (57) 摘要
 本发明涉及包括用于磁制冷应用的合金的磁热材料。在一些实施方式中,公开的合金可为钕、钆和/或钷类组合物,其为相当便宜的,并且在一些情况下仅仅接近它们的居里温度展示二阶磁相变,因此热和结构磁滞损耗有限。这使得这些组合物成为有吸引力的用于磁制冷应用的候选物。令人惊讶地,所公开的材料性能与许多已知的昂贵稀土类磁热材料类似或更好。

CN 112368790 B



[接上页]

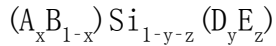
(56) 对比文件

WO 2015192274 A1, 2015.12.23

肖素芬, 陈云贵, 管登高, 滕保华, 郝春, 杨

涛, 付浩, 涂铭旌. 室温磁致冷材料的研究进展.
稀有金属材料与工程. 2003, (第11期), 1-6.

1. 一种磁热材料,包括:



其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中D选自由Cr或Mn组成的组,

且E选自由Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn组成的组,

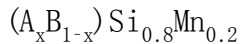
其中x在0至1的范围内,

其中y在0.05至0.3的范围内,

其中z在0至0.3的范围内,并且其中 $0.05 \leq y+z \leq 0.3$ 。

2. 根据权利要求1所述的磁热材料,其中 $y+z=0.2$ 。

3. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:

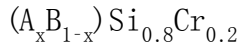


其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中x在0至1的范围内。

4. 根据权利要求3所述的磁热材料,其中所述材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Gd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Gd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Gd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Gd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Gd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Gd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Gd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Gd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Gd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 。

5. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:

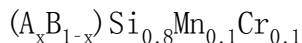


其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中x在0至1的范围内。

6. 根据权利要求5所述的磁热材料,其中所述材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Gd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Gd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Gd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Gd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Gd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Gd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Gd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Gd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Gd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 。

7. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:



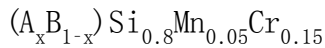
其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中x在0至1的范围内。

8. 根据权利要求7所述的磁热材料,其中所述材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、

Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}、
 Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}°

9. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:

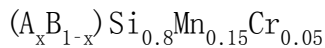


其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中x在0至1的范围内。

10. 根据权利要求9所述的磁热材料,其中所述材料为Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、
 Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}°

11. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:

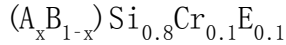


其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中x在0至1的范围内。

12. 根据权利要求11所述的磁热材料,其中所述材料为Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
 Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}°

13. 根据权利要求2所述的磁热材料,其中所述材料包括:



其中A和B选自由Ce、Nd或Gd组成的组,

其中E选自由Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn组成的组,

其中x在0至1的范围内。

14. 根据权利要求13所述的磁热材料,其中所述材料为Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、

$Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 。

15. 根据权利要求4所述的磁热材料,其中所述材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.9}Al_{0.1}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Al_{0.8}$ 、
 $Ce_{1.0}Si_{0.7}Al_{0.3}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.6}Al_{0.4}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.5}Al_{0.5}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.4}Al_{0.6}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.3}Al_{0.7}$ 、
 $Ce_{1.0}Si_{0.2}Al_{0.8}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.1}Al_{0.9}$ 或其任何组合。

16. 一种磁性冰箱,包括根据权利要求1至15中任一项所述的磁热材料。

17. 一种制造热泵的方法,包括由根据权利要求1至15中任一项所述的磁热材料制造所述热泵的至少一个部件。

用于磁制冷应用的磁热合金

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2018年2月22日提交的名称为“用于磁制冷应用的磁热合金”的美国临时专利申请号62/634,078的优先权和于2018年7月3日提交的名称为“用于磁制冷应用的磁热合金”的美国临时专利申请号62/693,719的优先权,其内容通过引用以它们整体并入本文。

[0003] 政府许可权利

[0004] 本发明是根据由能源部授予的DE-SC0015932在政府支持下完成的。政府享有本发明的某些权利。

技术领域

[0005] 本公开一般涉及包括用于磁制冷应用的合金的磁热材料。在一些实施方式中,公开的合金仅仅展示二阶磁相变,伴随有限的热或结构磁滞损耗。这使得它们成为有吸引力的用于磁制冷应用的候选物。另外,相比现有技术材料,所公开的组合物的实施方式为低成本的和高性能的。

背景技术

[0006] 磁制冷利用磁热效应(MCE),其为磁性材料暴露于磁场之后的温度变化。Plaza和Campoy, J. of Magnetism and Magnetic Mat., 321, 446 (2009) 描述了磁热效应的更详细的描述。开发低成本磁性冰箱的关键挑战是MCE材料(其通常为稀土并且非常昂贵)的成本和可得性。磁热效应(MCE)为已经成功地用于各种应用的磁性固体的固有特性。当材料接近其磁有序温度时,MCE材料对于磁场的施加或去除的热响应通常被最大化。因此,考虑用于磁制冷装置的材料必须展示接近感兴趣的温度区域的磁相变温度,即,对于氢液化 $\sim 20^\circ\text{K}$,对于氮液化 $\sim 80^\circ\text{K}$ 等。根据B.G. Shen, J.R. Sun, F.X. Hu, H.W. Zhang, 和Z.H. Cheng, Adv. Mater., 21, 4545 (2009). Kamiya等, Cryocoolers, 14, 637 (2007), 一些最常见的MCE材料包括 RNi_2 ($\text{R} = \text{Gd}, \text{Dy}$ 和 Ho)和 RA1_2 ($\text{R} = \text{Er}, \text{Ho}, \text{Dy}$ 和 $\text{Dy}_{0.5}\text{Ho}_{0.5}, \text{Dy}_x\text{Er}_{1-x}$ 和 GdPd), 其全部都为稀土并且是昂贵的,成功地证实了效率接近90%的卡诺效率的小型氢液化磁性冰箱,然而,实现14.6W的最大冷却功率,需要280g的稀土MCE材料,镝(99%纯度的批发价为 $\sim \$350/\text{kg}$)钆(99.9%纯度的批发价为 $\sim \$55/\text{kg}$)铝石榴石。这些起始材料必须进一步经历明显的加工,以获得期望的MCE特性,其可使材料成本增加10-100X。清楚地,使用传统的稀土类MCE材料实现 $>400\text{W}$ 的冷却功率的磁制冷系统的资本成本将远超过其经济可行性。

[0007] 抑制开发磁制冷技术的一种主要障碍是缺少商业上可得的低成本磁热材料(其将实际上在磁制冷环境比如被数个实体开发的主动式磁再生器(AMR)中工作长时段)。尽管已经有广泛研究发现具有磁热特性的新材料,但是大部分这些材料组合物将要求实质的工程化,以与AMR技术兼容。材料(比如 GdSiGe 或 LaFeSi 类合金)由于它们巨大的磁热效应而引起大的兴趣,然而,该效果是由于具有明显的磁性和热滞后并且也展示结构改变的一级相变,如由Shen, J.R. Sun, F.X. Hu, H.W. Zhang, 和Z.H. Cheng, Adv. Mater., 21, 4545, 2009和

V. Provenzano, A. J. Shapiro, 和 R. D. Shull, Nature, 429, 853, 2004 描述的。滞后减少了 MCE 的可逆性,使得在高频率磁化和去磁(其要求高效率 AMR)期间, MCE 的程度剧烈减少。抑制热和磁性滞后的方法是可能的,但是要求额外的材料和加工,并且也用于抑制 MCE。另外,结构改变通常表现为材料的体积扩张和收缩,造成磁化和去磁循环期间的破裂,其快速减少 MCE 响应并且降低了导热系数,使得这些材料在 AMR 中不兼容。尽管可采用提高具有一级相变的 MCE 材料的机械稳定性的方法,但是这也将要求将增加成本的大量额外的材料和加工。进一步,还未证实可扩展制造许多 MCE 材料。

发明内容

[0008] 在一些实施方式中,磁热材料可包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{1-y-z} (D_y E_z)$, 其中 A 和 B 选自由下述组成的组中: Ce、Nd 或 Gd, 其中 D 选自由下述组成的组中: Cr 或 Mn, 并且 E 选自由下述组成的组中: Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu 或 Zn, 其中 x 在约 0 至约 1.0 的范围内, 其中 y 在约 0.05 至约 0.3 的范围内, 其中 z 在约 0 至约 0.3 的范围内, 并且其中 $0.05 \leq y+z \leq 0.3$ 。

[0009] 在磁热材料的一些实施方式中, $y+z=0.1$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y+z=0.2$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y+z=0.3$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.1$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.2$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.3$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.05$ 并且 $z=0.1$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.05$ 并且 $z=0.2$ 。在磁热材料的一些实施方式中, $y=0.05$ 并且 $z=0.15$ 。

[0010] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{0.8} Mn_{0.2}$, 其中 A 和 B 选自由下述组成的组中: Ce、Nd 或 Gd, 其中 x 在约 0 至约 1.0 的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Gd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Gd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Gd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Gd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Gd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Gd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Gd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Gd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Gd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 。

[0011] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{0.8} Cr_{0.2}$, 其中 A 和 B 选自由下述组成的组中: Ce、Nd 或 Gd, 其中 x 在约 0 至约 1.0 的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Gd_{0.9} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Gd_{0.8} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Gd_{0.7} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Gd_{0.6} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Gd_{0.5} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Gd_{0.4} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Gd_{0.3} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Gd_{0.2} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Gd_{0.1} Si_{0.8} Cr_{0.2}$ 。

[0012] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$, 其中 A 和 B 选自由下述组成的组中: Ce、Nd 或 Gd, 其中 x 在约 0 至约 1.0 的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.1} Cr_{0.1}$ 、

$Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 。

[0013] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 。

[0014] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 。

[0015] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Cr_{0.1}E_{0.1}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中E选自由下述组成的组中:Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}$ 。

Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}。

[0016] 在一些实施方式中,磁热材料可包括CeSi_yAl_{1-y},其中y大于0并且小于1。在一些实施方式中,材料为Ce_{1.0}Si_{0.9}Al_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Al_{0.8}、Ce_{1.0}Si_{0.7}Al_{0.3}、Ce_{1.0}Si_{0.6}Al_{0.4}、Ce_{1.0}Si_{0.5}Al_{0.5}、Ce_{1.0}Si_{0.4}Al_{0.6}、Ce_{1.0}Si_{0.3}Al_{0.7}、Ce_{1.0}Si_{0.2}Al_{0.8}、Ce_{1.0}Si_{0.1}Al_{0.9}或其任何组合。

[0017] 另一实施方式为包括磁热材料的磁性冰箱。在一些实施方式中,磁性冰箱包括磁热材料,其中磁热材料包括(A_xB_{1-x})Si_{1-y-z}(D_yE_z),其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中D选自由下述组成的组中:Cr或Mn,并且E选自由下述组成的组中:Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内,其中y在约0.05至约0.3的范围内,其中z在约0至约0.3的范围内,并且其中0.05≤y+z≤0.3。在一些实施方式中,磁性冰箱包括磁热材料,其中磁热材料包括CeSi_yAl_{1-y},其中y大于0并且小于1。

[0018] 另一实施方式为制造热泵的方法,包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件。在一些实施方式中,制造热泵的方法包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件,其中磁热材料包括(A_xB_{1-x})Si_{1-y-z}(D_yE_z),其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中D选自由下述组成的组中:Cr或Mn,并且E选自由下述组成的组中:Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内,其中y在约0.05至约0.3的范围内,其中z在约0至约0.3的范围内,并且其中0.05≤y+z≤0.3。在一些实施方式中,制造热泵的方法包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件,其中磁热材料包括CeSi_yAl_{1-y},其中y大于0并且小于1。

[0019] 一些实施方式涉及包括用于磁制冷应用的合金的磁热材料。在一些实施方式中,公开合金可为相当便宜的铈、钕和/或钆类组合物,并且在一些情况下,仅仅展示接近它们居里温度的二阶磁相变,因此热和结构磁滞损耗有限。这使得这些组合物成为有吸引力的用于磁制冷应用的候选物。令人惊讶地,公开的材料性能与许多已知的昂贵稀土类磁热材料类似或更好。

[0020] 为了总结本发明的方面和相对于现有技术实现的优势的目的,本公开中描述了本发明的某些目标和优势。当然,应理解,按照本发明的任何特别的实施方式可不必实现所有

这些目标或优势。因此,例如,本领域技术人员将认识到,本发明可以实现或优化如本文教导的一种优势或一组优势的方式体现或进行,而无须实现如本文可教导或建议的其他目标或优势。

[0021] 进一步方面,本发明的特征和优势将从下面的实施方式的详细描述中变得显而易见。

附图说明

[0022] 图1阐释了对于Nd_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}合金的熵对温度的变化。

[0023] 图2阐释了对于数个公开的合金的磁化强度对温度。

[0024] 图3阐释了对于Ce_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}合金的磁化强度对温度。

[0025] 图4阐释了对于数个公开的合金的熵对温度的变化。

[0026] 图5阐释了对于数个公开的合金的磁化强度对温度。

[0027] 图6阐释了对于Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0028] 图7阐释了对于数个公开的合金的磁化强度对温度。

[0029] 图8阐释了对于Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0030] 图9阐释了对于数个公开的合金的磁化强度对温度。

[0031] 图10阐释了对于Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0032] 图11阐释了对于数个公开的合金的磁化强度对温度。

[0033] 图12阐释了对于Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0034] 图13阐释了对于Ce_{1.0}Si_{0.9}Al_{0.1}合金的磁化强度对温度。

[0035] 图14阐释了对于数个用不同退火工艺的磁热合金的熵对温度的变化。

[0036] 图15阐释了对于用1400°C退火2小时的Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0037] 图16阐释了对于用1300°C退火6小时的Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}合金的熵对温度的变化。

[0038] 图17阐释了对于用1300°C退火6小时的Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}合金的熵对温度的变化。

[0039] 图18阐释了对于用1200°C退火12小时的Gd_{0.5}Ce_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}合金的熵对温度的变化。

[0040] 图19阐释了对于用1200°C退火12小时的Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}合金的熵对温度的变化。

[0041] 图20阐释了对于用1100°C退火4周的Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}合金的熵对温度的变化。

具体实施方式

[0042] 磁热效应(MCE)为其中适当的材料的温度变化是由将材料暴露于变化的磁场而造成的现象。磁热效应可用下面的方程式量化:

$$[0043] \quad \Delta T_{ad} = - \int_{H_0}^{H_1} \left(\frac{T}{C(T, H)} \right)_H \left(\frac{\partial M(T, H)}{\partial T} \right)_H dH$$

[0044] 其中T为温度, H为施加的磁场, C为工作磁体(制冷剂)的热容量并且M为制冷剂的

磁化强度。材料的温度变化是由材料的熵的变化而造成的。

[0045] 如本文使用的术语“磁热效应”包括其中材料的温度变化是由将材料暴露于变化的磁场而造成的任何现象。

[0046] 通过大部分磁热材料展示的磁热效应如下：当磁场移动接近或接触磁热材料时，磁热材料的温度增加，并且其中当磁场移动远离磁热材料时，磁热材料的温度降低。随着施加和去除磁场而经历磁热效应的材料包括但不限于钆类合金。在一些实施方式中，磁热材料展示磁热效应，其中当磁场移动接近或接触磁热材料时，磁热材料的温度增加，并且其中当磁场移动远离磁热材料时，磁热材料的温度降低。

[0047] 然而，一些磁热材料展示逆磁热效应，其中当磁场移动接近或接触磁热材料时，磁热材料的温度降低，并且其中当磁场移动远离磁热材料时，磁热材料的温度增加。随着施加和去除磁场而经历逆磁热效应的材料包括但不限于赫斯勒 (Heusler) 合金，赫斯勒合金包括但不限于NiMn类合金。在一些实施方式中，磁热材料展示逆磁热效应，其中当磁场移动接近或接触磁热材料时，磁热材料的温度降低，并且其中当磁场移动远离磁热材料时，磁热材料的温度增加。

[0048] 本公开涉及具有二阶磁相变的磁热合金。一些实施方式可提供包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{1-y-z} (Mn_y Cr_z)$ 的磁热材料，其中A和B选自由下述组成的组中：Ce、Nd或Gd，其中D选自由下述组成的组中：Cr或Mn，并且E选自由下述组成的组中：Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn，其中x在约0至约1.0的范围内，其中y在约0.05至约0.3的范围内，其中z在约0至约0.3的范围内，并且其中 $0.05 \leq y+z \leq 0.3$ 。

[0049] 令人惊讶地，发现用不同的元素比如Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn替换Si改变了磁热特性 (ΔS 和/或居里温度) 并且也提高了在室温下在空气中对氧化的抗性。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.1$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.2$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.3$ 。在一些实施方式中，当 $y+z=0.2$ 时实现最佳性能。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.2$ 。在一些实施方式中，用铬替换至少量的硅明显提高了材料对氧化的抗性。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.1$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.2$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y+z=0.3$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.1$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.2$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.3$ 并且 $z=0$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.05$ 并且 $z=0.1$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.05$ 并且 $z=0.05$ 。在磁热材料的一些实施方式中， $y=0.05$ 并且 $z=0.15$ 。

[0050] 在一些实施方式中，磁热材料包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{0.8} Mn_{0.2}$ ，其中A和B选自由下述组成的组中：Ce、Nd或Gd，其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中，材料为 $Ce_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1} Nd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2} Nd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3} Nd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4} Nd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5} Nd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6} Nd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7} Nd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8} Nd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9} Nd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1} Gd_{0.9} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2} Gd_{0.8} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3} Gd_{0.7} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4} Gd_{0.6} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5} Gd_{0.5} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6} Gd_{0.4} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7} Gd_{0.3} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8} Gd_{0.2} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9} Gd_{0.1} Si_{0.8} Mn_{0.2}$ 。

[0051] 在一些实施方式中，磁热材料包括 $(A_x B_{1-x}) Si_{0.8} Cr_{0.2}$ ，其中A和B选自由下述组成的

组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 。

[0052] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 。

[0053] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.05}Cr_{0.15}$ 。

[0054] 在一些实施方式中,磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 、

Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、
Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}。

[0055] 在一些实施方式中,磁热材料包括(A_xB_{1-x})Si_{0.8}Cr_{0.1}E_{0.1},其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中E选自由下述组成的组中:Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内。在一些实施方式中,材料为Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、
Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Fe_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Al_{0.1}、
Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、
Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}、Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、
Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、
Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}、

$Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Co_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Cu_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Cu_{0.1}$ 、
 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.1}Nd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.2}Nd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.3}Nd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.4}Nd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.6}Nd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.7}Nd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Gd_{0.8}Nd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Gd_{0.9}Nd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.1}Gd_{0.9}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.3}Gd_{0.7}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.4}Gd_{0.6}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.6}Gd_{0.4}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.7}Gd_{0.3}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 、
 $Ce_{0.8}Gd_{0.2}Si_{0.8}Ce_{0.1}Zn_{0.1}$ 、 $Ce_{0.9}Gd_{0.1}Si_{0.8}Cr_{0.1}Zn_{0.1}$ 。

[0056] 在一些实施方式中,磁热材料可包括 $CeSi_yAl_{1-y}$,其中y大于0并且小于1。在一些实施方式中,材料为 $Ce_{1.0}Si_{0.9}Al_{0.1}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.8}Al_{0.8}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.7}Al_{0.3}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.6}Al_{0.4}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.5}Al_{0.5}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.4}Al_{0.6}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.3}Al_{0.7}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.2}Al_{0.8}$ 、 $Ce_{1.0}Si_{0.1}Al_{0.9}$ 或其任何组合。

[0057] 另一实施方式为包括磁热材料的磁性冰箱。在一些实施方式中,磁性冰箱包括磁热材料,其中磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{1-y-z}(D_yE_z)$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中D选自由下述组成的组中:Cr或Mn,并且E选自由下述组成的组中:Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内,其中y在约0.05至约0.3的范围内,其中z在约0至约0.3的范围内,并且其中 $0.05 \leq y+z \leq 0.3$ 。在一些实施方式中,磁性冰箱包括磁热材料,其中磁热材料包括 $CeSi_yAl_{1-y}$,其中y大于0并且小于1。

[0058] 另一实施方式为制造热泵的方法,包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件。在一些实施方式中,制造热泵的方法包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件,其中磁热材料包括 $(A_xB_{1-x})Si_{1-y-z}(D_yE_z)$,其中A和B选自由下述组成的组中:Ce、Nd或Gd,其中D选自由下

述组成的组中:Cr或Mn,并且E选自由下述组成的组中:Cr、Mn、Fe、Al、Ni、Co、Cu或Zn,其中x在约0至约1.0的范围内,其中y在约0.05至约0.3的范围内,其中z在约0至约0.3的范围内,并且其中 $0.05 \leq y+z \leq 0.3$ 。在一些实施方式中,制造热泵的方法包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件,其中磁热材料包括 $\text{CeSi}_y\text{Al}_{1-y}$,其中y大于0并且小于1。

[0059] 可用材料的组成的少许改变来调整磁热材料的响应温度(居里温度或转变温度)。在一些实施方式中,通过改变材料的组成而调整磁热材料的响应温度。在一些实施方式中,磁热材料在约1°K至约350°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。在一些实施方式中,磁热材料在约10°K至约50°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。在一些实施方式中,磁热材料在约50°K至约1000°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。在一些实施方式中,磁热材料在约100°K至约350°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。在一些实施方式中,磁热材料在约50°K至约200°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。在一些实施方式中,磁热纳米材料在约10°K至约80°K的范围内的任何温度下,展示磁热效应。

[0060] 可使用各种方法比如电弧熔化、感应熔化或任何其他类型的金属熔化工艺来合成磁热材料。在一些实施方式中,使用电弧熔化熔炉来合成磁热材料。在一些实施方式中,使用感应熔化熔炉来合成磁热材料。在一些实施方式中,使用旋转盘雾化熔炉来合成磁热材料。在一些实施方式中,使用悬浮熔化熔炉来合成磁热材料。

[0061] 在合成磁热合金之后,退火工艺可用于使材料匀化。在一些情况下,退火提高和/或转变磁热特性(ΔS 或居里温度)。退火可在各种熔炉类型(包括辐射熔炉、感应熔炉、管熔炉等)中进行。最佳退火温度和时间可取决于磁热材料组成而改变。在一些实施方式中,退火温度在约700°C和约2000°C之间。在一些实施方式中,退火时间在约30min和约6周之间。

[0062] 为了总结本发明的方面和相对于现有技术实现的优势的目的,本公开中描述了本发明的某些目标和优势。当然,应理解,按照本发明任何特别的实施方式可不必实现所有这些目标或优势。因此,例如,本领域技术人员将认识到,本发明可以实现或优化如本文教导的一种优势或一组优势的方式体现或进行,而无须实现如本文可教导或建议的其他目标或优势。

[0063] 进一步的方面,本发明的特征和优势将从下面的详细示例实施方式中变得显而易见。

[0064] 实施例

[0065] 将结合不旨在限制本发明的优选的实施方式解释实施方式。进一步,在本公开中,在未指出条件和/或结构的情况下,鉴于本文的教导根据常规实验,本领域技术人员可容易提供这种条件和/或结构。

[0066] 本公开的目标是提供用于磁制冷应用的磁热材料。

[0067] 实施例1

[0068] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Nd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。对于接近125°K发生二级相变的 $\text{Nd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 合金,图1显示了 ΔS 对温度的图表并且图2显示了磁化强度对温度的图表。

[0069] 实施例2

[0070] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Nd}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图2显示了对于接近225°K发生二级相变的 $\text{Nd}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度

的图表。

[0071] 实施例3

[0072] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图2显示了对于接近125°K发生二级相变的 $Gd_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0073] 实施例4

[0074] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Ce_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图3显示了对于接近7°K发生二级相变的 $Ce_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0075] 实施例5

[0076] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.9}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图4显示了对于接近235°K发生二级相变的 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.9}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0077] 实施例6

[0078] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.7}Mn_{0.1}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图4显示了对于接近235°K发生二级相变的 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.7}Mn_{0.1}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0079] 实施例7

[0080] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.7}Mn_{0.2}Cr_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图4显示了对于接近235°K发生二级相变的 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.7}Mn_{0.2}Cr_{0.1}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0081] 实施例8

[0082] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图4显示了对于接近235°K发生二级相变的 $Nd_{0.5}Gd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。该数据显示了 $y+z=2$ 的最佳掺杂浓度,其中 y 和 z 二者都大于0。

[0083] 实施例9

[0084] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图4显示了对于接近293°K发生二级相变的 $Nd_{0.2}Gd_{0.8}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0085] 实施例10

[0086] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{1.0}Si_{0.9}Cr_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图5显示了对于接近75°K发生二级相变的 $Nd_{1.0}Si_{0.9}Cr_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0087] 实施例11

[0088] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图6显示了对于接近75°K发生二级相变的 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表并且图5显示了对于接近75°K发生二级相变的 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0089] 实施例12

[0090] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图7显示了对于接近75°K发生二级相变的 $Nd_{1.0}Si_{0.9}Mn_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0091] 实施例13

[0092] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Nd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图8显示了对于接近75°K发生二级相变的 $\text{Nd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表并且图7显示了对于接近75°K发生二级相变的 $\text{Nd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0093] 实施例14

[0094] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图9显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0095] 实施例15

[0096] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图9显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0097] 实施例16

[0098] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图10显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表并且图9显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0099] 实施例17

[0100] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图9显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0101] 实施例18

[0102] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图11显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0103] 实施例19

[0104] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图12显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表并且图11显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0105] 实施例20

[0106] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.7}\text{Cr}_{0.3}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图11显示了对于接近325°K发生二级相变的 $\text{Gd}_{1.0}\text{Si}_{0.7}\text{Cr}_{0.3}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0107] 实施例21

[0108] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Ce}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Al}_{0.1}$ 铸块。铸块为经测量的毛胚铸件。图13显示了对于接近7°K发生二级相变的 $\text{Ce}_{1.0}\text{Si}_{0.9}\text{Al}_{0.1}$ 合金的磁化强度对温度的图表。

[0109] 实施例22

[0110] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $\text{Gd}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Cr}_{0.1}$ 铸块。铸块在1300°C的感应熔炉中在流动的氩气下退火1小时。图14显示了对于接近160°K发生相变的 $\text{Gd}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{Si}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Cr}_{0.1}$ 合金的在3T场下的 ΔS 对温度的图表。

[0111] 实施例23

[0112] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 铸块。铸块在 $1300^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火6小时。图14显示了对于接近 $160^{\circ}K$ 和 $240^{\circ}K$ 下发生双相变的 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.1}Cr_{0.1}$ 合金的在3T场下的 ΔS 对温度的图表。

[0113] 实施例24

[0114] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 铸块。铸块在 $1300^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火6小时。图14显示了对于接近 $230^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.15}Cr_{0.05}$ 合金的在3T场下的 ΔS 对温度的图表。

[0115] 实施例25

[0116] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.2}$ 铸块。铸块在 $1300^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火6小时。图14显示了对于接近 $245^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Mn_{0.2}$ 合金的在3T场下的 ΔS 对温度的图表。

[0117] 实施例26

[0118] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块在 $1400^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火2小时。图15显示了对于接近 $330^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0119] 实施例26

[0120] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 铸块。铸块在 $1300^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火6小时。图16显示了对于接近 $160^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0121] 实施例27

[0122] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}$ 铸块。铸块在 $1300^{\circ}C$ 的感应熔炉中在流动的氩气下退火6小时。图17显示了对于接近 $160^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{0.5}Nd_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.1}Ni_{0.1}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0123] 实施例28

[0124] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{0.5}Ce_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块在 $1200^{\circ}C$ 下的感应熔炉中在流动的氩气下退火12小时。图18显示了对于接近 $125^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{0.5}Ce_{0.5}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0125] 实施例29

[0126] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 铸块。铸块在 $1200^{\circ}C$ 下的感应熔炉中在流动的氩气下退火12小时。图19显示了对于接近 $70^{\circ}K$ 发生相变的 $Nd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.1}Co_{0.1}$ 合金的 ΔS 对温度的图表。

[0127] 实施例30

[0128] 通过在氩气氛中进行电弧熔化制备 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 铸块。铸块密封在氩下的石英管中并且在 $1100^{\circ}C$ 下的辐射熔炉中退火4周。图20显示了对于接近 $340^{\circ}K$ 发生相变的 $Gd_{1.0}Si_{0.8}Cr_{0.2}$ 合金的 ΔS 对温度的图。

[0129] 实施例31

[0130] 通过下述步骤制造包括公开的磁热材料的示例磁性冰箱:1) 将磁热材料制备成薄板或毫米尺寸的球形团块,2) 将磁热材料放置在磁场中,其中磁场的施加使得材料加热,3) 使用传热流体,以去除来自磁热材料的热,4) 接着去除磁场,使得磁热材料冷却,5) 接着将

冷却的磁热材料暴露于期望的冷藏环境,其中来自冷藏环境的热转移至磁热材料,6)接着重复步骤1至5,以创建冷藏循环,同时在冷藏环境中保持期望的冷却温度。

[0131] 实施例32

[0132] 通过与实施例13中类似的下述步骤制造包括公开的磁热材料的示例磁性冰箱,只是在步骤5中使用传热流体,以将冷却的磁热材料暴露于期望的冷藏环境,其中来自冷藏环境的热转移至传热流体。

[0133] 实施例33

[0134] 通过将并入所公开的发明的至少一种磁热材料、至少一个永磁体和至少一种机械移动系统,制造包括由磁热材料制造热泵的至少一个部件的示例热泵;其中当通过机械移动系统进行至少一个振荡循环时,通过永磁体产生的磁场确保了磁热材料的磁热效应,其中当磁热材料移动进入或离开磁场时,发生磁热材料的温度的改变;并且其中机械移动系统通过物理移动永磁体、磁热材料、磁体屏蔽材料或其任何组合来进行至少一个振荡循环;并且其中至少一个振荡循环包括将磁场以预定的磁场攀升速度暴露于磁热材料,保持磁场接近或接触磁热材料指定的接触保持时间,以预定的下降速度从磁热材料去除磁场,并且保持磁场远离磁热材料指定的去除保持时间;并且其中至少一个振荡循环优化为在热泵装置的一个侧面上提供冷却。

[0135] 为了总结本发明的方面和相对于现有技术实现的优势的目的,本公开中描述了本发明的某些目标和优势。当然,应理解,按照本发明任何特别的实施方式可不必实现所有这些目标或优势。因此,例如,本领域技术人员将认识到,本发明可以以实现或优化如本文教导的一种优势或一组优势的方式体现或进行,而无须实现如本文可教导或建议的其他目标或优势。本领域技术人员将理解,在不背离本发明的精神的情况下,可进行许多和各种修饰。所以,应清楚地理解,本发明的形式仅仅为阐释性的并且不旨在限制本发明的范围。

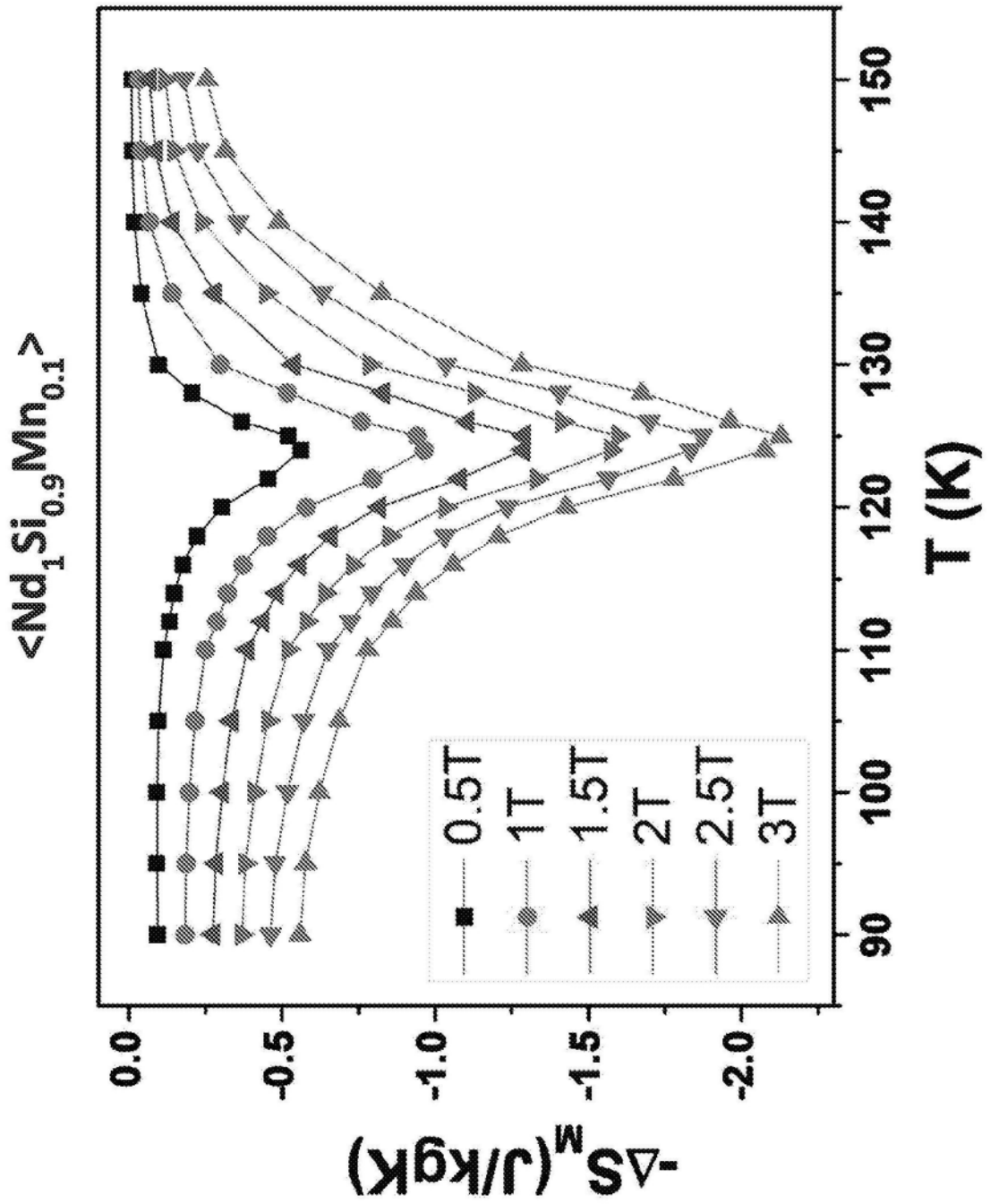


图1

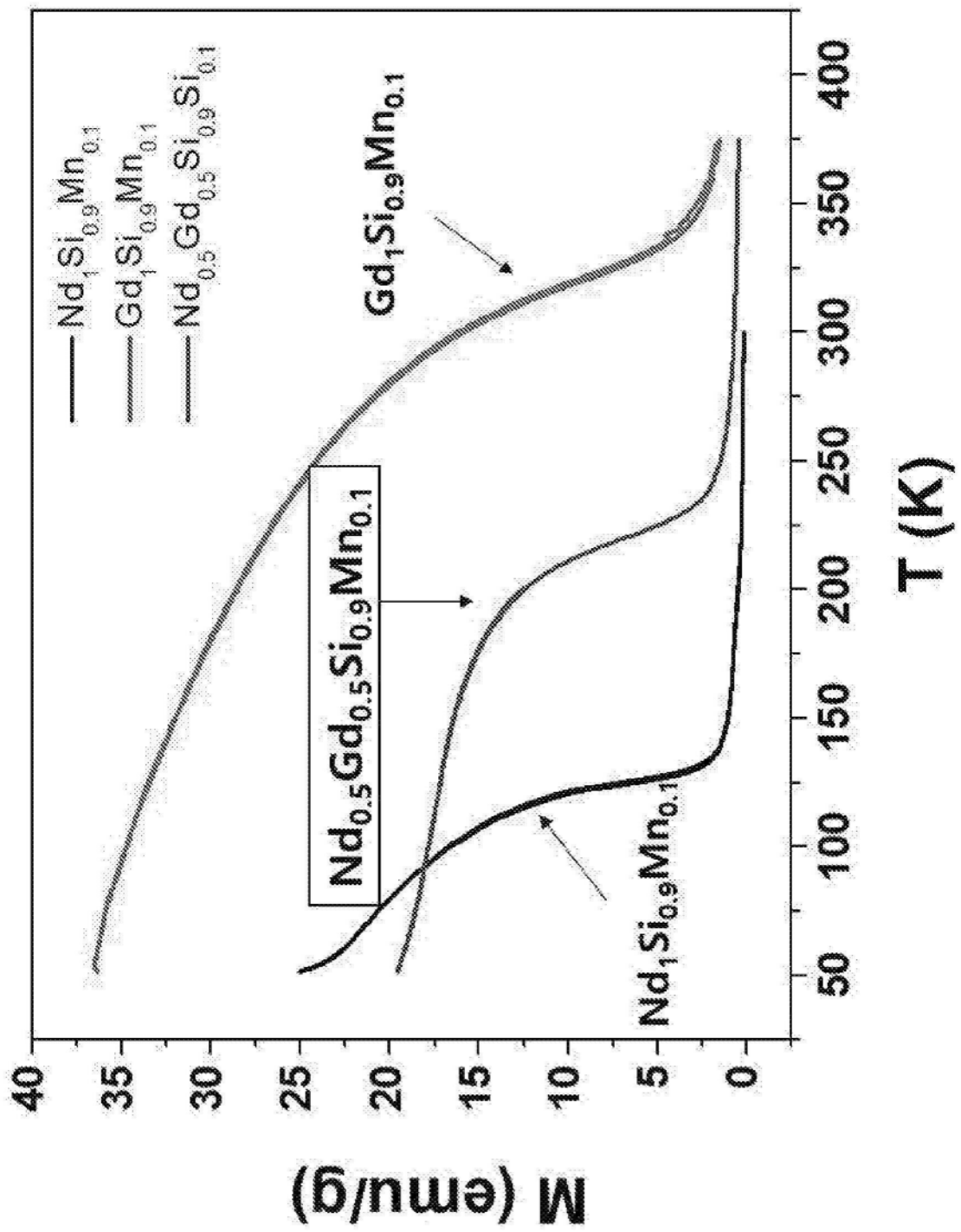


图2

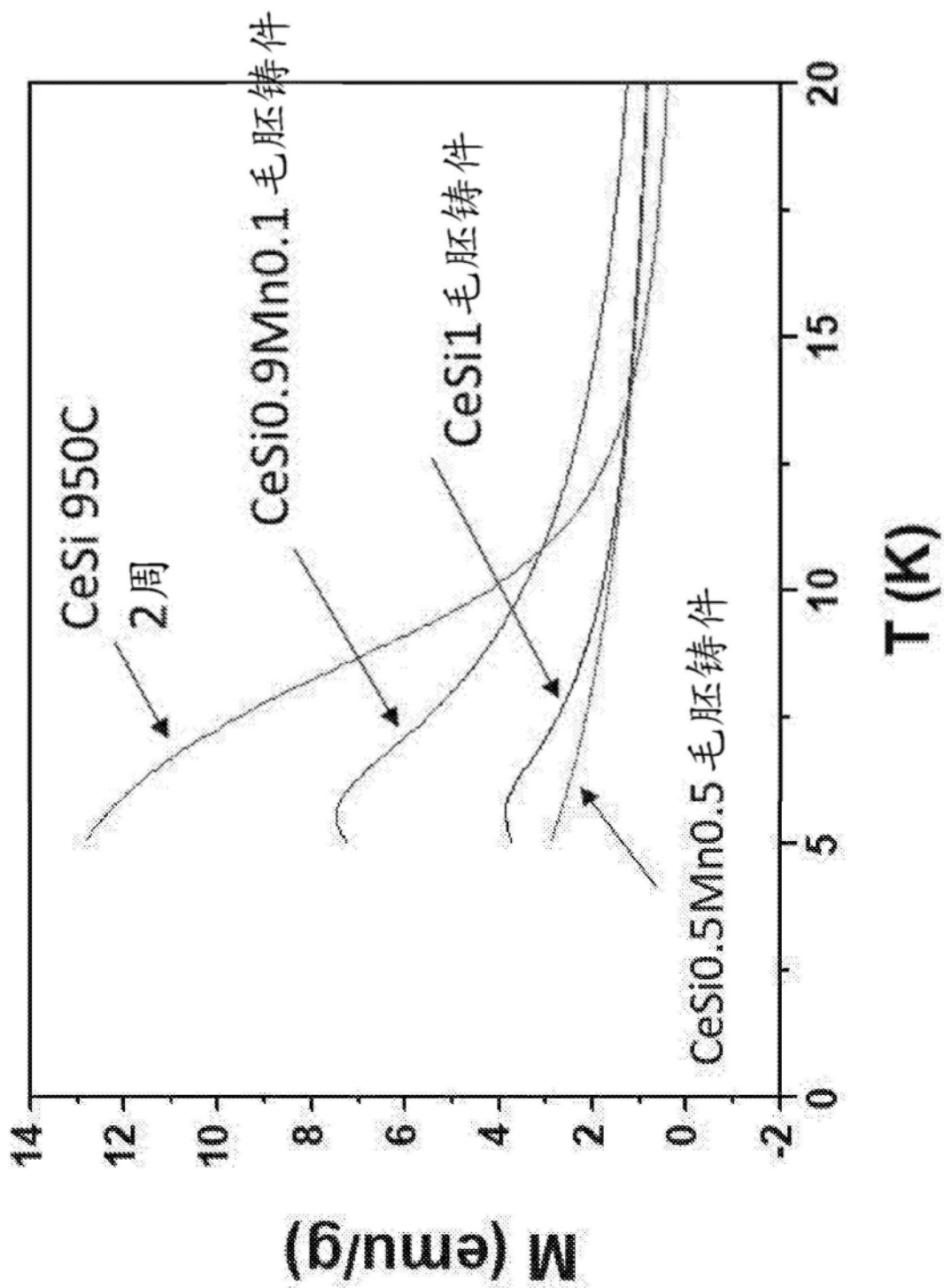


图3

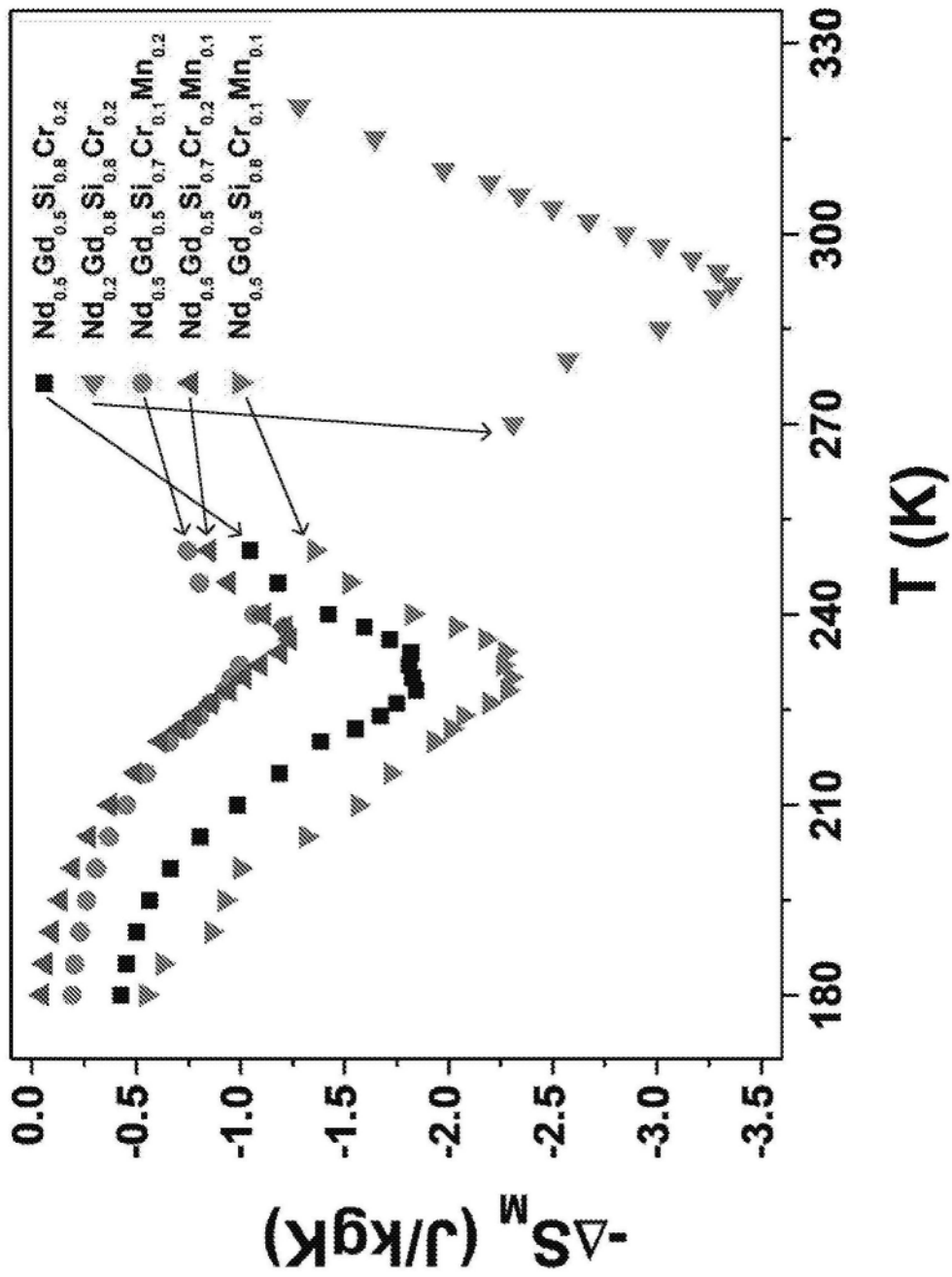


图4

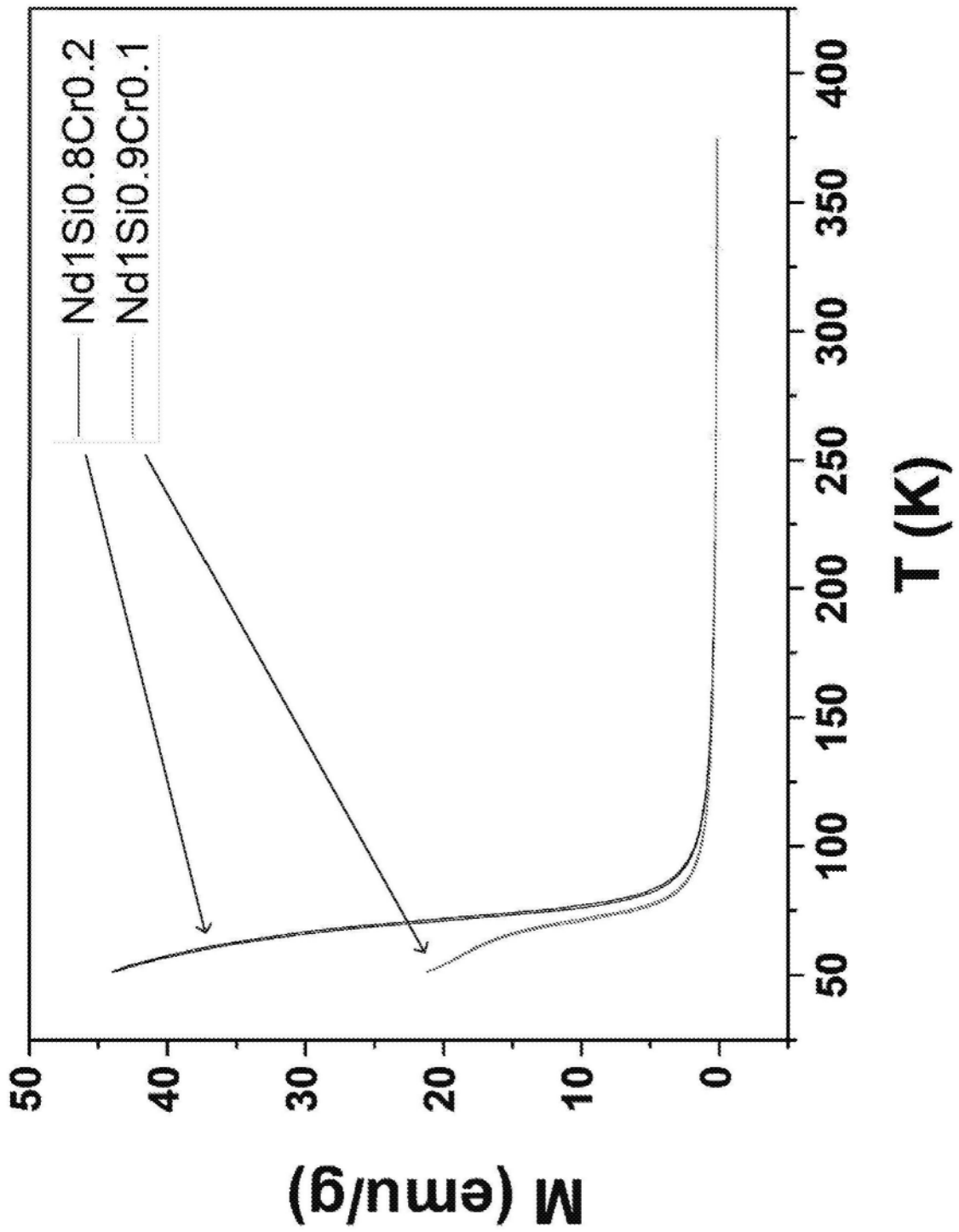


图5

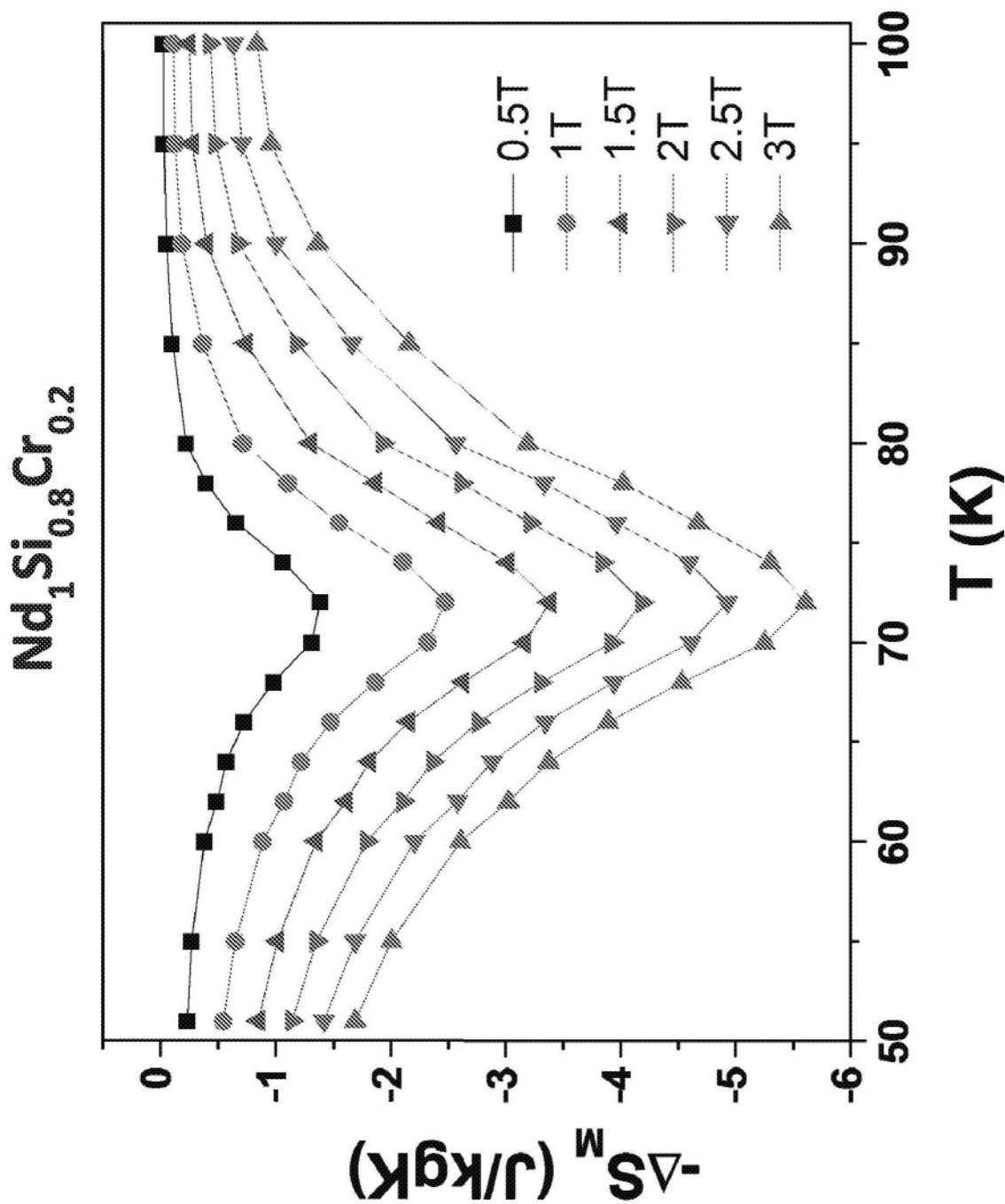


图6

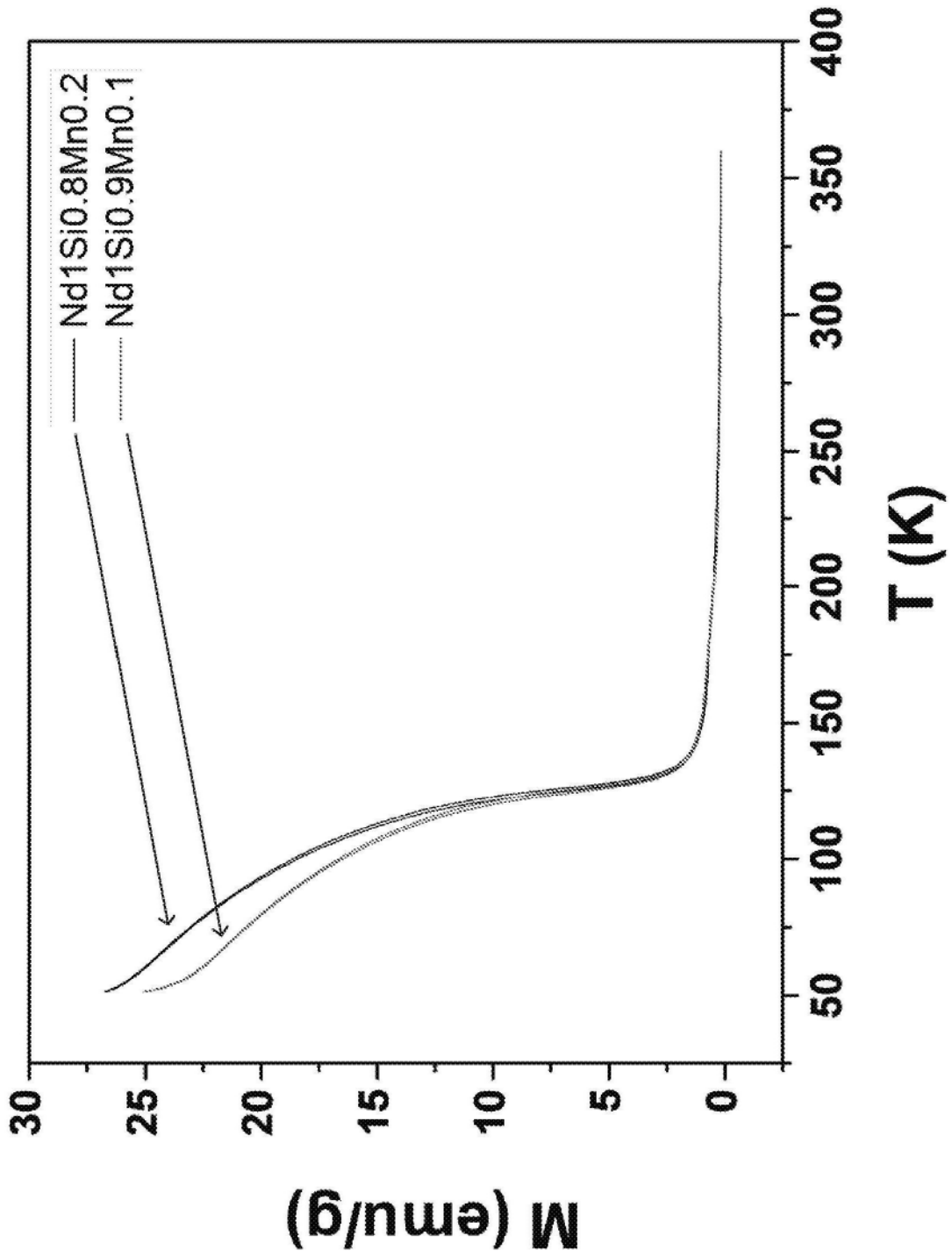


图7

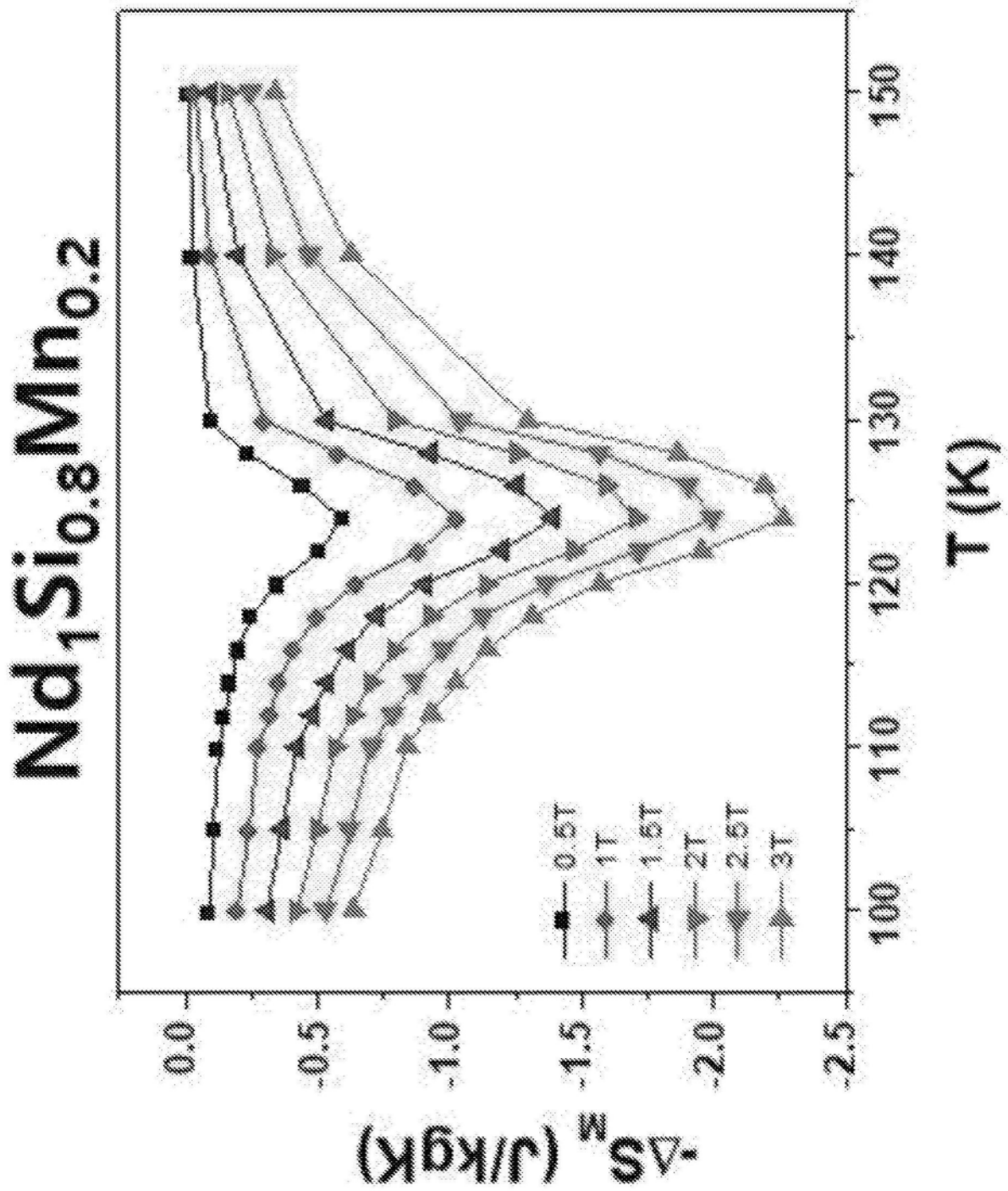


图8

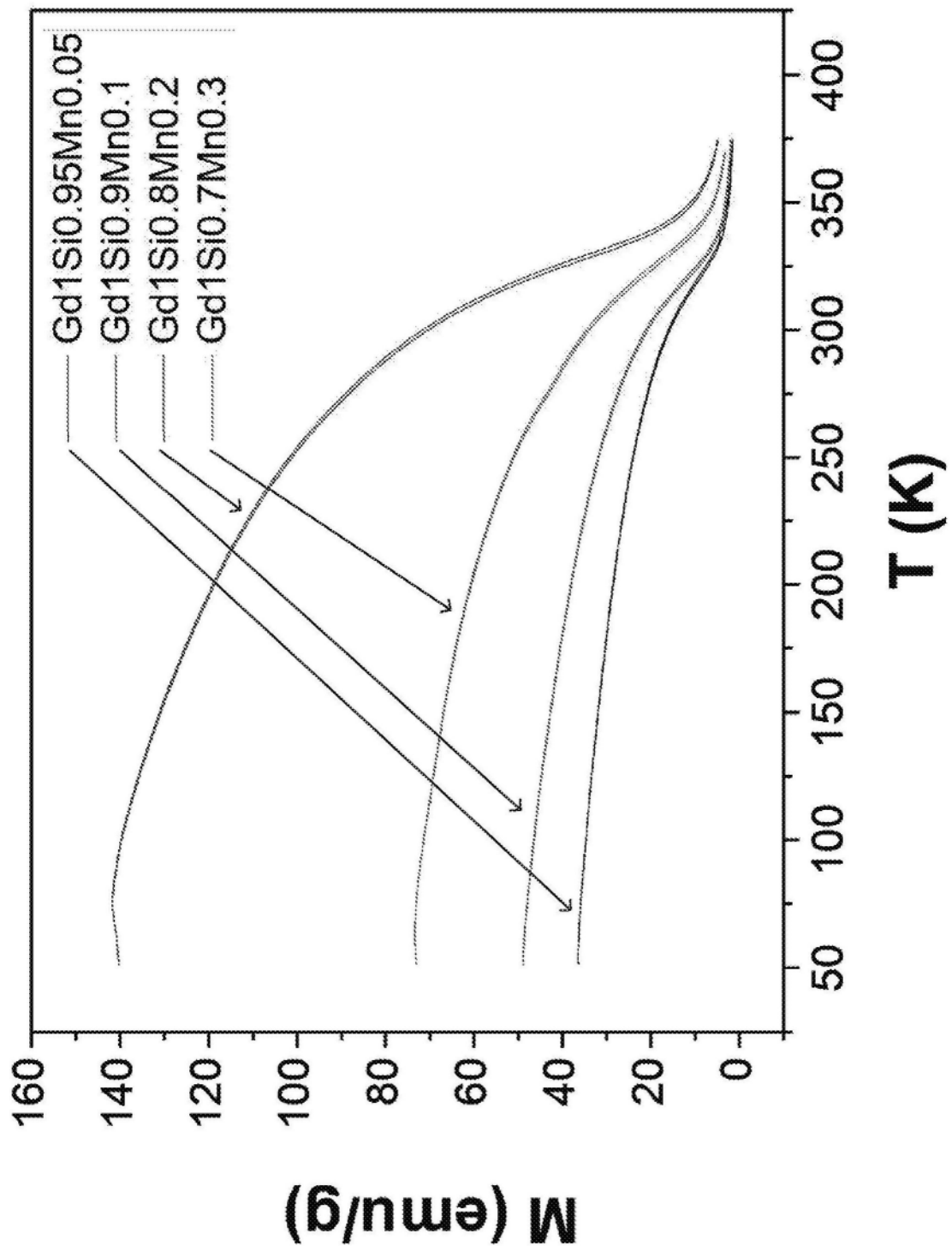


图9

Gd₁Si_{0.8}Mn_{0.2} 毛胚铸件

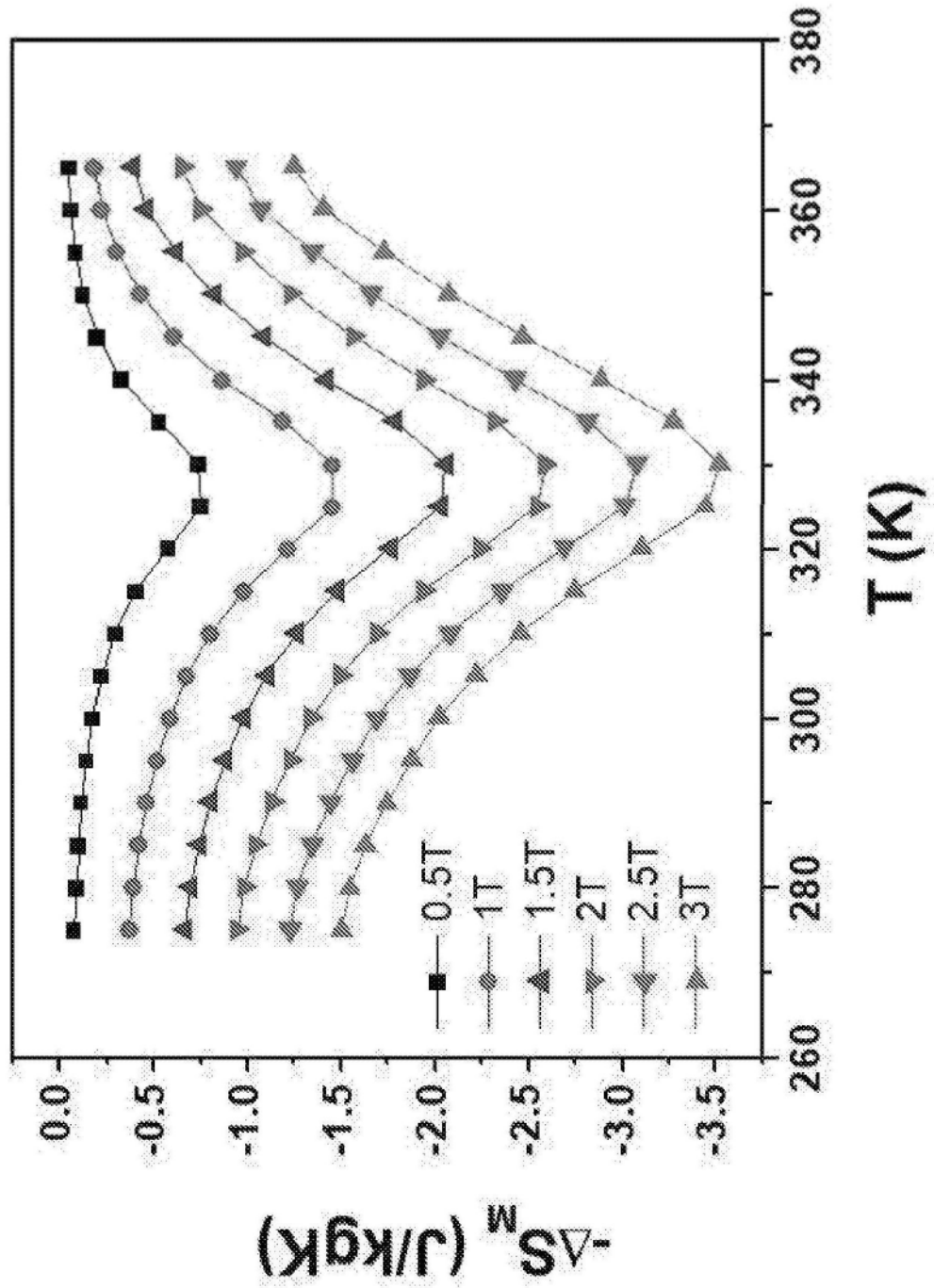


图10

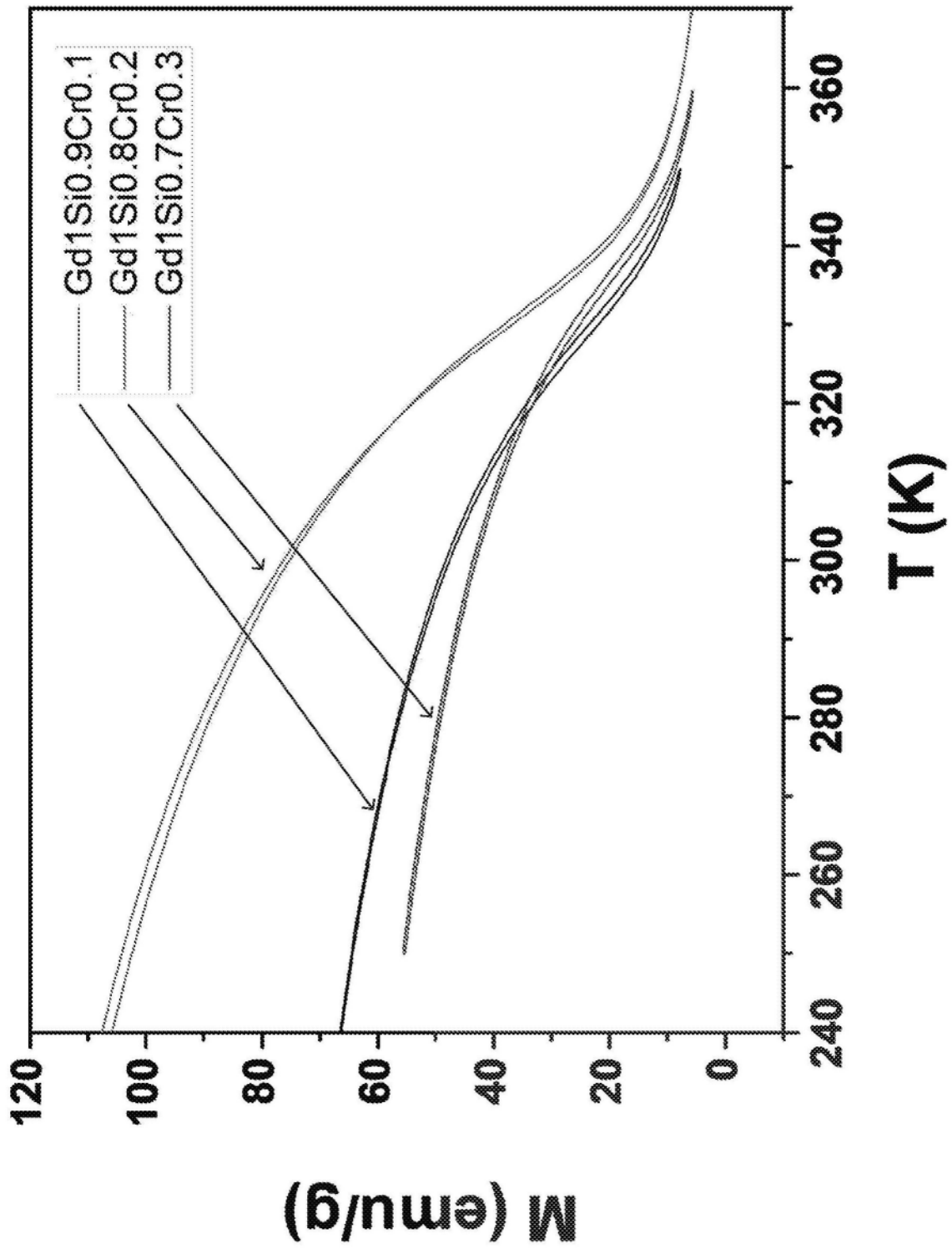


图11

Gd₁Si_{0.8}Cr_{0.2} 毛胚铸件

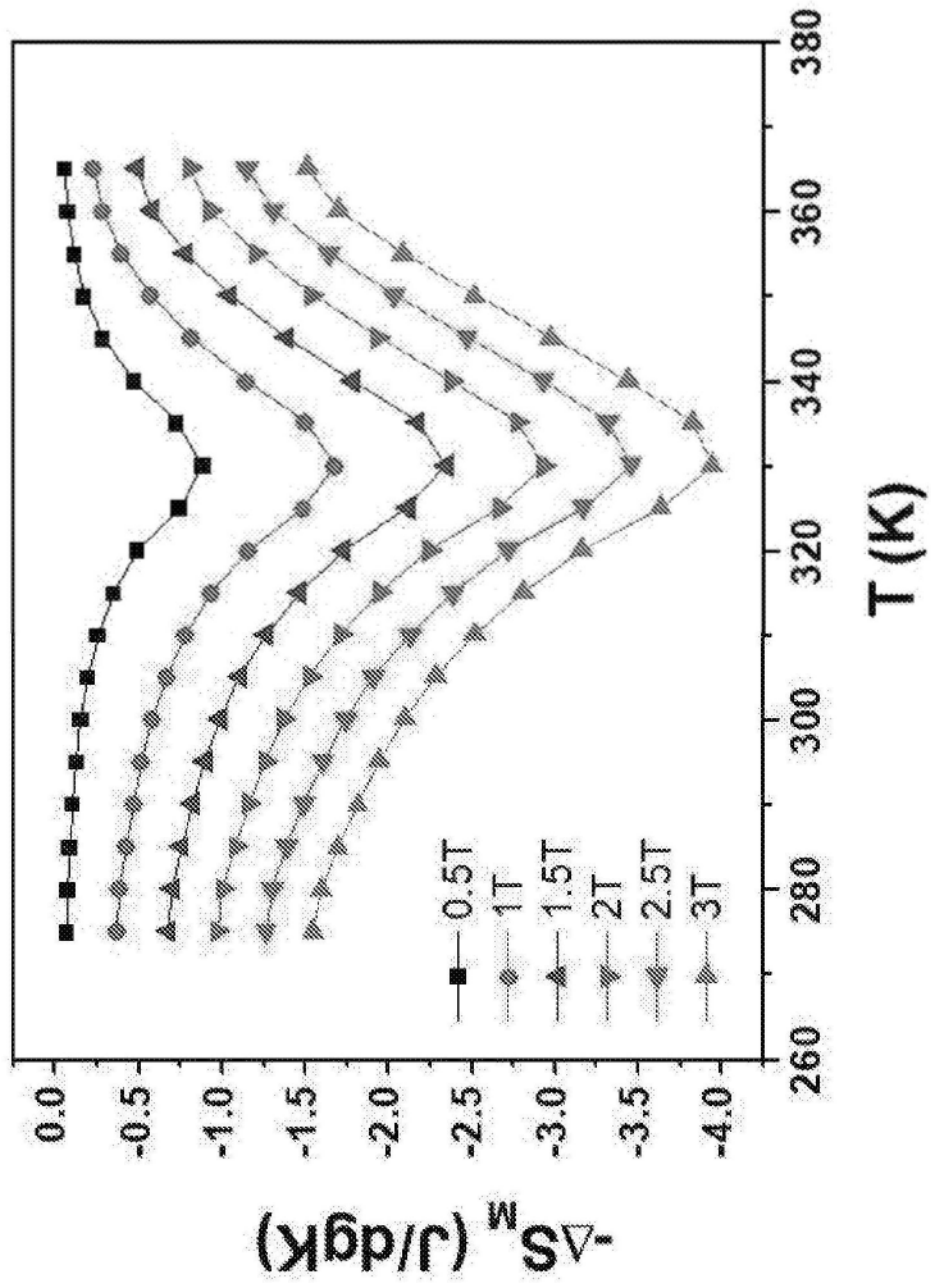


图12

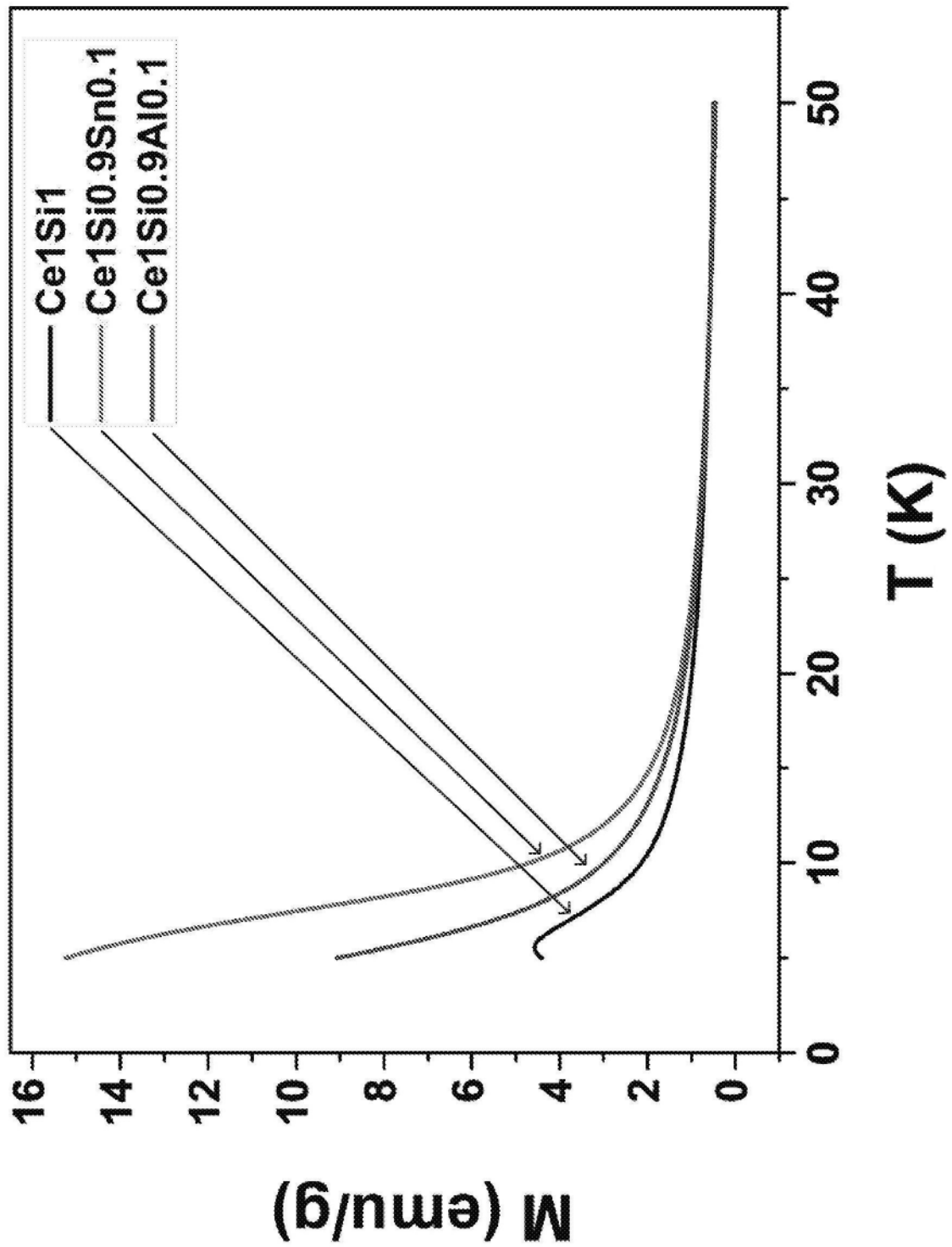


图13

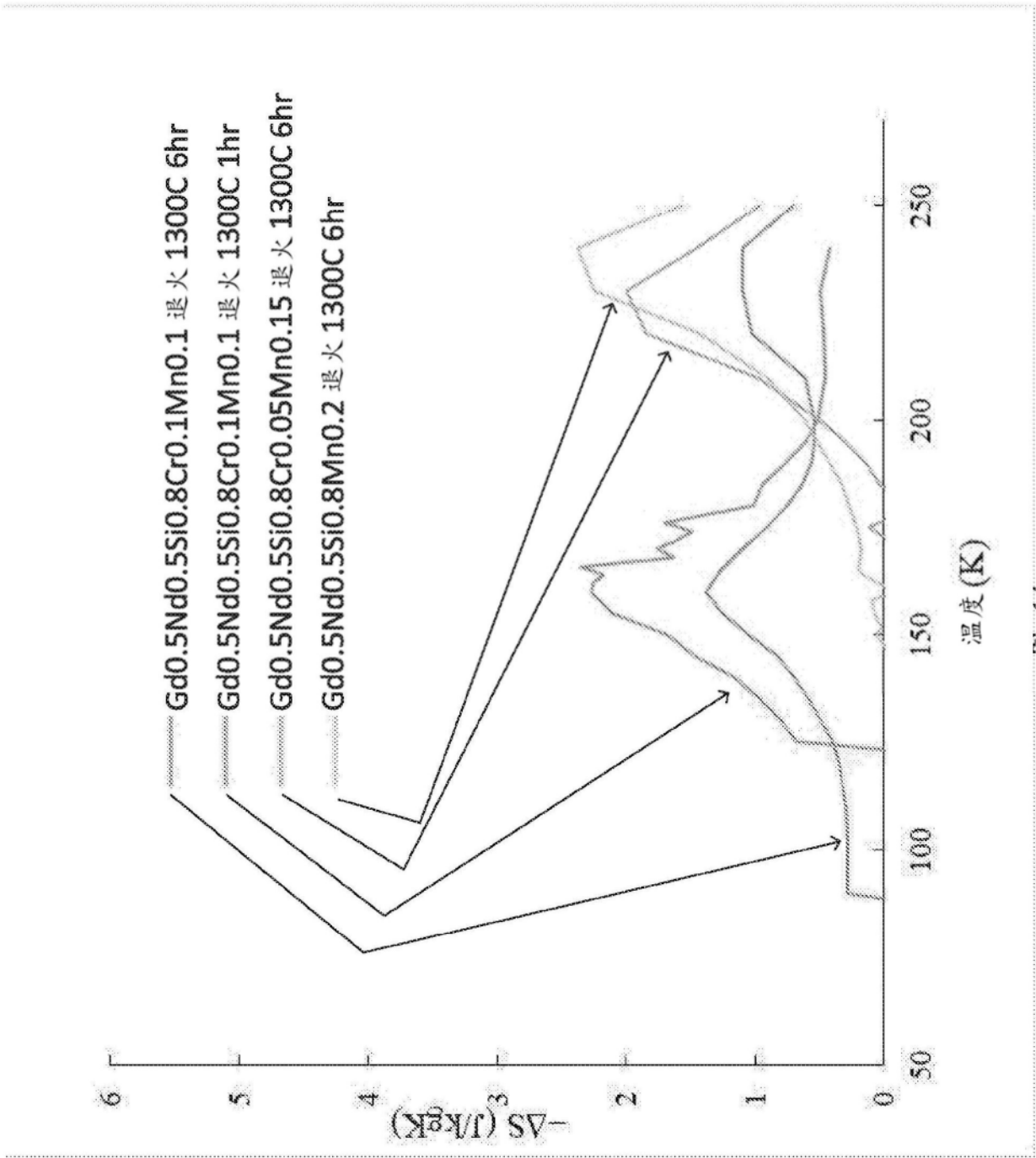


图14

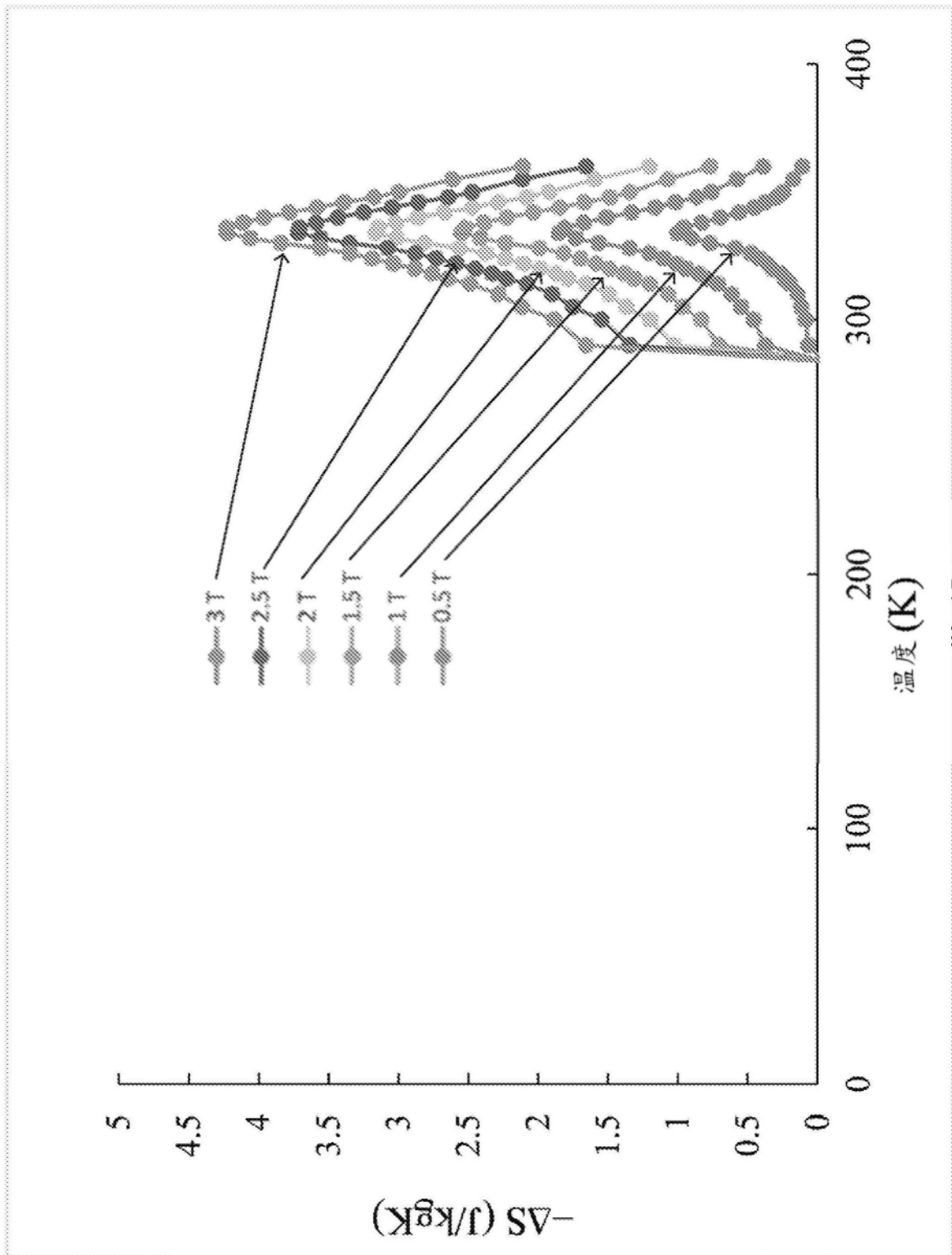


图15

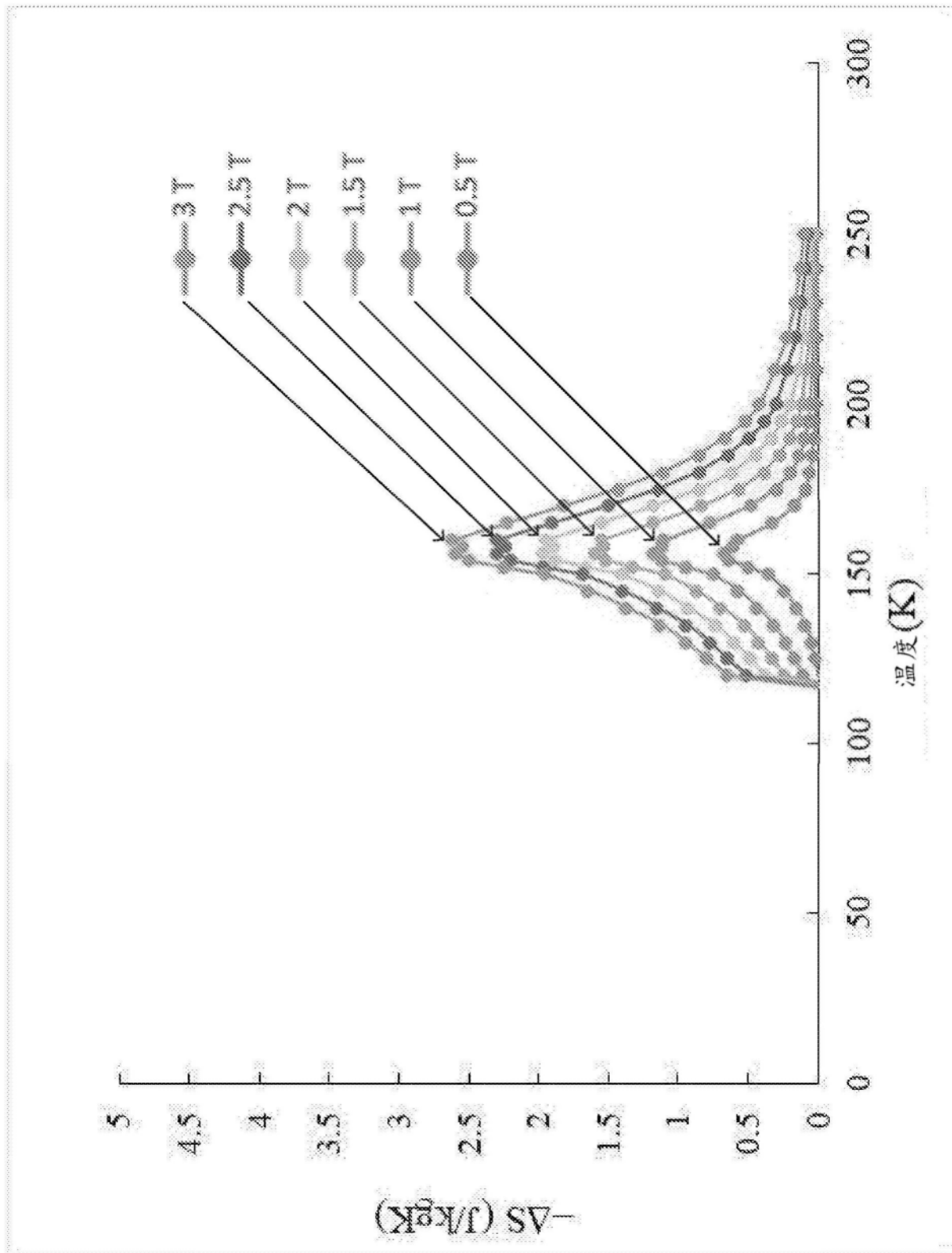


图16

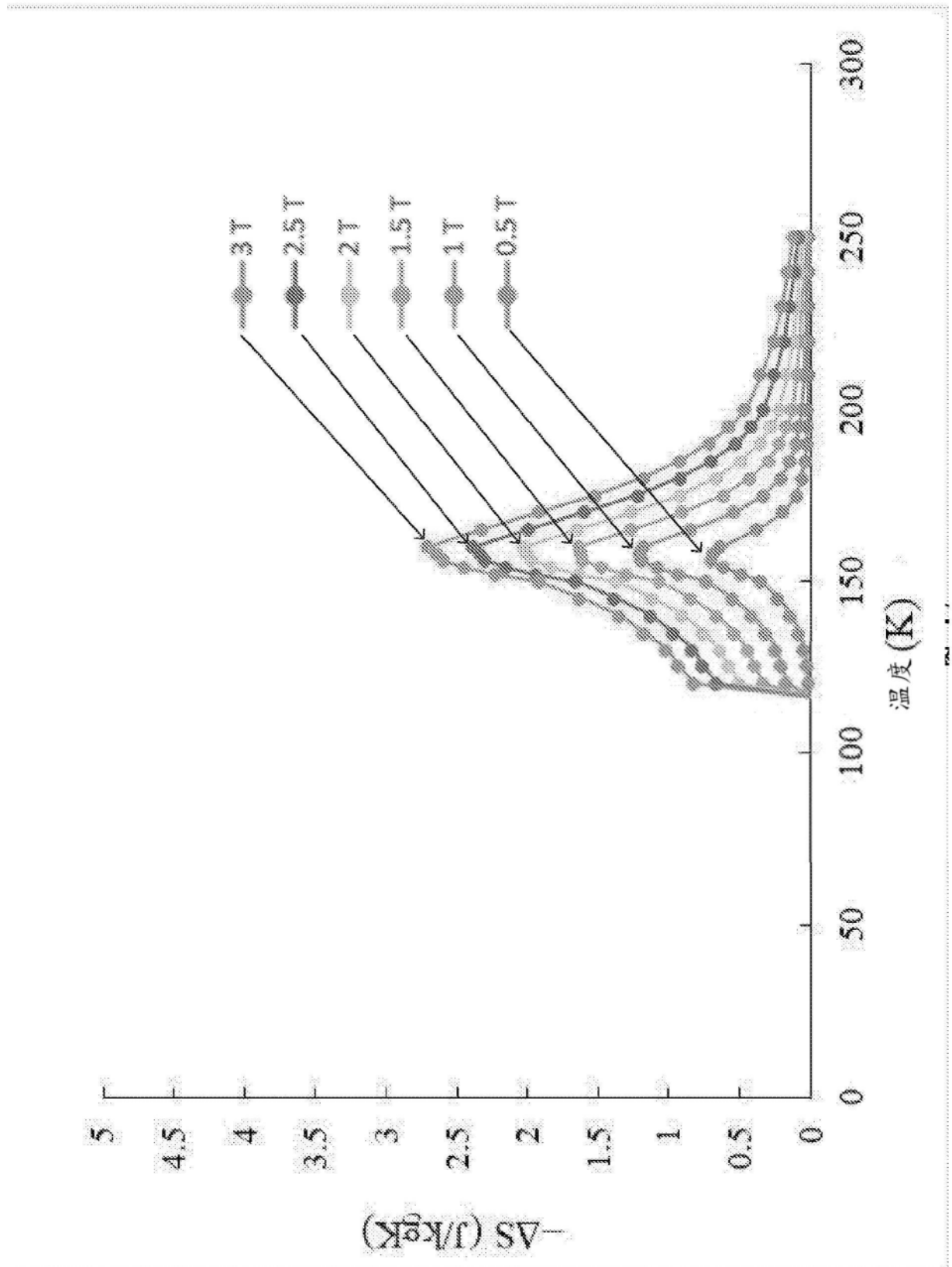


图17

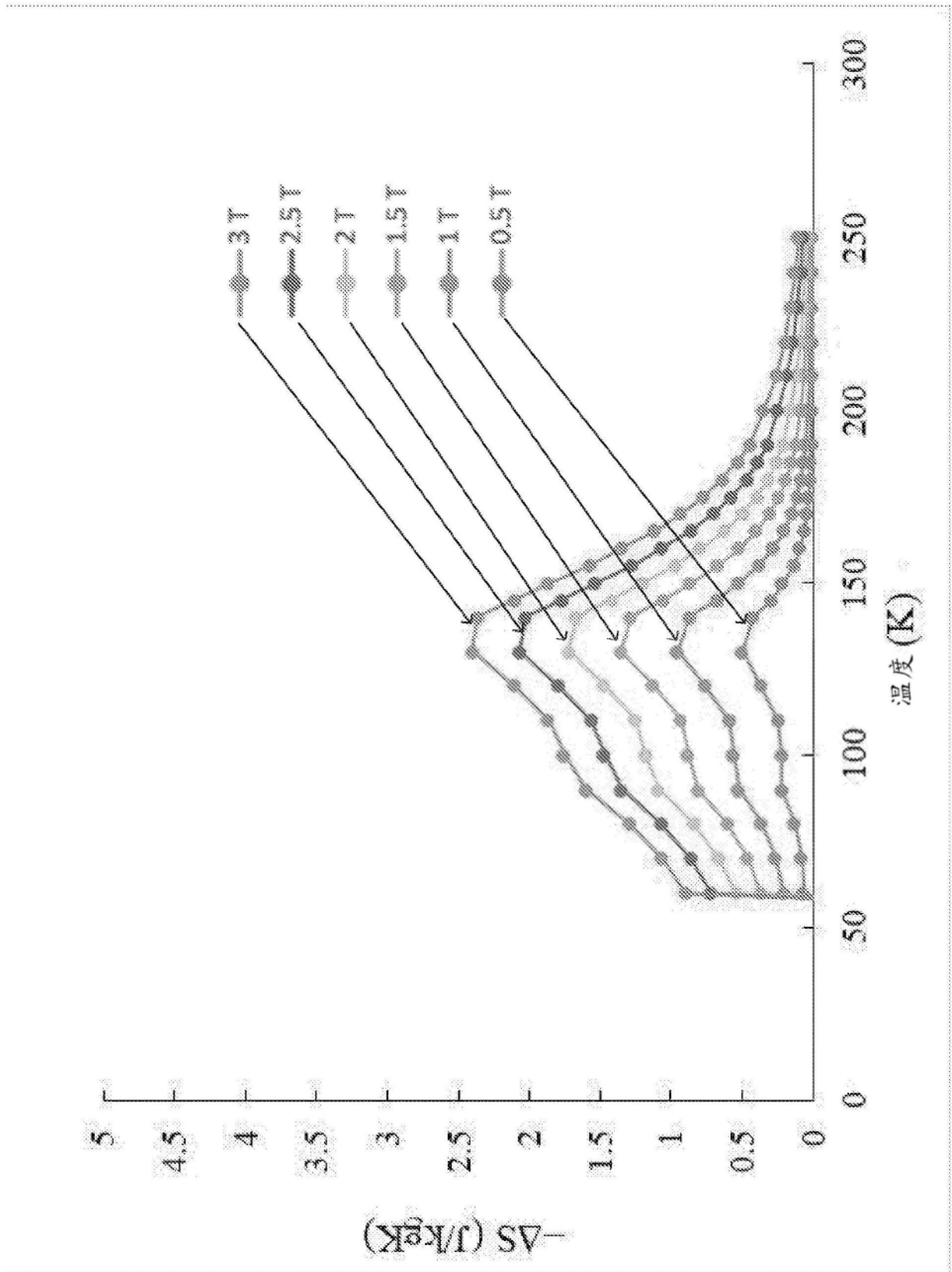


图18

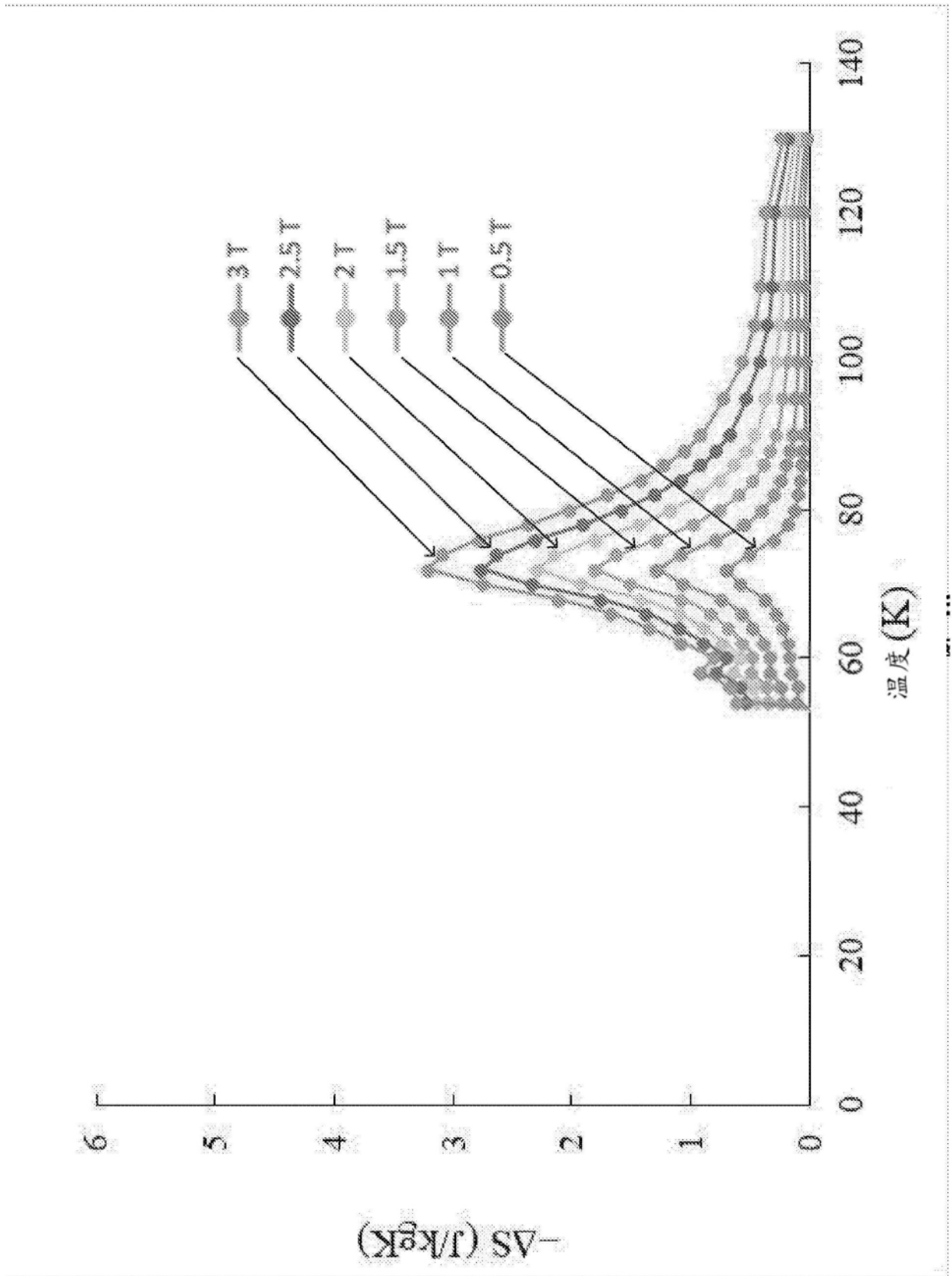


图19

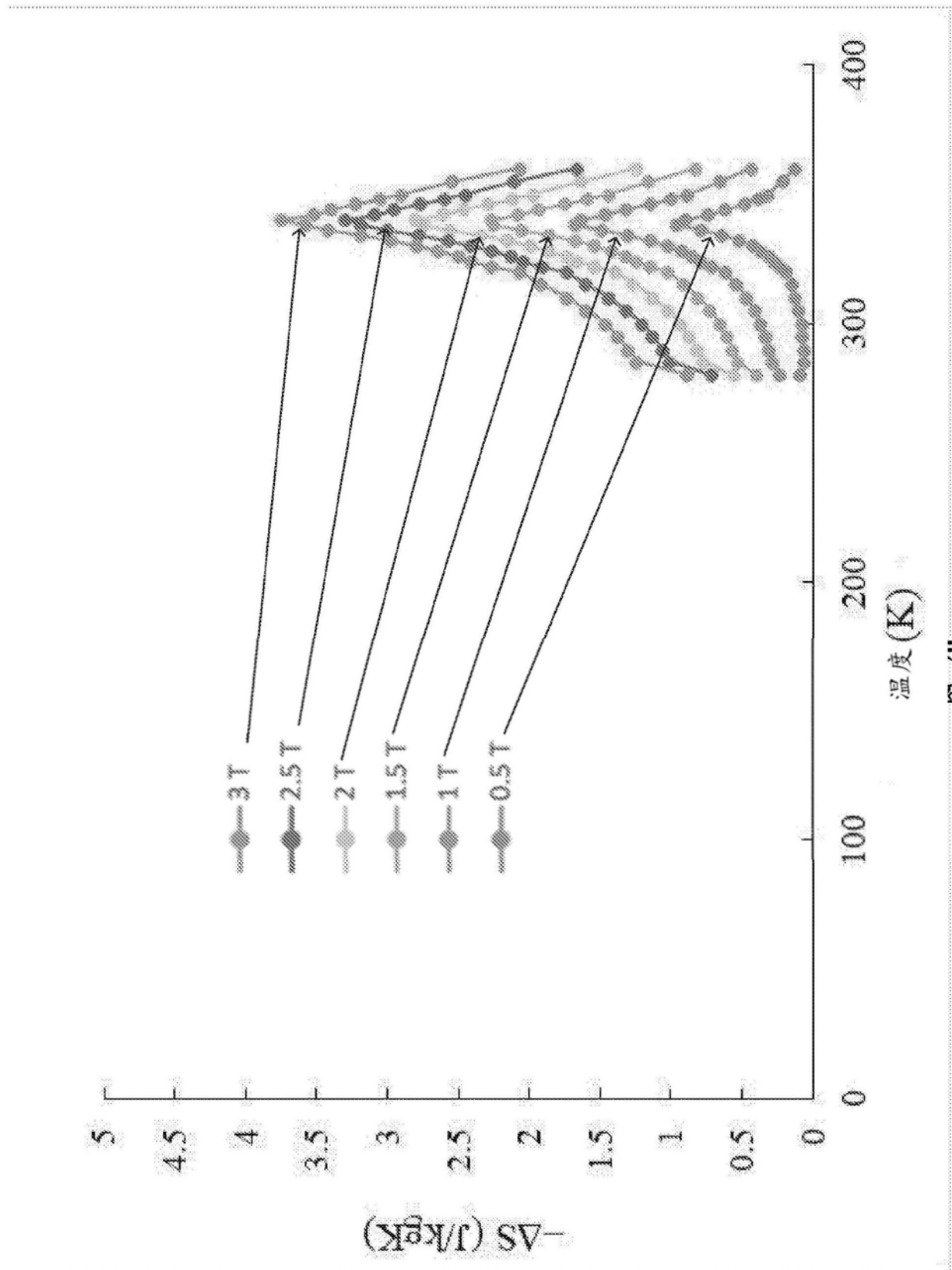


图20