

光 化学光谱烧孔

频域光学存储技术

聂玉昕 王夺元

自二十世纪的四十年代中期第一台电子计算机问世以来,计算机越来越深刻地影响科学技术和人类社会.存储器是计算机的重要组成部分,随着计算机的进步,存储器的发展也是日新月异的.计算机的存储器分为内存和外存二种,内存包括 RAM(随机存储器)和 ROM(只读存储器),外存一般是指磁带机、磁盘机以及新近发展起来的光盘机和光带机.目前这些存储器存储信息的最高密度大约都在每平方厘米 1 兆字节的水平(每印刷页的书籍、杂志一般约包含 5 千字节的信息).能不能进一步提高信息存储密度呢?回答是肯定的,人们正在向这一方向前进.用传统的工艺和技术,如超大规模集成电路工艺,成倍地提高信息存储密度是可行的.但由于技术和工艺的复杂性,成量级的大幅度地提高存储密度则很困难.因为每个数据点的尺寸,已进入微米级大小,要把用于光刻的光束或电子束聚焦到更细很不容易.如果大幅度地提高存储介质的信息存储密度,需要新的原理性的突破.

1985 年由美国 IBM 实验室的 R. M. Macfarlane 等人报导的光子选取型光化学光谱烧孔的工作,揭示出一种新的高密度信息写入和读取的方式.在原来二维平面记录的基础上,又增加了频率维,从而大大地提高了信息存储密度.这里以掺有二价稀土钐离子的氟氯化钡晶体为例,说明频率域存储信息的原理和特点.

自由原子或离子从一个束缚态到另一个束缚态的跃迁,一般对应着一条比较窄的光谱线,它的宽度由跃迁上下两能级的寿命决定.光谱线的宽度与发光中心

所处的环境有关,如果把发光中心分散在固体介质中,每个发光中心就要受到周围原子和离子的作用,每个发光中心的周围微观环境多少会有所不同,结果使原来自由发光中心的跃迁频率改变,因而在频谱中的位置发生移动,每个发光中心跃迁频率移动的大小不同,统计而言,就成了非均匀加宽的发光中心数目随频率的分布,见图 1.

和自由发光中心的均匀加宽光谱线相比,固体中相应的非均匀加宽谱线的宽度要大得多.固体中的均匀线宽谱线的宽度与温度有关,温度愈低,均匀线宽的谱线愈窄,而非均匀加宽的谱线宽度随温度变化不大,所以在低温下,固体中的非均匀加宽谱线宽度里,可以容纳许多均匀线宽的谱线.

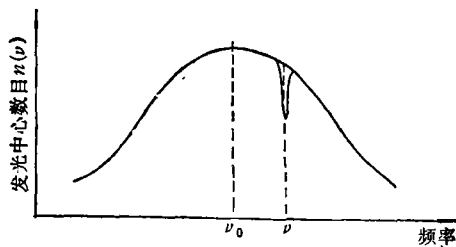


图 1 固体中发光中心数目随频率的分布,其中 ν_0 为自由发光中心的跃迁频率

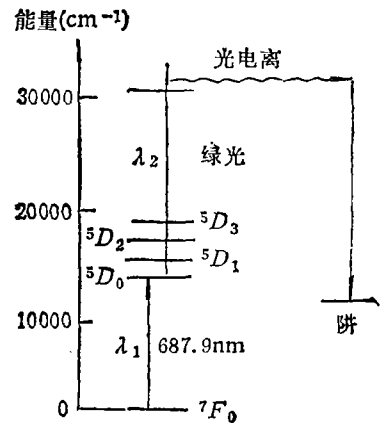


图 2 标出了两步光电离的 $\text{BaClF}:\text{Sm}^{2+}$ 的能级图

当一束线宽很窄的光束通过固体时会发生什么现象呢?设此光束的频率在 ν_0 附近,频率等于 ν (见图 1),那些在固体中跃迁频率被移到 ν 附近的发光中心会和辐射场发生相互作用,纷纷从基态(图 2 中的 7F_0)跃迁到激发态 (5D_0),如果此激发态有较长的寿命(亚稳能级),基态中被移到 ν 附近跃迁频率的发光中心的数目就减少了,在图 1 所示的发光中心的数目随频率分布图上,会出现一个光谱孔,这叫做烧孔(hole-burn-

ing)。孔的宽度和入射辐射的强度、线宽以及发光中心的均匀宽度有关,如入射光束线宽很窄、强度也不大,那末孔的宽度大体与均匀线宽相当。这样一来,如果改变入射束的频率,就有可能在非均匀线宽的范围内,烧出许许多多的光谱孔。如以在某一频率处有孔或无孔分别表示信息的1和0,就可以在一个非均匀线宽的范围内,记录许多编码孔。假如材料在平面上记录信息的密度不变(10^4 字节/厘米²),每个记录点在光谱域又可以记录 10^3 字节的信息,那末该材料的信息记录密度就可以达到 10^7 字节/厘米²,这当然是存储器发展的非常诱人的前景。

上面还只说到存储器写入中的一个方面,发光中心处于激发态并不能持久,最终还会回到基态,这时光谱孔消失,写入的信息就自然抹掉了。这还不能构成存储器。如果随着烧孔光束($\lambda_1 \sim 687.9$ nm)同时射入另一光束(λ_2 , 绿光)使发光中心从亚稳态跃迁到离化态(见图2),那么情形就不同了。此时二价钐离子 Sm^{2+} 变成了三价钐离子 Sm^{3+} ,光谱孔标志的信息就可以长期保留下来了。这一光束通常称为门控光束,仅当烧孔光束(λ_1)和门控光束(λ_2)同时照射时,才会在存储介质中留下永久的光谱孔。

我们接着讨论信息的读出过程。上述的光谱孔与相应频率处基态发光中心数目的减少相联系,这意味着该频率处材料的吸收值或透过率有一明显的变化。用一束可调频率的激光束扫描测量材料的吸收值或透过率,即可得到编码的光谱孔所记录的信息。读出过程和写入过程的不同之处在于:不存在门控光束,读出光强亦弱得多,所以读出过程不会引入新的光谱孔,也不会破坏已经写入的信息,反复多次读出的结果亦应如此。

对于计算机的随机存储器(RAM)而言,还要求写入的信息可以迅速擦除,以供再输入新的信息。用一定波长的光束照射存储介质,有可能发生可逆的光化学反应,使电离后失去的电子从周围介质的“阱”中返回已经离化的发光中心,并使发光中心回到写入过程发生之前的基态上。寻找适当的光存储材料以及发生这种写入与擦除过程可逆光化学反应的条件,正是当前这项研究工作的主要内容。

目前已经在氟氯化钽掺钐晶体、氟化钠晶体的色心等无机材料以及硼酸玻璃中的咪唑和 $\text{TZT}/\text{CHCl}_3/\text{PMMA}$ 等多种有机材料中观测到永久的光化学光谱烧孔现象。和无机材料相比,有机材料的非均匀线宽的宽度一般更大,烧孔中所涉及的能级也有不同之处。图3是 $\text{TZT}/\text{CHCl}_3/\text{PMMA}$ 的有关能级、跃迁及电子转移过程的示意图,其中 TZT 是电子的施主, CHCl_3 是电子的受主。 TZT 的基态是单态 S_0 ,以波长为 630nm 的光束使之激发至单态 S_1 能级,从单态 S_1 能级弛豫到三重态 T_1 能级,不同波长的门控光束可使使之从 T_1

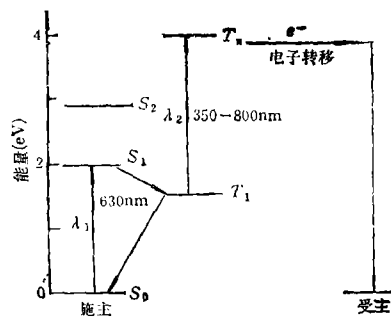
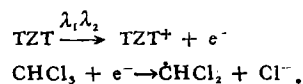


图3 标出施主——受主电子转移的 $\text{TZT}/\text{CHCl}_3/\text{PMMA}$ 系统选通烧孔的有关能级图。

能级跃迁至离化电位以上的三重态高能级 T_2 ,这时电子由施主 TZT 转移至受主 CHCl_3 ,其过程为



目前,寻找合适的光化学光谱烧孔材料的工作已在国内外的不少实验室中进行,这些材料应当满足以下几方面的要求。

- 1, 读出和写入的速度不低于每秒30兆比特,或者每个比特30毫微秒,这样的存储器才能用在计算机上,和计算机的运算速度相适应。
- 2, 要有较高的宽带信噪比(>26分贝)。信噪比高才可保证信息写入和读出的过程不出现错误或者出错的几率(误码率)非常小。这涉及材料的光吸收值以及烧孔过程中材料吸收或透过率变化的大小,光谱孔烧得太浅会使信噪比降低,孔烧得太深又会使光谱孔加宽,从而减小了信息存储密度。
- 3, 材料的厚度约为0.1毫米左右。二维平面上记录密度每平方厘米1兆比特,意味着每个信息单元占用的面积约为 10×10 微米,或者是直径约10微米的圆。将光束直径聚焦到10微米左右时,其焦深约为0.1毫米。在这种条件下,如果材料太厚,一束光会照射到直径10微米的区域之外的其它信息记录单元上去,造成“串音”,这是应当避免的。
- 4, 材料的吸收波长应在600毫微米以上。这是因为材料如果进入实用阶段,用来烧光谱孔的光束应当来自半导体激光器。目前半导体激光器的可调谐范围在红外区,正在向可见区延伸,预计不久有可能延伸到600毫微米附近。对材料的这一要求是来自实用和工程方面的考虑。
- 5, 材料的性能应当长时间稳定,在材料上记录的信息也应在长时间(如数年)内保持不变,这样用它来记录信息才可靠。人们还希望将来材料的工作温度尽可能高一些。虽然现在获得和维持材料在液氮温度(4.2K)并不很困难,但对计算机的用户而言,用液氮或低温恒温器维持低温,既耗资又麻烦。



氢弹是如何爆炸的?

彭先觉

1952年11月1日,美国在埃尼威托克岛上成功地进行了世界上首次氢弹原理试验,揭开了武器发展史上崭新的一页。此次试验威力达到了1000万吨梯恩梯当量,约为广岛原子弹爆炸力的800倍,世界为之震惊。时隔不久,1953年8月,苏联也宣布进行了氢弹试验。1961年苏联还爆炸了一个5800万吨梯恩梯当量的热核装置。据称此装置稍作改变,当量便可达到1亿吨。氢弹如此巨大的爆炸能量究竟是如何释放出来的呢?或者说氢弹是如何爆炸的呢?

从原子核物理学可知,一个重核分裂成两个或两个以上中等质量的核可以释放出大量的能量,两个轻核聚合成质量稍重一点的核也可以释放出大量的能

量。前者是制造原子弹所依据的物理规律,后者是制造氢弹所依据的物理规律。原子弹是利用铀235核或钚239核在中子轰击下发生裂变并放出两个以上中子的事实,创造条件实现自持链式反应而获得爆炸能量的。氢弹则是利用氘、氚等轻核的自持聚变反应而获得巨大爆炸能量的。

原子核聚合的反应,通常称之为聚变反应。我们知道,原子核都是带电的,要使聚变反应能够发生,首先必须使原子核能够克服静电斥力而彼此靠近。因此赋予参加反应的原子核以足够的动能,是实现聚变反应的先决条件。使原子核获得所需能量的方法之一是用加速器来加速。但由于高能原子核打在靶上,主要发

6,材料应当不难制造,价格便宜。比较不同存储材料的价格时,应当主要考虑的是存储单位信息量的材料的价格,按照这样的算法,国外用计算机软磁盘存储信息的价格,已低于存储同样信息量的书籍和杂志的价格了。考虑到光化学光谱烧孔材料记录信息的极高密度,在将来市场及价格方面的竞争中,会占据非常有利的地位。

现在虽然尚未找到同时满足上述诸条件要求的频率域光存储材料,但人们已开始讨论、设计和试验用这类材料制做存储器的工艺、技术和工程方面的问题了。用于烧光谱孔和读出的光源是半导体激光器,它的输出光频率可以由供电电流迅速调节。每一个激光器可对一个方阵的信息记录点写入或读出,可由声光偏转器或由压电陶瓷控制的可转动的镜子使光束从一个记录点迅速偏转到另一个记录点。材料放在低温恒温器中保持低温,透过材料各信息点的光,由光学纤维引出至光二极管,其光强信号由信号处理单元处理,伺服控制系统控制声光偏转器和可转动的镜子,使光束依次照射方阵中的各信息点,并在每个信息点上依次改变光束的频率,写入或读出频率域的信息。设想方阵是由 1000×1000 个信息记录点构成,如果存储材料的非均匀线宽范围内可以容纳 10^3-10^4 个均匀线宽的光谱孔,那么该存储器可以存储的信息量就是 10^9-10^{10}

比特,存储密度约为 10^9-10^{10} 比特/平方厘米,这当然远远超出现有存储材料的存储能力。

还应当指出的是,这种频域光存储器的研究不仅涉及光与物质相互作用的许多光物理和光化学问题,如原子、离子或分子里的能量转移以及原子、分子或离子间的电子交换过程,还要用到高分辨率光谱技术。固体中一些发光中心的非均匀加宽谱线一般在几十到数百千兆赫的范围,而低温下均匀线宽一般在兆赫的量级。如果用来烧光谱孔的光束线宽很宽(如远大于10兆赫芝),那末光谱孔的宽度主要由光束的线宽决定。如果此光束的线宽很窄(远小于10兆赫芝),光谱孔的宽度才主要由发光中心的均匀线宽决定,这样才能在非均匀线宽的范围里,烧出许许多多光谱孔。得到这种窄线宽、频率又可以变化的光并不容易。对于600毫米微米的红光来说,1埃的光谱宽度是84千兆赫芝,而10兆赫的光谱宽度仅为0.000119埃。一般的光谱仪器都达不到这么高的分辨率,普通光源和常规光谱仪组合也无法产生这么窄的光谱线。随着激光技术的进步而发展起来的连续波泵浦的可调谐染料激光器可以产生线宽小于1兆赫的辐射,可以用来进行烧孔动力学研究和频域光存储实验,这种高光谱分辨率的光谱手段和技术,正是探索光化学光谱烧孔材料及研究频域光存储的有力工具。