

磁光效应及其应用

周静 王选章 谢文广

19世纪中至20世纪初是科学发现的黄金时期,各领域的伟大发现如雨后春笋般涌出,若干种对于了解固体物理特性并揭示其内部电子态结构有着重要意义的磁光效应现象也相继被发现,但至20世纪60年代末,对这一现象的研究主要集中在基础理论的探索和实验数据的积累方面。近几十年来,当光电子技术在新兴高科技领域获得日益广泛应用的同时,以磁光效应原理为背景的各种磁光器件也显示了其独特的性能和极为广阔的应用前景,并引起了人们浓厚的兴趣。

一、磁光效应(Magnetic-optical Effect)

磁光效应指的是具有固有磁矩的物质在外磁场的的作用下,电磁特性发生变化,因而使光波在其内部的传输特性也发生变化的现象。1845年,英国物理学家法拉第(Faraday)发现,入射光线在被磁化的玻璃中传播时,其偏振面会发生旋转,这是物理学史上第一次发现的磁光效应,称之为法拉第效应。受法拉第效应的启发,1876年克尔(Kerr)又发现了光在磁化介质表面反射时偏振面旋转的现象,即磁光克尔效应。随之在八九十年代又发现了塞曼效应和磁致线双折射效应。

法拉第效应 当线偏振光沿磁场方向通过置于磁场中的磁光介质时,其偏振面发生旋转的现象称为磁致旋光效应,这一效应最早由法拉第发现,通常又称为法拉第旋转效应。如图1所示,假设有一圆柱形磁光介质,沿着轴线方向外加一稳恒磁场 H (此磁场值处在法拉第旋转器件的工作区内)。在这种情况下,将发生法拉第旋转效应,光波的偏振面绕传输轴连续右旋(相对于 H 而言),直至磁光介质的终端,偏振面右旋了某一角度 φ 。

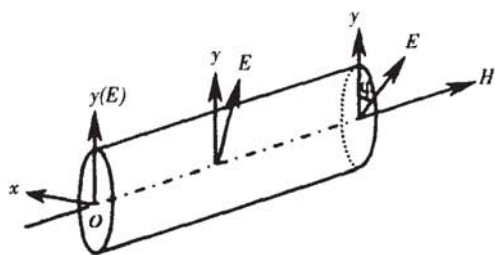


图1 法拉第效应

法拉第效应可分为右旋和左旋两种:当线偏振光沿着磁场方向传播时,振动面向左旋;当光束逆着磁场方向传播时,振动面将向右旋。

磁光克尔效应 磁光克尔效应指的是一束线偏振光在磁化了的介质表面反射时,反射光将是椭圆偏振光,而以椭圆的长轴为标志的“偏振面”相对于入射偏振光的偏振面旋转了一定的角度。这个角度通常被称为克尔转角,记作 θ_k ,如图2所示。

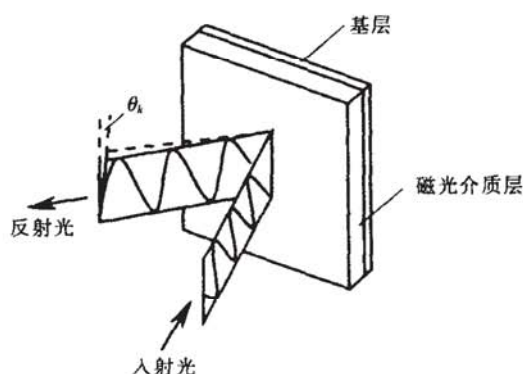


图2 克尔效应

按照磁化强度取向磁光克尔效应又大致分为三种情况:(1)极向克尔效应,即磁化强度 M 与介质表面垂直时的克尔效应;(2)横向克尔效应,即 M 与介质表面平行,但垂直于光的入射面时的克尔效应;(3)纵向克尔效应,即 M 既平行于介质表面又平行于光入射面时的克尔效应。在磁光存储技术中主要应用的是极向克尔效应。

塞曼效应 1886年,塞曼(Zeeman)发现当光源放在足够强的磁场中时,原来的一条谱线分裂为几条具有完全偏振态的谱线,分裂的条数随能级的类别而不同,后人称此现象为塞曼效应。

塞曼效应证实了原子具有磁矩和在磁场空间取向量子化,从塞曼效应的实验结果可以推断能级分裂的情况,根据光谱线分裂的数目可以知道量子数 J 的数值,根据光谱线分裂的间隔可以测量 g 因子的数值,因此,塞曼效应是研究原子结构的重要方法之一。

磁致线双折射效应 磁致线双折射在磁光晶体的光学研究中也会经常遇到。构成介质的分子有各

向异性的性质,即具有永久磁矩。在不加磁场时各分子的排列杂乱无章,使得介质在宏观上表现为各向同性,而在加上足够强的外磁场时,分子磁矩受到了力的作用,各分子对外磁场有了一定的取向,从而使介质在宏观上有了各向异性的性质。在磁场中的介质,当光以不同于磁场的方向通过它时,也会出现象单轴晶体那样的双折射现象,称为磁致线双折射效应。磁致线双折射效应又包括科顿—穆顿效应(Cotton-Mouton effect)和瓦格特效应(Voigt effect),通常把铁磁和亚铁磁介质中的磁致线双折射称为科顿—穆顿效应,反铁磁介质中的磁致线双折射称为瓦格特效应。

二、磁光效应的应用

虽然有关磁光现象的理论研究快速发展,但其相应的实用性研究直到上个世纪50年代才开始。美国贝尔实验室的狄龙于1956年在偏光显微镜下,利用透射光观察到了钇铁石榴石单晶中的磁畴结构。从此,各种以磁光效应为基础的磁光器件相继研制开发出来,如磁光调制器、磁光隔离器、磁光传感器及磁光盘等。

磁光调制器 磁光调制器是利用偏振光通过磁光介质发生偏振面旋转来调制光束。磁光调制器有广泛的应用,可作为红外检测器的斩波器,可制成红外辐射高温计、高灵敏度偏振计,还可用于显示电视信号的传输、测距装置以及各种光学检测和传输系统。

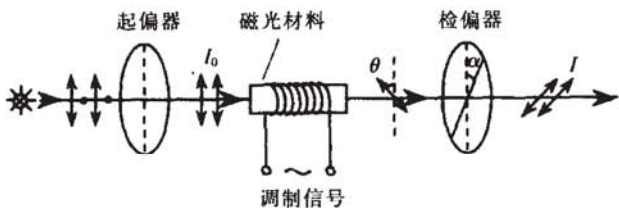


图3 磁光调制器

磁光调制器的原理如图3所示。在没有调制信号时,磁光材料中无外场,输出的光强随起偏器与检偏器光轴之间的夹角 α 变化。在磁光材料外的磁化线圈加上调制的交流信号时,由此而产生的交变磁场使光的振动面发生交变旋转。由于法拉第效应,信号电流使光振动面的旋转转化成光的强度调制,出射光以强度变化的形式携带调制信息。调制信号,比如说是转变成电信号的声音信号,经磁光调制,声信息便载于光束上。光束沿光导纤维传到远处,再经光

电转换器,把光强变化转变为电信号,再经电声转换器(如扬声器)又可以还原成声信号。

磁光隔离器 在光纤通信、光信息处理和各种测量系统中,都需要有一个稳定的光源,由于系统中不同器件的连接处往往会反射一部分光,一旦这些反射光进入激光源的腔体,会使激光输出不稳定,从

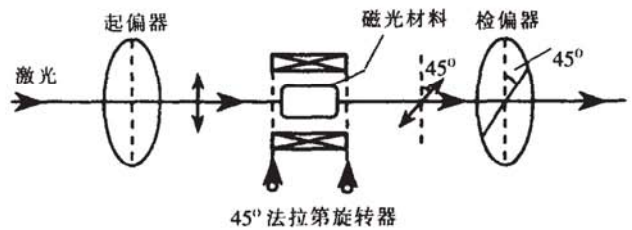


图4 磁光隔离器

而影响了整个系统的正常工作。磁光隔离器就是专为解决这一问题而发展起来的一种磁光非互易器件。普通的磁光隔离器结构如图4所示。其核心部分由两偏振片和法拉第旋光器组合,利用法拉第旋光器的非互易性,使正向传输的光无阻挡地通过,而全部排除从器件接点处反射回来的光,从而有效地消除了激光源的噪声。目前的光隔离器主要有偏振相关型与偏振无关型两种类型,前者又分空间相关型光隔离器、磁敏光纤偏振相关隔离器、波导型隔离器等,后者包括Walk-off型光隔离器和Wedge型在线式偏振无关光隔离器。

光纤电流传感器 现代工业的高速发展,对电网的输送和检测提出了更高的要求,传统的高压大电流的测量手段将面临严峻的考验。随着光纤技术和材料科学的发展而发展起来的光纤电流传感系统,因具有很好的绝缘性和抗干扰能力,较高的测量精度,容易小型化,没有潜在的爆炸危险等一系列优越性,而受到人们的广泛重视。



图4 磁光隔离器

通常光纤电流传感器结构如图 5 所示。其工作原理是：由光源发出的光经过起偏器后变为线偏振光，该线偏振光在光纤里面传输，光纤绕制在电流导线上，由于法拉第效应，线偏振光的偏振角度发生偏转，从而导致光强发生变化，在末端偏振检测器检测到法拉第偏角引起的线偏振光强度变化，从而测量出实际电流的大小。

磁光记录 磁光记录是近十几年迅速发展起来的最先进的信息存储技术，它兼有磁盘和光盘两者的优点。磁光盘广泛应用于国家管理、军事、公安、航空航天、天文、气象、水文、地质、石油矿产、邮电通讯、交通、统计规划等需要大规模数据实时收集、记录、存储及分析的领域，特别是对于集音、像、通讯、数据计算、分析、处理和存储于一体的多媒体计算机来说，磁光存储系统的作用是其其他存储方式无法代替的。

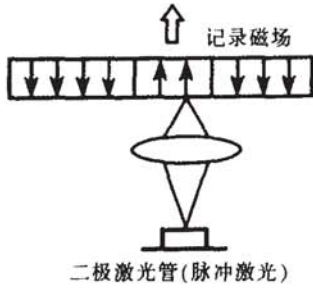


图 6 信息写入

磁光记录的主要过程大致可分为：信息的写入和擦除，信息的读取两部分。具有垂直各向异性的磁性薄膜为记录介质，采用数字信号存储。记录时，在外磁场作用下热磁写入。根据不同材料的性能，热磁写入分为居里点写入和补偿点写入。图 6 表示了磁光存储介质的记录原理：在外加磁场 H 的同时再加上表示信息的脉冲激光束，激光束照射的介质部分由于吸收光能而温度升高，假设垂直于膜面向下，我们定义为“0”状态。信息写入时，磁光读写头的脉冲激光聚焦在介质表面（通常激光斑的直径 $1\ \mu\text{m}$ ），被照射的部分温度升高，当达到居里点或补偿点时，被照射的部分变为顺磁状态，在冷却过程中通过读写头的线圈施加一个反偏场，使之反向磁化，磁矩垂直于膜面向上，为“1”状态，从而实现信息的写入。此外，要在已有信息的磁光盘上重新记录新的信息时，可先用连续激光照射介质，同时外加一个与记录磁场强度相同，但方向相反的磁场，使磁矩全部沿外加磁场方向排列以抹去旧信息，然后再进行新记录操作。

当记录信号以后，需要对信号读出，这就是磁光记录的重放过程。该过程是用光读出记录在介质内

的磁化强度的取向的，整个过程利用了光和磁的相互作用—克尔效应：一束线偏振光照射磁性记录介质的某一区域时，其反射或透射光为椭圆偏振光，以椭圆的长轴为标志的偏振面相对于入射光的偏振面有一转角，其大小由这一区域的磁矩取向决定。不同局域的磁矩指向，对应于不同的偏角，如图 7 所示，由此可以对记录信号进行读取。

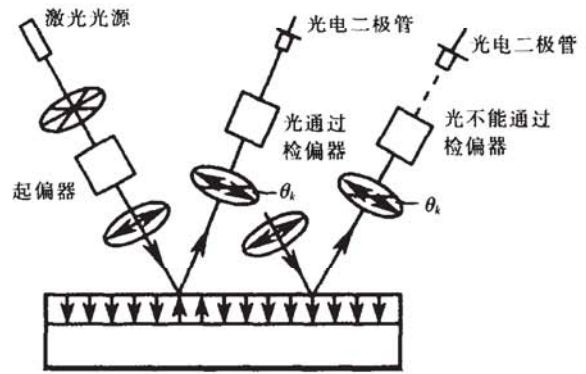


图 7 信息读取

近年来，新的磁光材料不断被发现，对磁光特性的研究也日益深入，以磁光效应为基础的磁光器件更加展现出其广阔的应用空间。

（周静 王选章 哈尔滨师范大学物理系 150025；谢文广 黑龙江大学物理学院 150080）

科苑快讯

能“听”到肾结石
破碎声的回声探测仪

据英国广播公司报道，英国科学家发明一种能“听”到肾脏中结石破碎声音的“回声探测仪”，仪器能捕捉结石击碎时形成的声波回声，根据回声的音调医生能判断碎石成功的程度。

根据研究者提供的资料，新型碎石机虽无法避免 X 光检查，至少能减少 X 光检查的次数，医生常常利用 X 光检查来了解碎石的效果。正如研制者之一的南安普敦大学季姆·莱托恩教授指出的：“这就像敲击停在车站上的列车轮子一样，如果轮子上有裂缝，则轮子发出的声音更闷哑。”

莱托恩还指出，这种新型碎石机能与计算机相连，这时碎石情况可以通过显示器上的彩色信号来评估：绿色表示结石已被粉碎，红色表示结石仍完整保留。在 50 名患者身上进行的试验结果表明，新型碎石机具有很高的效率。

（周道其译自《俄罗斯医学信息网》2004/11/8）