

# 超晶格

林 鸿 溢

(北京理工大学电子工程系 100081)

晶格是原子或分子聚集时在一定条件下形成的周期性有序结构,这是晶体的基本特征.科学家在实验中利用现代技术实现了人工的周期性有序结构,这是人为的周期性结构,它显示出不寻常的特性,称为超晶格结构,也可称为超晶格材料.

科学家通过实验研究发现,晶体是由原子、离子或分子(统称为微粒)有规律地排列而成的.晶体中微粒重心有规律周期性地排列所组成的骨架称为晶格(图1).换句话说,所谓“晶格”,就是晶体内部微粒所处的格子,或形象地称为“蜂房”.不同的单晶体材料具有各不相同的“蜂房”(图2).有一点是共同的,即都是有规律地周期性重复排列而成的,它形成了璀璨绚丽的晶体世界.

## 超晶格结构的实现

科学家在长期研究原子按周期性有序排列的晶体材料的过程中,自然联想到,如果人为地制造出人工周期性结构材料,可能会显示崭新的性质.这个设想是日本科学家江崎和华裔科学家朱肇祥于1969年首先提出来的.

科学分析表明,人工设计的超晶格结构周期必须小于电子的平均自由运动的路程(电子

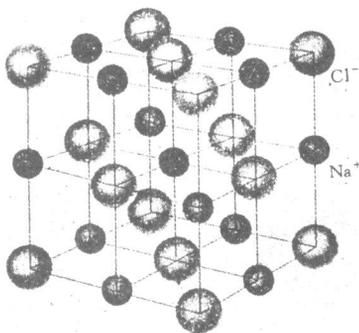


图1 将 $\text{Na}^+$ 离子和 $\text{Cl}^-$ 离子交替排列在一个简单立方点阵的阵点上,可以构成一个氯化钠晶体

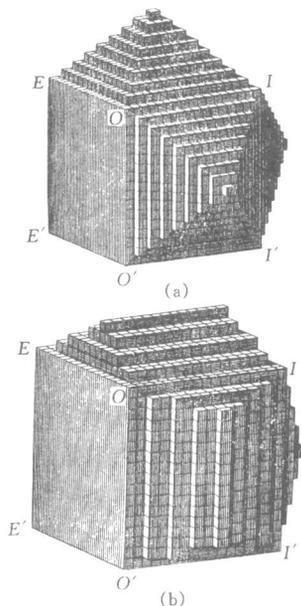


图2 不同晶体结构“蜂房”

的平均自由程为50纳米),这样才会影响电子的运动特性.最初做的半导体超晶格是由砷化镓(GaAs)和镓铝砷(GaAlAs)两种半导体薄膜交替生长而成的(图3),GaAs和GaAlAs相间生长,每层厚度在5纳米左右.

半导体超晶格材料制备是在分子束外延(MBE)设备上研制成功的.分子束外延是目前薄膜生长技术中最先进的技术.这种技术利用定向分子束流在单晶衬底上生长结晶薄膜的方法,使原子或分子一个个地在衬底上淀积,所以能够精确地控制薄层的厚度,其精度可达到单原子层的程度.

分子束外延的其他优点有:生长薄层单晶材料的温度低;材料的组分、杂质和生长速度可以任意选择和控制在;能够得到质量很高的薄层之间的界面特性.

## 超晶格的应用

半导体超晶格材料中电子运动的规律很特殊.由于人工周期结构的作用,在垂直于界面的方向电子运动受到束缚,而与界面平行的方向电子的运动是自由的,也就是电子在平面内自由运动,而且有很高的迁移率.利用砷化镓和镓铝砷交替生成可以研制成所谓的“弹道晶体管”.在这种器件中,电子具有很高的动能且

在器件有效长度内不受到碰撞,从一个电极被弹射到另一个电极,达到极高的速度(在砷化镓中可达到  $10^6$ 米/秒),这是当今世界上速度最快的晶体管,它可以在很高频率下工作.

半导体激光器的发展推动了光通信和光计算机的发展.但由于需要与光导纤维相匹配,目前使用的光波长范围受到很大限制.利用超晶格结构则可以拓展光波长范围,其原因是交替生长的砷化镓晶体材料薄层和镓铝砷晶体材料薄层的厚度(超晶格结构周期)是可以精确控制的,而不同超晶格周期的材料可发射不同的光波长,这样就可以满足各种不同波长的要求.

此外,超晶格激光器的阈值电流密度低,大概是普通半导体激光器的三分之一,所以功耗大大降低.

浩瀚的宇宙空间有各种飞行物,纷繁的人类社会也有来袭的武器,通常这些东西都是发热体,发热体总要向外发射看不见的红外线.利用人工超晶格材料可以制作很灵敏的红外探测器,可以探测天外不明飞行物或来袭武器的

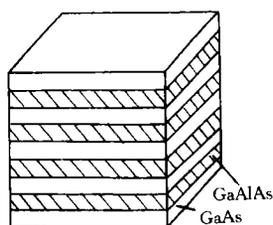


图3 GaAs/GaAlAs超晶格

行踪,为人类增添一双灵巧的人造“眼睛”.

### 超晶格研究进展喜人

半导体超晶格的制作技术,随着现代技术的进步,不断得到提高.材料的种类已由开始时的砷化镓/镓铝砷超晶格结构扩展到镓铝砷/镓砷、镓砷/镓锑、碲镉/碲汞、锑铁/锑锡等.近年又从化合物发展到锗、硅元素半导体,已研制成硅/锗超晶格.

以上说的都是晶体材料形成超晶格,后来发现非晶体也可以组成超晶格.已经做成的有非晶态硅、锗、氮化硅和碳化硅等的薄层周期交替生长组成的超晶格,称为非晶态半导体超晶格.实验已经观察到一系列奇异的光、电现象.

超晶格具有可由人工设计和控制的奇异特性,受到世界各国的重视.日本已将超晶格研究列入今后10年优先发展的目标之一,认为超晶格材料是发展21世纪新型电子器件的支柱材料.世界性的竞争十分激烈,各国科学家都在加紧研究.

我国对半导体超晶格材料及器件的研究与应用十分重视,江泽民主席曾考察了设在中国科学院半导体研究所的超晶格国家重点实验室.半导体研究所在超晶格研究方面做出了许多开创性的工作.南京大学在半导体锗硅超晶格研究中,创造了用管状灯管加热的快速升温超低压化学汽相淀积技术,生长出原子级平整度的超薄层锗硅材料.沈阳科学仪器厂研制成功了分子束外延设备,并已投入实际应用.

\*\*\*\*\*

### 向您推荐《现代物理知识》

《现代物理知识》创刊于1989年元月,是一份中、高级科普杂志.该刊侧重于介绍现代物理知识、物理学前沿的最新成果与发展动态,以及有关物理学的新技术及其应用.

《现代物理知识》由中国科学院主管,中国科学院高能物理研究所主办,科学出版社出版,国内外发行,各地邮局均可订阅.1999年的报刊征订工作即将开始,欢迎广大读者及时订阅《现代物理知识》.1999年全年6期邮局订价为18元,每期3元.

本编辑部出售的杂志种类和价格为:1992年合订本,18元/本;1993年合订本,18元/本;1995年合订本,22元/本;1996年合订本,26元/本;1993年所庆增刊,8元/本;1994年增刊,8元/本;1996年增刊,22元/本;1997年合订本,36元/本;1999年全年6期共20元.

欲邮购杂志的读者,请汇款至:北京918信箱《现代物理知识》,邮编为100039.收款人姓名栏请填写:“现编部”.汇款人地址、姓名、邮编请书写清楚、完整.

《现代物理知识》编辑部