

文章编号: 1005-5630(2011)01-0074-04

基于形状记忆合金的微型光热驱动马达*

史斌, 赵冬伟, 张冬仙, 章海军

(浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 在分析了形状记忆合金双程记忆效应原理的基础上, 采用铜锌铝双向记忆合金片, 设计并加工制作了两种微型光热驱动马达, 对其进行了驱动实验研究。研究表明, 用输出波长为 1064nm 的 YAG 脉冲激光作为光热驱动马达的驱动源, 在适当的输出功率和频率下, 棘轮棘爪型光热驱动马达可获得较精确的步距, 齿轮传动型光热驱动马达可获得较高的转速。这类用激光作为驱动源的微型光热驱动马达易于小型化, 真正实现无线遥控, 有望在微光机电系统获得广泛应用。

关键词: 激光; 形状记忆合金; 光热驱动; 马达

中图分类号: O 532. 25; O 436 **文献标识码:** A **doi:** 10. 3969/j. issn. 1005-5630. 2011. 01. 017

Miniature optothermal drive motor based on shape memory alloy

SHI Bin, ZHAO Dongwei, ZHANG Dongxian, ZHANG Haijun

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: On the basis of analyzing the principle of two-way memory effect of the shape memory alloy, two miniature optothermal motors are designed and manufactured using sheets of Cu-Zn-Al two-way shape memory alloy. Experiments are carried out to test their driving performance. The experiment results demonstrate that when using a 1064nm YAG pulsed laser with an appropriate output power and frequency as the motors' driving source, the ratchet-pawl-type optothermal motor can have a precise step distance and the gear-type optothermal motor can have a high rotational speed. This kind of optothermal motors could be integrated and widely utilized in micro-optical-electro-mechanical systems wirelessly with remote controlling.

Key words: laser; shape memory alloy; optothermal drive; motor

引言

随着微纳米技术的发展, 微光机电系统(micro-optical-electro-mechanical system, MOEMS)作为微纳米技术中一个重要的分支, 已在世界各国得到迅速发展, 并在诸多领域获得广泛应用。微驱动器^[1]是众多 MOMES 中的重要组成部分, 按驱动原理的不同, 常见驱动器可分为: 电磁驱动型^[2,3]、静电驱动型^[4]、压电驱动型^[5]、热膨胀驱动型^[6]、形状记忆合金(shape memory alloy, SMA)驱动型^[7-10]等。虽然这些驱动器在不同场合取得了一些应用, 但仍然存在不少问题, 如: 电磁驱动型, 能量消耗大、线圈升温高、噪声大、

* 收稿日期: 2010-08-22

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2006AA04Z237)

作者简介: 史斌(1988-), 男, 浙江宁波人, 本科生, 主要从事光电技术方面的研究。

通讯作者: 张冬仙(1963-), 女, 浙江金华人, 教授, 博士, 主要从事微纳米技术及光电检测方面的研究。

体积大;静电驱动型,输出力小、驱动电压高;压电驱动型,驱动电压高、电绝缘要求高;热膨胀驱动型,位移量小、响应频率低等。

现根据 SMA 的形状记忆效应,首次将激光作为光热驱动源,设计了基于 SMA 的两种微型光热驱动马达——棘轮棘爪型和齿轮传动型。与其他类型的驱动马达相比,这类基于 SMA 的光热驱动马达具有能耗低、结构简单、无需导线连接、主体可微小化等突出优点。棘轮棘爪型光热驱动马达可获得较精确的步距,齿轮传动型光热驱动马达可获得比较高的转动频率。文中介绍了基于 SMA 的光热驱动马达的原理和结构设计,进行了马达驱动性能的测试实验,取得比较理想的研究结果。

1 原理与方法

1.1 棘轮棘爪型光热驱动马达

一些合金的形状被改变之后,一旦加热到一定的跃变温度时,它又可以变回原来的形状,这种具有特殊性质的合金称为形状记忆合金。某些合金加热时呈现高温相形状,冷却时又能恢复低温相形状,被称为双向记忆合金。

所采用的 SMA 为铜锌铝(Cu-Zn-Al)双向记忆合金,具有双程记忆效应^[11],具备记忆两个形状的能力,高温时的形状称之为高温相,低温时的形状称之为低温相。当 SMA 的温度逐渐升高,超过其相变温度 A_s 时,SMA 开始向高温相转变,并在温度达到 A_f 时完成转变,此时 SMA 呈现其高温相的形状;温度降低时过程相反,在温度降低到 M_s 时 SMA 开始向低温相转变,并在温度降低到 M_f 时完全转变成其低温相的形状。根据上述原理,现设计了一种基于 SMA 的棘轮棘爪型光热驱动马达,工作原理如图 1 所示。

当激光照射 SMA 片的相变点时,相变点温度升高,当温度超过相变温度 A_s 时,合金片向高温相形状转变,产生弯曲(偏转),由此带动左棘爪推动棘轮转动一个步距,右棘爪顺着棘轮的锯齿方向滑动扣入下一个锯齿;撤去激光,温度降低,合金片逐渐恢复到其低温相的形状(原状),在这个过程中,带动棘爪回抽,同时钩住棘轮的锯齿,使棘轮逆时针转动一个步距。如此周期性反复,即可使马达转子以逆时针方向转动。棘轮棘爪结构^[12]可以将 SMA 的周期往复运动转变为转子的单向转动,具有效率高,转动平稳,结构简单紧凑等优点。棘轮棘爪型光热驱动马达总体结构长宽高约为 $10\text{mm} \times 5\text{mm} \times 10\text{mm}$,实物图如图 2(a)所示。

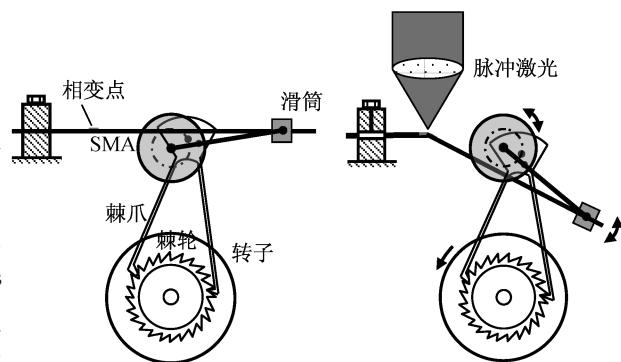


图 1 基于形状记忆合金(SMA)的棘轮棘爪型光热驱动马达原理图

Fig. 1 Mechanism of the ratchet-pawl-type photothermal motor based on shape memory alloy(SMA)

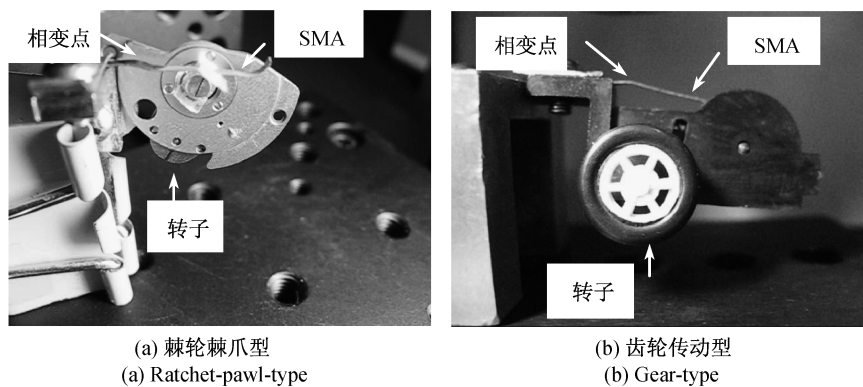


图 2 基于 SMA 的光热驱动马达实物图

Fig. 2 Photographs of the optothermal motor based on SMA

1.2 齿轮传动型光热驱动马达

棘轮棘爪结构的使用使得基于 SMA 的光热驱动马达转速平稳,但也存在转速较小的缺点。为此,现将棘轮棘爪型光热驱动马达的转子与放大齿轮组连接,构成齿轮传动型光热驱动马达,使转子较小的转速被放大成需要的高转速。齿轮传动型光热驱动马达的实物图如图 2(b)所示。

2 实验与结果

工作状态中的棘轮棘爪型和齿轮传动型光热驱动马达如图 3(a)、3(b)所示。

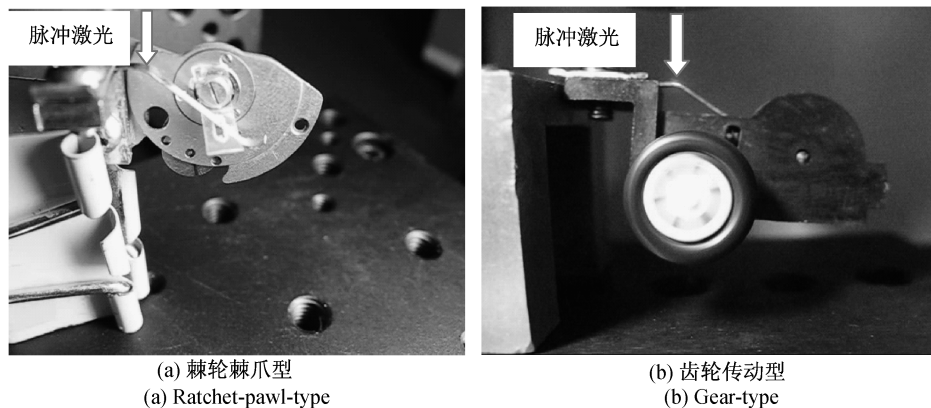


图 3 工作状态中的驱动马达

Fig. 3 Working state of the motors

2.1 棘轮棘爪型光热驱动马达的实验研究

对于基于 SMA 的棘轮棘爪型光热驱动马达,为了增大马达的功率,采用 YAG 脉冲激光作为驱动光源,输出波长 1064nm,输出功率 0~1W 可调。SMA 采用铜锌铝双向 SMA。其相变温度点 A_s 、 A_f 、 M_s 、 M_f 的温度分别为 30℃、45℃、40℃、25℃。根据图 1 所示的原理,当激光照射 SMA 片的相变点时,合金片会产生弯曲(偏转),由此带动棘爪顺着棘轮的锯齿方向滑动一个步距;撤去激光,合金片恢复原状,在这个过程中,带动棘爪回抽,同时钩住棘轮的锯齿,使棘轮逆时针转动一个步距。如此周期性反复,即可使马达转子以逆时针方向转动。图 3(a)为激光照射下,SMA 片发生偏转时的状态。比较图 2(a)和图 3(a)中转子上刻线的,可以看到转子逆时针转过了约 45°。基于 SMA 的棘轮棘爪型光热马达,其转速由驱动激光功率和频率决定,但驱动激光的频率不能超过 SMA 的响应频率,实验数据详见表 1。可见,这类驱动马达既可获得较大的步距,但转速较小。

表 1 基于 SMA 的光热驱动马达平均转速

Tab. 1 Average rotational speed of the optothermal motor based on SMA (r/min)

激光功率 (W)	驱动频率(Hz)		
	0.5	1.0	2.0
0.2	0.16	0.30	0.20
0.4	0.34	0.68	1.52
0.6	0.56	1.10	1.04
0.8	0.80	1.56	1.60
1	1.00	2.05	2.00

2.2 齿轮传动型光热驱动马达的实验研究

在棘轮棘爪型光热驱动马达的齿轮转子上加装放大齿轮组,构成齿轮传动型光热驱动马达,使齿轮转子较小的转速被放大成所需要的高转速。齿轮传动型光热驱动马达采用了放大比为 1:100 的齿轮组,即输出转速将被放大 100 倍。

实验中,采用 YAG 脉冲激光器作为驱动光源,输出波长 1064nm,功率 0~1W 可调。SMA 使用铜锌铝双向 SMA,其相变温度点 A_s 、 A_f 、 M_s 、 M_f 的温度分别 30℃、45℃、40℃、25℃。当驱动激光的频率为 0.5Hz、功率 1W 时,转子在加热周期(1s)内旋转了大约 1.75r,考虑到在散热周期内,转子依然会转过相同的角度,换算可知转子的转速约为 105r/min。对比未加放大齿轮前的情况,可见齿轮传动型光热驱动

马达实现了约 100r/min 的高转速。

3 结 论

受光热膨胀驱动原理和 SMA 驱动原理启发,采用激光作为光热驱动源,结合 SMA 的双程形状记忆效应,设计并加工制造了两种基于 SMA 的微小型光热驱动马达——棘轮棘爪型和齿轮传动型。实验结果表明,这类基于 SMA 的光热驱动马达具有能耗低、驱动件形变量大、结构简单、无需导线连接、主体可微小化等突出优点,在 MOEMS、微机器人及微纳米技术其他领域具有广阔的应用前景。更进一步的研究将致力于驱动马达的进一步微型化和驱动马达在 MOEMS 中的实际应用。

参考文献:

- [1] GONG F F. The principle and application of microactuators[J]. *Electronic Component and Materials*, 2003, 22(6): 33—36.
- [2] PARK Y W, KIM D Y. Development of a magnetostrictive microactuator[J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2004, E1765-E1766: 272—276.
- [3] ZHANG Y H, DING G F, SUN X F, *et al.* Design and fabrication of a bistable electromagnetic microactuator[J]. *Journal of Shanghai University*, 2006, 10(6): 541—546.
- [4] 赵江铭,陈晓阳,王小静. 大位移多折叠梁静电驱动器的设计及力学性能分析[J]. *机械强度*, 2007, 29(1): 5—11.
- [5] 温建明,程光明,曾 平,等. 新型惯性压电驱动机构的仿真分析[J]. *压电与声光*, 2008, 30(4): 421—424.
- [6] 张冬仙,刘 超,章海军. 微纳米尺度红外光热膨胀效应及新型光热驱动方法研究[J]. *物理学报*, 2008, 57(5): 3107—3112.
- [7] DOMINIEK R, HENDRIK VAN B. Design aspects of shape memory actuators[J]. *Mechatronics*, 1998, 8(6): 635—656.
- [8] DANIEL D S, KOTEKAR P M, GREGORY P C. Development of hydraulic linear actuator using thin film SMA[J]. *Sensors and Actuators A*, 2005, 119(1): 151—156.
- [9] ZHONG Z W, CHAN S Y. Investigation of a gripping device actuated by SMA wire[J]. *Sensors and Actuators A*, 2007, 136(1): 335—340.
- [10] SHARMA S V, NAYAKA M M, DINESH N S. Modelling, design and characterization of shape memory alloy-based poly phase motor [J]. *Sensors and Actuators A*, 2008, 147(2): 583—592.
- [11] 张庆安,谷南驹. 热循环对 Cu-Zn-Al 合金双程记忆效应的影响[J]. *华东冶金学院学报*, 1995, 12(4): 378—381.
- [12] 刘文礼,陈 明,李兆坤,等. 不完全齿轮和棘轮棘爪机构的造型及运动分析和仿真[J]. *机械工程师*, 2005(2): 33—35.