

电四极相互作用、磁超精细相互作用、原子核之间的磁偶极相互作用、温度效应和红移等等。这些因素中有些可以避免,如温度和红移效应,只要在尽可能低的温度下工作,原则上可以避免。磁超精细相互作用和磁偶极相互作用,可以采用核磁共振原理,施加经过特别选择的射频场,来抑制这方面展宽因素。而对于来自电-磁相互作用的同质异能移位和电四极相互作用,是穆斯堡尔效应方法本身不可避免的。不解决这些问题,要使用长寿命穆斯堡尔同质异能态作为相干的 γ 辐射源去实现 γ 激光是相当困难的。

对于短寿命的穆斯堡尔同质异能态 γ 激光工作方式,与上述方法相比,其主要优点是不用制备无位错晶体,而能级增宽也不是主要因素。但由于能级的自发衰变,在极短的时间内(小于能级寿命)实现粒子数的反转需要极高的抽运功率。如果用原子核俘获中子形成同质异能态,中子抽运则需极高的中子通量,而高通量中子会使 γ 激光工作物质有过热的严重危险。因此,使用这种方式的第一步必须搞清楚满足这些要求的可能性及改进抽运技术的方案。从原则上讲有可能使用某些材料所具有的参数与 γ 激光粒子数反转的要求协调,同时又能避免有害的发热。然而在 $T \leq \tau_0$ 时间内,它所需要的中子累积通量约 $10^{19} \sim 10^{20}/\text{cm}^2$, τ_0 越小,所需的抽运功率越大(因抽运功率与 τ_0 成反比),而且如此高的中子通量只有在核爆炸时才能达到。为了降低抽运所需的中子通量,物理学家们提出了两种方案:

一种称为移植法。移植法的基本物理思想是希望中子辐射俘获后,将因反冲而从原子核表面逸出的穆斯堡尔受激核收集起来。例如对分散体系($100\text{m}^2/\text{g}$)的辐照而言,一立方厘米中有 $10^{19} \sim 10^{20}$ 个核会由于中子俘获后的反冲能而迅速从表面逸出,快速收集逸出的穆斯堡尔原子是可能的,用收集到的大量激发核(约 10^{15} 个)的能量足以产生受激 γ 发射。

还有一种方法称为两步抽运法。它的基本原理是在含有质量数为 A 的稳定同位素的固体靶中,存在着中子俘获而形成质量数为 $(A+1)$ 的同种元素受激

核能级上,随后发射一个 γ 共振量子,然后又回到基态,于是该共振量子进入晶体,在晶体中含有处于基态的同种穆斯堡尔同位素核,假如发生穆斯堡尔效应,则 γ 量子被共振吸收。两步脉冲中子抽运使所要求的中子通量密度降低1—2个数量级,此外还可使激光工作介质的发热减至最小。这是一种较为有希望的方法。

对于 γ 激光中的共振腔设计就更加困难了,因为这种共振腔必须能提供正反馈,从而增强 Q 因子(反转的比抽运功率),改进单色性,控制束流的发散度,确定发射的模式结构,使抽运功率降为最小。目前还没有找到 γ 激光更合适的反射镜。

如果要研制比真空紫外波段短100倍的激光器($\lambda = 1 \sim 10 \text{ \AA}$),除了利用原子核能级间跃迁的 γ 激光之外,还有几种可能的相干光源,如利用原子的内电子壳层能级间跃迁的X射线激光等,它与 γ 激光相比,X射线激光实现起来会更加困难,这主要与抽运功率有关,在这里就不详述了。

γ 激光的前景

γ 激光作为一种非常有希望的十分复杂的高技术,目前尚处于理论上的探讨阶段,这是因为有许多技术问题尚需解决,它需要各个领域的科学工作者共同努力,协同作战。特别需要加强基础理论研究,尤其要重视光学,光谱学这样一些学科,同时要善于吸取和运用物理学的各种新成就。到目前为止已有许多种设计和方案。可以预见在一个不太长的时间内,人们一定会得到波长更短的 γ 激光。

γ 激光的未来应用可能会非常广泛,就其波长范围来说($\lambda = 1 \sim 10 \text{ \AA}$),会大大推进某些科学技术的发展。例如,利用 γ 激光能显示生物大分子的全息照像,提供高分辨率的微裂缝探测,高反差照像机,加工小于几个微米的电子元件等,将会出现一个新兴的激光工业部门。此外,利用 γ 激光还可以进行新的物理实验,激光将更广泛渗透到各个科学领域,会形成一些边缘学科,如激光生物学、激光化学,也必将会引起自然科学的一次变革。

我国超导研究出现新突破

今年初,北京有色金属研究总院采用熔融织构生长法(MTG)成功制备出高临界电流密度的钕钡铜氧化物超导体。经过中科院物理所连续四次复测,临界电流密度达到每平方厘米23800安培(77K,2特斯拉)。这样高电流密度的高温超导体至今未见国际上有报道。该测试采用直流持续电流四引线法进行,失超判据为每厘米1微伏,磁场方向垂直于测试电流方向。当外磁场增加到7特斯拉时,临界电流密度仍能

达到每平方厘米8600安培。由于通入电流过大,电流引线接点常在样品失超前就已烧毁。如果解决了接点问题,样品的临界电流密度还有望提高。熔融织构生长法制备的超导体具有许多特点:其体密度接近理论密度,基本上消除了粉末烧结超导体存在的弱连接问题;有显著的择优取向性,电流可以沿着导电性较好的a-b面流动;材料内部存在晶体缺陷,除了弥散分布的211相和氧化铜相,在123超导相内部发现大量的孪晶、位错、位错环及层错。这些缺陷可能作为磁通钉扎中心,有利于提高超导体的临界电流密度。

(任洪涛、肖玲、贺庆)