

磁性纳米材料的制备与应用综述

Review on Preparation and Application of Magnetic Nano Materials

李红兵, 陈晖

大比特(香港)资讯出版有限公司, 广州 510660

摘要: 磁性纳米材料因其具有独特的性质, 越来越受到人们的关注, 在现代社会中有着广泛的应用。本文主要介绍磁性纳米材料的主要特点, 概述了磁性纳米材料的制备方法; 从磁性纳米材料的结构特征综述了纳米颗粒型材料、纳米微晶型材料和微电子结构材料。对磁性纳米材料作了展望。

关键词: 磁性纳米材料, 制备, 应用, 综述

1 引言

纳米是一个长度单位, 10^{-9} 米, 英文缩写为 nm。继信息技术、基因工程之后, 已崭露头角的纳米技术受到各国的相当重视, 纷纷制定对策, 争夺纳米科学制高点。据调查, 到 2010 年, 纳米技术成为仅次于芯片制造的世界第二大产业。

磁性纳米材料因其具有独特的性质, 越来越受到人们的关注, 在现代社会中有着广泛的应用。本文主要介绍磁性纳米材料的主要特点, 概述了磁性纳米材料的制备方法; 从磁性纳米材料的结构特征综述了纳米颗粒型材料、纳米微晶型材料和磁微电子结构材料。对磁性纳米材料作了展望。

2 磁性纳米材料的特点

纳米材料是指三维空间至少有一维的尺度在 1~100nm 范围的材料, 他们应表现出以下共同的基本特征之一。

(1) 量子尺寸效应

材料的能级间距是和原子数 N 成反比的, 因此, 当颗粒尺度小到一定的程度, 颗粒内含有的原子数 N 有限, 纳米金属费米能级附近的电子能级由准连续变为离散, 纳米半导体微粒则存在不连续的最高被占据分子轨道和最低未被占据的分子轨道, 能隙变宽。当这能隙间距大于材料物性的热能, 磁能, 静电能, 光子能等等时, 就导致纳米粒子特性与宏观材料物性有显著不同。

例如: 导电的金属在超微颗粒时可以变成绝缘体, 磁

矩的大小和颗粒中电子是奇数还是偶数有关, 比热亦会反常变化, 光谱线会产生向短波长方向的移动, 这就是量子尺寸效应的宏观表现。

(2) 小尺寸效应

当粒子尺度小到可以与光波波长, 磁交换长度, 磁畴壁宽度, 传导电子德布罗意波长, 超导态相干长度等物理特征长度相当或更小时, 原有晶体周期性边界条件被破坏, 物性也就表现出新的效应, 如从磁有序变为磁无序, 磁矫顽力变化, 金属熔点下降等。

(3) 表面效应

当粒子尺寸变小时, 位于表面的原子数相对于内部的原子数所占比例变大, 例如对铜而言, 100nm 的粒子, 比表面积为 $6.6\text{m}^2/\text{g}$, 而 10nm 粒子的比表面积就为 $66\text{m}^2/\text{g}$, 当粒子小到 1nm 时, 比表面积就高达 $660\text{m}^2/\text{g}$ 。表面能很大, 极大提高了粒子的活性, 造成表面原子输运和构型的变化, 也引起原子自旋构象的变化。

极端情况是碳纳米管, 只有表面原子, 没有内部原子。

(4) 宏观量子隧道效应

微观粒子具有穿越势垒的能力, 称为量子隧道效应。近年研究发现, 某些宏观量(量子相干器件中的磁通、电荷、微粒的磁化强度等)具有的隧道效应被称为宏观量子隧道效应。它限定了磁存储信息的时间极限和微电子器件的尺寸极限。

3 磁性纳米材料的制备

在人们所熟知的大量磁性材料中，由于不能同时满足高饱和磁化强度和稳定性高的要求，饱和磁化强度高但稳定性低的材料应用在一定程度上受到了限制。目前可选作磁性微粒的仅有少数几种，主要为金属氧化物，如三氧化二铁(Fe₂O₃)、MFe₂O₄(M=Co, Mn, Ni)、四氧化三铁(Fe₃O₄)、二元和三元合金，如金属铁、钴、镍及铁钴合金、铁镍合金，以及钕铁硼(NbFeB)、镧钴合金(LaCo)等，它们的稳定性(即抗氧化能力)依次递减，但饱和磁化强度却按上述次序递增。目前，磁性材料纳米化已成为材料学的一个发展趋势。

3.1 磁性纳米材料制备技术分类

3.1.1 物理法和化学法

3.1.1.1 物理法

(1) 研磨法

一般是在表面活性剂存在下，研磨几周制得。如将粉碎的磁性微粒 Fe₂O₃ 和表面活性剂加到载液中，在球磨机中经过 1000 小时左右球磨，再在高速离心机中处理几十分钟才得到。

(2) 蒸发冷凝法

是在旋转的真空滚筒的底部放入含有表面活性剂的基液，随着滚筒的旋转，在其内表面上形成液体膜。金属颗粒在表面活性剂的作用下分散于基液中，制得稳定的金属磁性液体。

3.1.1.2 化学法

近几年，许多文献报道了通过精巧的化学实验设计获得尺寸可控、高稳定性和单分散的磁性纳米粒子。化学法包括沉淀法、溶胶—凝胶法、水热和高温分解法、微乳液法以及其他化学方法。

(1) 沉淀法

沉淀法包括共沉淀法、均匀沉淀法和直接沉淀法。共沉淀法适合制备氧化物，是在混合的金属盐溶液中添加沉淀剂，即得到组分均匀的溶液，再进行热分解，特点是简单易行，但产物纯度低、粒径大；直接沉淀法是使溶液中的金属阳离子直接与沉淀剂发生化学反应而形成沉淀物；均匀沉淀法是在金属盐溶液中加入沉淀溶液时不断搅拌，使沉淀剂在溶液中缓慢生成，消除了沉淀剂的不均匀性。

(2) 溶胶—凝胶法

其原理是基于前体分子在溶液中发生水解和缩合反

应，形成纳米尺度“溶胶”。随后进一步发生缩聚反应获得一个三维金属氧化物网状结构—湿的凝胶，然后再在较低的温度下烧结成所要合成的材料。其中对水解、缩合反应产生影响进而影响凝胶的结构和性能的主要参数包括：溶剂、温度、所用前体盐的性质和浓度、pH 和搅拌速度。

(3) 水热和高温分解法

水热法是指在一定温度和压力下，使物质在溶液中进行反应的一种制造方法。所得产物纯度高、分散性好、粒度易于控制，近年来发展迅速。

高温分解法是通过在高沸点有机溶剂中加热分解有机金属化合物来制备纳米粒子的一种方法。通过控制反应时间和温度、反应物的浓度和比例，溶剂性质等可控制纳米粒子的尺寸和形态。表面活性剂吸附到纳米粒子表面可起到稳定胶体溶液。

(4) 微乳液法

微乳液法是将两种互不相溶的液体通过表面活性剂分子作用形成动力学和热力学稳定的、各向同性，外观透明或半透明的分散体系，该体系一般由有机溶剂、水溶液、表面活性剂和助表面活性剂四部分组成。这样可使成核、生长、聚结、团聚等过程局限在一个微小的球形液滴内，从而可形成球形颗粒，又避免了颗粒之间进一步团聚，因此，该方法所得纳米颗粒粒径分布窄，且单分散性、界面性和稳定性好，同时，与其他方法相比，还具有实验装置简单、粒径易于控制、能耗低、适应面广等优点。微乳液可分为水分散在油中(W/O)和油分散在水中(O/W)两种体系。

例如，用 W/O 反相微乳液来制备纳米粒子时，一个表面活性剂分子单层包围的水溶液相形成一个个微液滴(典型的尺寸为 1~50nm)分散在连续的有机相中，把在微液滴中分别包有反应物 A 和 B 的相同组成的微乳液混合，微液滴间不断地相互碰撞、融合、破裂。在碰撞融合的过程中微液滴间将发生物质交换和核聚集。这样在一个微液滴中就会包有反应物 A 和 B，从而发生化学反应获得纳米粒子。通过微液滴限制粒子成核和增长，合成具有尺寸分布窄，具有均一的物理性能的超顺磁性纳米粒子，由此可避免由共沉淀法制备的粒子存在单分子性差和宽的尺寸分布缺陷。

3.1.2 按照物质状态分类

3.1.2.1 固相法

包括非晶晶化法和高能球磨法。

(1) 非晶晶化法是在非晶基础上通过退火的热处理方式, 实现纳米晶化的一种方法。

(2) 高能球磨法是在高能球磨机中, 将几十微米的磁性材料粗颗粒通过与研磨球、研磨罐及颗粒之间的频繁碰撞, 使这些微米的固体颗粒发生反复地被挤压、变形、断裂、焊合等强烈的塑性变形, 磁性材料颗粒表面的缺陷密度增加, 晶粒逐渐细化, 直至形成纳米级磁性颗粒。

3.1.2.2 液相法

包括喷雾法、沉淀法、蒸发法、溶胶凝胶法、溶剂挥发分解法及电沉积法。

(1) 沉淀法包括共沉淀法、均匀沉淀法和直接沉淀法, 共沉淀法适合制备氧化物, 是在混合的金属盐溶液中添加沉淀剂, 即得到组分均匀的溶液, 再进行热分解, 特点是简单易行, 但产物纯度低、粒径大; 直接沉淀法是使溶液中的金属阳离子直接与沉淀剂发生化学反应而形成沉淀物; 均匀沉淀法是在金属盐溶液中加入沉淀剂溶液时不断搅拌, 使沉淀剂在溶液中缓慢生成, 消除了沉淀剂的不均匀性。

(2) 溶胶凝胶法是利用金属有机或无机化合物作为前体, 经溶液、溶胶、凝胶而固化, 优点是工艺简单、反应物种多、反应颗粒均一、过程易控制、分散性好、易实现高纯化、反应周期短、反应温度低, 但是制备成本高, 而且还需要高温煅烧, 这对小粒径磁性纳米颗粒的合成不利。

3.1.2.3 气相法

包括熔融金属反应法、气体冷凝法、真空蒸镀法、溅射法、激光诱导法、电加热蒸发法、混合等离子法及化学气相沉积法等。

(1) 机械合金化法能制备出常规方法难以获得的高熔点金属和合金纳米材料, 还可以制备纳米金属间化合物、互不相溶体系的固溶体及纳米晶陶瓷复合材料等, 该法工艺简单、效率高, 因而是制备磁性纳米材料的一种有效工艺方法。

(2) 溅射法是工艺比较成熟的方法, 产量大、工艺过程比较简单、成本低、晶粒度容易控制, 但缺点是由于辊表面不可避免地存在一些缺陷, 因而通过此法制得的条带存在微裂纹等缺陷, 并且利用该方法只能制备出二维的磁性纳米材料薄带。

(3) 化学气相沉积法也称气相化学沉积法, 制备的产物颗粒细小、形貌均匀, 具有良好的分散性。

3.2 几种磁性纳米材料的制备方法

3.2.1 磁流体的制备方法

磁性流体, 简称磁流体, 指的是吸附有表面活性剂的磁性微粒、在基液中高度弥散分布而形成的稳定胶体体系。它由三部分组成: 磁性粒子、基液和表面活性剂。其中铁磁性颗粒一般选取 Fe_3O_4 、铁、钴、镍等磁性好的超细颗粒。正是由于铁磁性颗粒分散在载液中, 因而磁流体呈现磁性。最常用的稳定剂有油酸、丁二酸、氟醚酸, 能够防止磁性颗粒相互聚集, 即使在重力、电、磁等力作用下磁流体亦能长期稳定存在, 不发生沉淀。载液种类很多, 可以是水、煤油和汞等。磁流体的制备方法有物理法和化学法, 根据不同的需求选择不同的制备方法。

3.2.2 磁性微粒的制备方法

磁性微粒的制备方法主要有分散法和单体聚合法, 另外有沉淀法、化学转化法等。利用纳米磁性微粒构成海绵状体和轻烧结体可制成多种用途的器件, 广泛用于各种过滤器、活性电极材料, 如备受关注的汽车尾气净化器。

(1) 分散法制备的磁性微粒、磁流体与高分子间通过范德华力、氢键和整合作用以及功能基间的共价键结合, 得到的微粒粒径分布宽、粒径不易控制、壳层中难免混合杂质。

(2) 单体聚合法得到的载体粒径较大, 固载量小, 但作为固定化酶的载体, 有利于保持酶的活性, 而且磁性也较强, 且该法简便、快速, 微粒同时还具有热敏性。

3.2.3 纳米磁性微晶的制造方法

(1) 非晶化法制备纳米晶粒

通过晶化过程的控制, 将非晶化材料转变为纳米材料是目前较常用的方法。尤其适用于薄膜材料的研究中。在 Fe-Si-B 体系的磁性材料中, 由非晶化方法制备的纳米磁性材料很多。

(2) 深度塑性变形法制备纳米晶体

该方法是材料在准静态压力的作用下发生严重塑性变形, 从而将材料的晶粒尺寸细化到亚微米或纳米量级。

3.2.4 纳米磁性结构复合材料的制备方法

(1) 溶胶—凝胶法可得到晶形薄膜

Adriana 等用溶胶—凝胶法制备得到了纳米复合颗粒, 其尺寸控制在 100nm 内, 磁性能优异。

Sarah 等用溶胶凝胶法制备了多晶铁氧体。粉体混合后制成复合材料, 材料的磁性随 BaTiO_3 含量的增加而减弱,

但磁饱和强度反而增加。

修向前等用溶胶凝胶法制备方法制备了 Fe 薄膜，在室温下有铁磁性，矫顽力为 240A/m，居里温度高于室温，有希望应用于电子器件中。

(2) 化学共沉淀法工艺设备简单、投资少、污染小，经济可行、产品纯度高，在水溶液中容易控制产物的组分，反应温度低，颗粒均匀，粒径细小，分散性也好，表面活性高，性能稳定和重现性好。但对于多组分氧化物来说，要求各组分具有相同或接近的水解或沉淀条件，特别是各组分之间沉淀速度不一致时，溶液均匀性可能会遭到破坏，此外还容易引入杂质，有时形成的沉淀成胶体状，难以洗涤和过滤，因此工艺具有一定的局限性。

4 磁性纳米材料的结构特征分类

从磁性纳米材料的结构特征，可以分为三类：

(1) 纳米颗粒型：如磁性液体，磁记录介质，电波吸收（隐身）材料。

(2) 纳米微晶型：如纳米微晶永磁材料，纳米微晶软磁材料。

(3) 磁微电子结构材料：如薄膜，颗粒膜，多层膜，隧道结等。

4.1 纳米颗粒型

4.1.1 磁性液体

这是典型的纳米颗粒，它是由超顺磁性的纳米微粒包覆了表面活性剂，然后弥漫在基液中而构成。例如对铁氧化物类型的微颗粒，大至尺寸在 10nm；对金属微颗粒，通常大于 6nm。要求生成磁性液体的强磁性颗粒要足够小，削弱磁场极矩之间的静磁作用，能在基液中作无规则的热运动。

在纳米尺寸下，强磁性颗粒失去了大块材料的铁磁或亚铁磁性能，呈现没有磁滞现象的超顺磁状态。为防止颗粒团聚，产生沉积，需吸附表面活性剂。活性剂的高分子链要足够长，排斥力大于吸引力；另外链的一端与磁性颗粒吸附，另一端与基液亲和。

(1) 利用磁性液体可以被磁场控制的特性，用环状永磁体在旋转轴密封部件产生一环状的磁场分布，从而可将磁性液体约束在磁场之中形成磁性液体的“O”形环，且没有磨损，可以做到长寿命的动态密封。

在电子计算机中为防止尘埃进入硬盘中损坏磁头与磁盘，在转轴处也已普遍采用磁性液体的防尘密封。

在精密仪器的转动部分，如 X 射线衍射仪中的转靶部分的真空密封，大功率激光器件的转动部分，甚至机器人的活动部件也采用磁性液体密封法。

此外，单晶炉提拉部位、真空加热炉等有关部件的密封等，磁性液体是较为理想动态密封方式之一。

(2) 磁性液体中的磁性颗粒尺寸仅为 10nm，因此，不会损坏轴承，而基液亦可用润滑油，只要采用合适的磁场就可以将磁性润滑油约束在所需的部位。

(3) 在音圈与磁铁间隙处滴入磁性液体，由于液体的导热系数比空气高 5~6 倍，从而使得在相同条件下功率可以增加 1 倍。磁性液体的添加对频响曲线的低频部分影响较大，通常根据扬声器的结构，选用合适粘滞性的磁性液体，可使扬声器具有较佳的频响曲线。

(4) 纳米磁性药物 磁性治疗技术在国内外的研究领域在拓宽，如治疗癌症，用纳米的金属性磁粉液体注射进人体病变的部位，并用磁体固定在病灶的细胞附近，再用微波辐射金属加热法升到一定的温度，能有效地杀死癌细胞。

另外，还可以用磁粉包裹药物，用磁体固定在病灶附近，这样能加强药物治疗作用，一般的肌肉注射药物扩散面积大，病细胞接收的药量有限。

4.1.2 磁存储介质材料

近年来随着信息飞速增加，要求记录介质材料高性能化，特别是记录高密度化。高记录密度的记录介质材料与超微粒有密切的关系。例如，要求每 1cm² 可记录在 1000 万条以上信息，那么，一条信息要求被记录在 1~10mm² 中，至少具有 300 阶段分层次的记录，在 1~10mm² 中至少必须要有 300 个记录。若以超微粒作记录单元，可使记录密度大大提高。纳米磁性微粒由于尺寸小，具有单畴结构，矫顽力很高的特性，用它制作磁记录材料可以提高信噪比，改善图像质量。作为磁记录单位的磁性粒子的大小必须满足以下要求：颗粒的长度应远小于记录波长；粒子的宽度（如可能，长度也包括在内）应该远小于记录深度；一个单位的记录体积中，就尽可能有更多的磁性粒子。

纳米磁记录介质，如合金磁粉的尺寸在 80nm，钕铁氧体磁粉的尺寸在 40nm，今后进一步提高密度向“量子磁盘”化发展，利用磁纳米线的存储特性，记录密度达 400Gbit/

in², 相当于每平方英寸可存储 20 万部红楼梦小说。

4.1.3 电波吸收(隐身)材料

特别是纳米粒子对红外和电磁波有吸收隐身作用。

(1) 由于纳米微粒尺寸远小于红外及雷达波波长, 因此纳米微粒材料对这种波的透过率比常规材料要强得多, 这就大大减少波的反射率, 使得红外探测器和雷达接收到的反射信号变得很微弱, 从而达到隐身的作用。

(2) 纳米微粒材料的比表面积比常规粗粉大 3~4 个数量级, 对红外光和电磁波的吸收率也比常规材料大得多, 这就使得红外探测器及雷达得到的反射信号强度大大降低, 因此很难发现被探测目标, 起到了隐身作用。

4.2 纳米微晶型

4.2.1 纳米微晶稀土永磁材料

(1) 稀土钕铁硼磁体的发展突飞猛进, 磁体磁性能也在不断提高, 目前烧结钕铁硼磁体的磁能积达到 50MGOe, 接近理论值 64MGOe, 并已进入规模生产。为进一步改善磁性能, 目前用速凝薄片合金的生产工艺, 一般的快淬磁粉晶粒尺寸为 20~50nm, 如作为粘结钕铁硼永磁原材料的快淬磁粉。为克服钕铁硼磁体低的居里温度, 易氧化和比铁氧体高的成本价格等缺点, 目前正在探索新型的稀土永磁材料, 如钆铁氮、钕铁氮等化合物。

(2) 开发研制复合稀土永磁材料, 将软磁相与永磁相在纳米尺寸内进行复合, 就可获得高饱和磁化强度和高矫顽力的新型永磁材料。据日本的某些资料报道, 能制备理论值达 120MGOe 的新型钕铁硼系永磁体。微磁学理论表明, 稀土永磁磁相的晶粒尺寸只有低于 20nm 时, 通过交换复合才有可能增大剩磁值。

4.2.2 纳米微晶稀土软磁材料

在 1988 年, 首先发现在铁基非晶的基体中加入少量的铜和稀土, 经适当温度晶化退火后, 获得一种性能优异的具有超细晶粒(直径约 10nm)软磁合金, 后被称为纳米晶软磁合金。纳米晶磁性材料可开发成各种各样的磁器件, 应用于电力电子技术领域, 用作电流互感器、开关电源变压器、滤波器、漏电保护器、传感器等, 可取得令人满意的经济效益。

近年来, 国内外对纳米晶磁性材料的研究非常热门, 发展很快, 铁基纳米晶合金材料已经在以下几个方面获得

成功的应用。

(1) 精密电流互感器, 在高电压输电线路中应用日益增多, 准确度达到 2.0 级和仪表保安系数小于 5, 并且成本比高磁导率坡莫合金低 50%。

(2) 高频大功率开关电源变压器, 其工作频率为 20~50kHz, 输出功率在 10kW 以上, 效率在 90% 以上, 而且体积小, 温升低。

(3) 开关电源, 能解决损耗、体积和温升三者的难题, 满足高频化和小型化的要求。

(4) 抗电磁干扰器件, 具有抗饱和能力强、电感量大、品质因数高、体积小和高效节能等特点, 广泛地应用于通讯设备、精密测控设备和计算机设备等。

(5) 传感器, 特别适合用作高灵敏场合的磁性器件, 如磁头、漏电保护开关等。

4.3 磁微电子结构材料

21 世纪信息技术将朝着小型化和轻型化发展, 促进了元件的集成化和微型化。可以预见, 在磁性行业领域内, 将形成一门新的技术—磁性微电子技术。用类似半导体集成电路工艺制造磁性微型器件, 尺寸仅为几十微米级。磁性材料采用薄膜, 厚度从几个毫微米到几个微米。从结构上看, 有单层膜, 包括一般的晶态膜、微晶膜、超微晶膜和非晶态薄膜; 还有多层膜以及纳米级磁性颗粒弥漫在薄膜中构成颗粒膜。从性能和应用上可分软磁、永磁、磁光、磁阻、磁存储和磁致伸缩等。

4.3.1 巨磁电阻材料

将纳米晶的金属软磁颗粒弥散镶嵌在高电阻非磁性材料中, 构成两相组织的纳米颗粒薄膜, 这种薄膜最大特点是电阻率高, 称为巨磁电阻效应材料, 在 100MHz 以上的超高频段显示出优良的软磁特性。1994 年, IBM 公司研制成巨磁电阻效应的读出磁头, 将记录密度提高 17 倍, 达 5Gbit/in², 最近报道已达 11Gbit/in², 从而在与光盘竞争中, 磁盘重新处于领先地位。由于巨磁电阻效应大, 可使器件小型化, 廉价, 可作成各种传感器件, 例如: 测量位移、角度, 数控机床、汽车测速, 旋转编码器, 微弱磁场探测器(SQUIDS)等。作成数字磁头, 用于摄录相机、数码相机、数字电视和可视手机。

4.3.2 磁性薄膜变压器

个人电脑和手机的小型化,必须采用高频开关电源,并且工作频率越来越高,逐步提高到1~2MHz或更高。要想使高频开关电源进一步向轻薄小方向发展,立体的三维结构铁芯已经不能满足要求,只有向低维的平面结构发展,才能使高度更薄、长度更短、体积更小。对于10~25W小功率开关电源,将采用印刷铁芯和磁性薄膜铁芯。几个微米厚的磁性薄膜,基本上不形成三维立体结构,而是二维平面结构,其物理特性也与原来的立体结构不同,可以获得前所未有的高性能和综合性能。

例如钴基的非晶磁性薄膜饱和磁通密度 B_s 达到1.5特斯拉,比钴基的非晶合金高许多。对于高频下使用的磁性薄膜,主要指标是高频损耗,所以特别要提高电阻率,因为它直接影响高频下的损耗和有效磁导率。但是,磁性薄膜并不单纯追求高电阻率,还要兼顾其它指标。软磁铁氧体材料虽然电阻率高,但饱和磁通密度 B_s 低,不适合作数兆赫以上高频磁性薄膜集成变压器和电感器。

今后发展方向是微晶FeMC磁性薄膜,M可以是钛、锆、铬、铌、钽,是利用FeMC复合靶在氩气中溅射而成非晶磁性薄膜,热处理后晶化,形成微晶结构。此材料现在主要用作薄膜磁头,并已经用于工作频率在10MHz左右的移动通信手机电源中的变压器。

4.3.3 磁光存储器

当前只读一次刻录式的光盘已经广泛应用,但是可重复写、擦的光盘还没有产业化生产。最具有发展前途的是磁性材料介质的磁光存储器,其可以像磁盘一样反复多次地重复记录。目前大量使用的软磁盘,由于材料介质和记录磁头的局限性,其存储密度已经达到极限;另外其已经不能满足信息技术的发展要求,无法在一张盘上存储更多的图像和数据。采用磁光盘存储,就能在一张盘上记录数千兆字节到数十千兆字节的容量,并且能反复地擦写使用。

4.3.4 磁光无源器件

随着通讯技术的发展,微波系统已经达到成熟地步,而光纤通信正在蓬勃地发展。现在,国外的微波工作者逐渐转向光通信领域;同时,把微波通信中应用的磁光无源器件也带到光通信方面,利用磁性材料的磁光效应研制磁光无源器件。根据光纤通信的技术要求和磁性材料的本征特性,磁光无源器件的发展具有广阔的市场。

(1) 在光波宽带通信中,要把各种光频回路匹配起来,

必须考虑使用光环行器、隔离器和开关等器件。因为在光纤通信中,光源受到光纤反射光的影响会引起工作不稳定。随着光回路复杂化,这种情况会变得更加严重。为实现光源的稳定性,与微波领域中采用的措施一样,使用隔离器是不可避免的。光隔离器能降低反射光影响,从而得到高性能的光传输特性。光环行器是双向传输光路和光测量装置不可缺少的,尤其是光纤通信的良好匹配元件。在多模光纤装置中把来自一路通道的信息快速转换到另外几路通道中,需要光多接点开关。

(2) 磁性元件作为光无源器件,具有良好的光特性,如钕铁石榴石磁性单晶材料在近红外波段1.55微米具有一个透明的窗口,光吸收损耗极低。我们知道,光的传输损耗与通过光纤的光波波长有关。在1.55~1.58微米波长时,光纤具有较低的光传输损耗和较小的光色散,这特性有利于远距离和宽带光纤通信。如目前广泛使用1.55微米的光波频率,在此波长时,光传输损耗约为每公里0.2分贝,这样在远距离光纤通信中,只需要间距为100~150公里的中继器。这对磁光无源器件的发展提供了一个良好的环境,其特性比机械,电光器件更好,而且适合于集成化。

(3) 磁光无源器件的优点是功耗低、结构简单等;但最主要是能够薄膜化,适合于集成光学系统。这一点很重要,因为,把光源、透镜、棱镜和非互易光学元件做成薄膜器件集成在一块衬底上的集成光学技术是21世纪发展方向。在集成光学基础上发展的集成磁光学是应用磁性薄膜作为光波导来实现光无源器件,也是磁性薄膜学的一大重要技术发展。

5 展望

磁性纳米材料的应用可谓涉及到各个领域,在机械、电子、光学、磁学、化学和生物学领域有着广泛的应用前景。纳米科技的诞生将对人类社会产生深远的影响,21世纪初的主要任务是利用纳米材料各种新颖的物理、化学和生物特性,设计出各种新型材料和器件,通过纳米技术对传统产品的改性,发展纳米结构的新型产品,增加其科技含量。目前,这项工作已展现出广阔的前景,具备了形成经济新增长的基础。而磁性纳米材料作为纳米材料科学领域一个明星,在新材料、能源、信息、生物医学等各个领域将发挥重要作用。