

图4 Alq/DCM 激光器在阈值附近不同泵浦能量下的发射光谱

有源层,例如 PEH - PPV 等.

对于电泵激光,除此之外还必须考虑电极材料的选择与设计,以及前面谈到的如何提高载流子的迁移率.设计合理的结构,提高增量,减少损耗等等,都是十分重要的.

目前,对实现电泵激光最大的困难是有机材料的迁移率低,要想达到克服腔损耗所需的增量需要相当大的电场;其次是效率还不够高,而采用有序化生长和量子阱结构是有利于提高

迁移率和发光效率的.

6 结论

通过上述分析,我们可以认为:分子力外延生长可实现有机材料的有序化生长,量子阱结构可改善发光器件特性,这两者的结合,显然对高质量有机量子阱电发光器件乃至有机电泵激光都是非常重要的.

参 考 文 献

- [1] An H, Liu S *et al.* J. Phys. D, 1998, 31 (10) :1144 — 1148
- [2] Chen B, Liu S. Jpn. J. Appl. Phys. 1998, 37 (3B) : 1665 — 1666
- [3] Hong H *et al.* Supramolecular Science, 1997, 4 (1 — 2) : 67 — 70
- [4] Ohmori Y *et al.* Appl. Phys. Lett., 1993, 62 (25) : 3250 — 3252
- [5] Ohmori Y *et al.* Jpn. J. Appl. Phys., 1995, 34 (7B) : 3790 — 3793
- [6] Yomashita A, Hayashi T. Advanced Materials, 1996, 18(10) :791 — 799

暂态磁性*

敬超 董国胜 金晓峰

(复旦大学应用表面物理国家重点实验室 上海 200433)

摘 要 利用超快脉冲技术研究铁磁金属的暂态磁性是自旋动力学是国际上最近开展起来的磁学研究新领域.文章简单介绍了这一研究领域的基本概念、实验方法和研究进展.

关键词 暂态磁性,自旋动力学

TRANSIENT MAGNETISM

Jing Chao Dong Guosheng Jin Xiaofeng

(Surface Physics Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract Transient magnetism and the spin dynamics of ferromagnetic metals studied by the

* 国家自然科学基金、教育部博士点基金、上海市基金、上海市科委基金、霍英东教育基金会高等院校青年教师基金、香港“求是”基金会基金资助项目

1998 - 10 - 28 收到初稿,1998 - 12 - 14 修回

femtosecond pulsed laser are a new and exciting topic in the magnetism community. A brief introduction to this subject is given.

Key words transient magnetism, spin dynamics

1 引言

长期以来,人们对磁性物质的了解主要集中在静态磁性质的研究上,比如自发磁化的大小及其产生机理,居里温度或奈尔温度的高低及其解释等.也有一部分是针对磁性物质随时间变化的研究,比如对磁畴及其运动的实时观测以及规律的研究等.但是,这些变化过程大多是一些慢过程.近些年来,由于激光技术的迅速发展,尤其是皮秒(10^{-12} s)和飞秒(10^{-15} s)激光的产生和探测技术的进步,使得对磁性物质在小于纳秒(10^{-9} s)的短时间内的暂态动力学行为的研究成为可能.这方面的研究成果将是对传统磁学理论的补充和完善,因此在理论上具有非常重要的意义.不仅如此,从实际应用方面来讲,对于暂态退磁的了解还将有助于磁光记录中记录速度的进一步提高^[1,2].

利用超快脉冲激光研究铁磁性物质的暂态磁性及其自旋动力学问题国外刚刚兴起,而国内还没有这方面的研究报道.就我们所知,从目前国内的实验技术来看,已具备开展这一新课题的研究条件,因为我们已经具有不下 10 台的飞秒激光器.因此,若能注意这方面的信息,将先进的光学检测手段应用于磁学研究,就有可能促进国内在该领域的研究工作.鉴于此,我们对于暂态磁性的概念、探测的基本原理以及研究现状作一简短介绍.

2 基本原理与实验方法

铁磁物质的暂态磁性变化在极短的时间内发生,大多是在皮秒至飞秒之间,因此对它们进行研究,要求检测手段具有很高的时间分辨本领.利用超快脉冲技术,可以满足这一要求.图 1 给出这种通常称为“抽运 - 探测”方法的装

置示意图.由脉冲宽度很窄(几十至几百飞秒)的激光光源产生的超快脉冲激光束经分光器后分成两束,其中一束光直接照射在样品上,用于激发样品中的热电子,从而引起热电子的非平衡分布.因此,这束光通常称为抽运激光(pump laser)或加热激光(heating laser).照射在样品上的光斑直径从数十微米到数百微米.同时,再利用分光后的另一束光作为探测光照射在样品的同一位置上,经样品反射后进入探测器进行探测,这束光被称为探测激光(probe laser).探测激光相对于抽运激光在时间上存在一定的延迟,它是通过图中驱动装置的上下运动,从而造成与抽运光之间产生一定的光程差来控制的.这样,通过测量探测光束的强度与这两束光之间的延迟时间的函数关系,便知道了在抽运光作用之后的超短时间内,样品的磁性有什么变化,这就是所谓暂态磁性的测量.此外,为了减少激光强度的波动和驱动装置工作引起的噪声,在光路中采用斩波器与锁相放大器结合的标准检测方法.

目前利用上述“抽运 - 探测”技术来研究暂态磁性的具体手段大致有以下几种:二次谐波

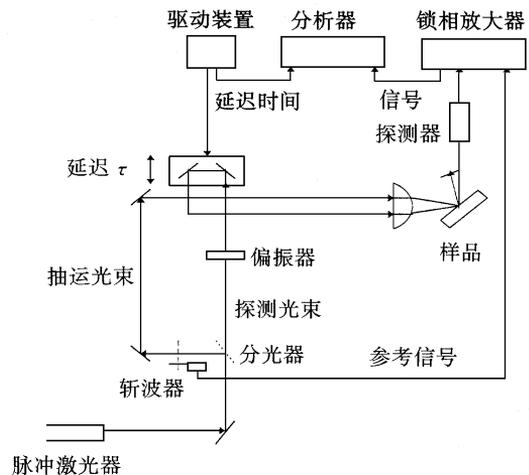


图 1 利用超快脉冲激光探测暂态磁性的实验装置示意图

产生 (second harmonic generation, 简称 SHG)^[3], 具有时间分辨的自旋分辨光电子能谱 (spin resolved photoemission)^[4] 和磁光克尔效应测量 (magneto-optical Kerr effect 简称 MOKE)^[5] 等方法.

3 研究进展

下面我们通过 3 个具体例子的简单介绍来了解目前有关这一新领域的研究现状. 超短脉冲激光可以诱导金属材料内非平衡分布的热电子气, 经过一定的时间之后, 由于电子-电子的相互作用而首先达到费米-狄拉克平衡分布. 随后, 由于电子和声子的相互作用, 热电子气的能量将弛豫给晶格并与之达到热平衡. 人们对这些过程已有一定的了解^[6]. 由此联想到, 若对于铁磁金属, 即上自旋与下自旋电子数不等的情况, 在激光诱导产生热电子分布后, 与非磁性金属相比, 将会出现什么新的现象? 这显然是一个很有意思的问题. 人们曾利用飞秒脉冲激光技术对这一问题进行了详细的研究^[5]. 他们利用强度为 70Jm^{-2} 、脉冲宽度为 60fs 的脉冲激光研究了 Ni 膜的暂态磁性, 发现在抽运激光作用之后的最初 2ps 内, 膜的剩磁 M_r (磁场为零时样品的磁化强度) 下降非常快, 这一急剧下降可以看作是体系“自旋温度” (T_s) 的快速增加. 另外, 由样品的暂态光透射率测量可以推得体系的“电子温度” (T_e). 图 2(a) 给出了“电子温度” (方块表示) 和“自旋温度” (圆点代表) 与时间延迟的变化曲线. 从理论上进一步分析,

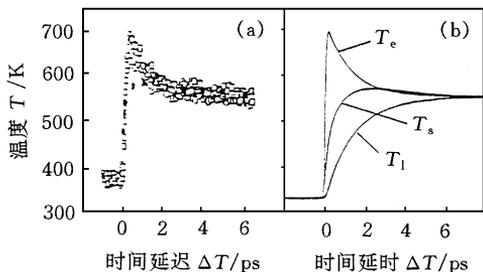


图 2 自旋温度 (T_s , 圆点表示)、电子温度 (T_e , 方块表示) 与时间延迟的变化曲线
(a) 实验估算值; (b) 理论计算值

他们把金属中的热电子从非平衡到最终与晶格达到平衡的过程看成具有 3 个能量相互交换的热库, 分别用电子温度 (T_e)、自旋温度 (T_s) 和晶格温度 (T_l) 来表征, 最后得到了如图 2(b) 的拟合曲线, 在皮秒时间量级上建立了自旋动力学的唯象模型, 能较好地解释实验上得到的现象. 这一实验结果表明, 表征磁有序状况的“自旋温度”确实有别于“电子温度”和“晶格温度”.

另外再来看一个表明在超快过程中某些物理规律与静态情况下是不一样的例子. 铁磁材料在静态过程中磁化强度与温度的经典关系可由下式表示:

$$M(T) = M(0) (1 - T/T_c)^{1/2},$$

式中 $M(T)$ 、 $M(0)$ 分别代表温度为 $T\text{K}$ 、 0K 时的磁化强度, T 、 T_c 分别代表温度和居里温度.

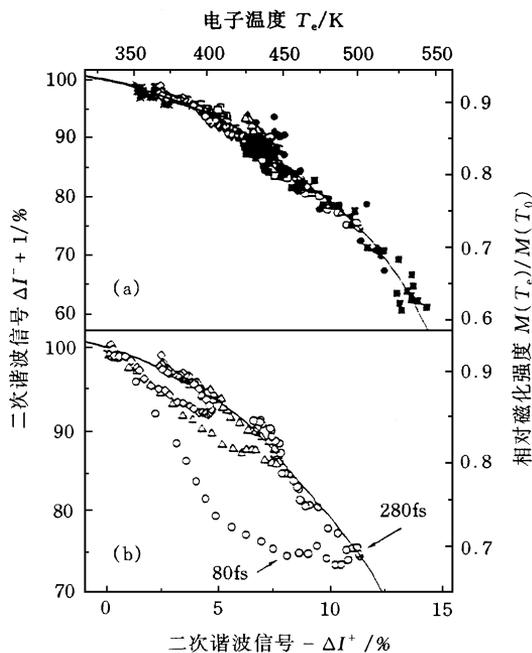


图 3 退磁曲线与静态退磁曲线 (实线) 的比较

(a) 时间延迟大于 0.3 ps; (b) 时间延迟小于 0.3 ps

{ \square 、 \circ 和 \triangle 分别代表相对于 60Jm^{-2} 时不同的相对抽运激光强度: \square 为 0.41, \circ 为 0.59, \triangle 为 1.15; $M(T_e)$ 、 $M(T_0)$ 分别代表电子温度为 T_e 、 T_0 时的磁化强度; I^\pm 分别为磁场沿正反两方向时的二次谐波信号. $I^\pm = [I^\pm(t) - I_0^\pm]/I_0^\pm$, $I^\pm = I(2, +, M) \pm I(2, -, M)$, 式中, t , ω , M 分别为延迟时间、光波角频率和磁场强度/

对于这一经典公式在超快暂态过程中是否依然成立是一个很有意思的问题,有待实验上的确认.人们发现^[3],在对磁性 Ni 样品进行激光诱导热激发后,在时间延迟大于 0.3ps 时上述经典公式是成立的.如图 3(a)所示.而在延迟时间小于 0.3ps 暂态过程中,磁化曲线逐渐偏离经典的磁化曲线,如图 3(b)所示.这一实验事实告诉我们,一些经典磁学规律在暂态过程中并不一定完全适用,暂态过程中更多的规律有待于从实验上进行研究和发现.

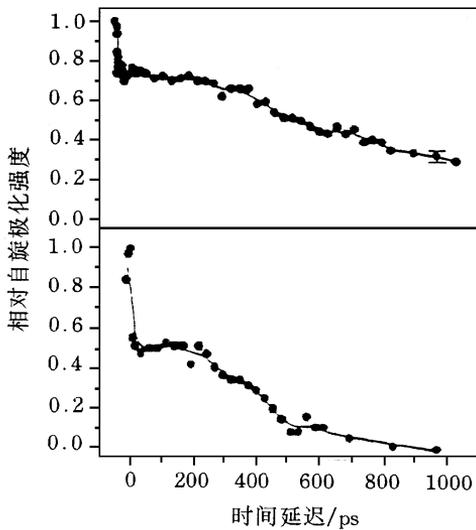


图 4 不同厚度的 Ni 膜极化随时间延迟的变化曲线 (上图:12 ÅNi, (T_c) = 480 K;下图:6 ÅNi, (T_c) = 360 K)

最后,我们再看一个例子来说明在超快过程中存在非常丰富的物理内容.暂态退磁涉及到电子-电子、电子-晶格以及自旋-晶格的微观相互作用.最近人们发现^[4],铁磁金属在超快暂态退磁过程中存在两种不同的过程:大约在300fs以下的极短时间内,磁化强度陡然

下降,这一阶段称为快退磁过程;随后是磁化强度随着时间延迟的增加而平缓的下降,这一阶段称为慢退磁过程.并且发现这些退磁过程与样品的居里温度和抽运激光的强度有关.对于 6 Å厚的样品,大约在 500ps 后,达到居里温度 (360 K).对于 12 Å厚的 Ni 膜,由于其居里温度比较高(480 K),在延迟时间达到 1ns 还没有达到居里温度,但同样表现出在最初延迟时间内磁化强度的陡然下降,只是下降的幅度较前者小(见图 4).显然,这两个过程代表了两种很不相同的自旋动力学机制.

4 结语

利用超快脉冲激光探测技术研究铁磁金属的暂态磁性和自旋动力学问题虽然刚刚开始,但已经获得了一些重要的结果.我们相信这一新领域的成果无论是对当代磁学理论的发展,还是对实际应用,都有很高的价值.

参 考 文 献

- [1] Vaterlaus A, Beutler T, Guarisco D *et al.* Phys. Rev. B, 1992, 46: 5280—5286
- [2] Ju Ganping, Vertikov A, Nurmikko A V *et al.* Phys. Rev. B, 1998, 57: R700—R703
- [3] Hohlfeld J, Matthias E, Knorren R *et al.* Phys. Rev. Lett., 1997, 78: 4861—4864
- [4] Scholl A, Baumgarten L, Jacquemin R *et al.* Phys. Rev. Lett., 1997, 79: 5146—5149
- [5] Beaurepaire E, Merle J C, Daunois A *et al.* Phys. Rev. Lett., 1996, 76: 4250—4253
- [6] Brorson S D, Kazeroonian A, Moodera J S *et al.* Phys. Rev. Lett., 1990, 64: 2172—2175