

这些冻结缺陷态密度随温度的变化行为,实验结果表明:这种缺陷态密度与测量的速度密切相关,即存在一个弛豫过程和弛豫时间,这种弛豫过程遵循指数规律。这实际上是一个热平衡过程。但是,如果该材料的弛豫过程很短,就很难准确地测出它的缺陷态密度变化。这个问题还正在进一步的研究。

#### 4. 缺陷态密度的测量

缺陷态密度的测量始终是研究非晶态半导体物理的一个重要内容,多年来不少学者从理论和实验上进行了大量的工作,提出了不少新的思想和新的测量方法(有十多种方法),用以确定非晶态半导体中缺陷的类型和数量。因为一个高质量的半导体样品必然存在有最低的缺陷态密度,如高效非晶硅太阳能电池和高性能的非晶 Si 器件都要求非晶硅薄膜中的缺陷态密度要接近或低于  $10^{16}/\text{cm}^3$ 。但由于 H 的存在和 H 的运动,外界条件的影响,掺杂(B、P)作用等因素,使非晶硅薄膜的缺陷密度高出  $10^{16}/\text{cm}^3$ 。另外还存在一个实际问题,就是对同一个样品,用不同的测量方法也会得到很不同的值。最近瑞士的 Wyrsh 和 Finger、美国的 McMahon 和捷克的 Vanecek 联合提出了如何更精确的测量 a-Si:H 中的缺陷态密度方法。他们是用光热偏转谱法(PDS)和恒定光电流法(CPM)测量,用 ESR 方法来标定缺陷态密度的精确值。又应用三种不同手段来确定“亚带隙吸收谱”,即重叠法、积分过剩吸收和在一个单能量处的吸收系数,最后找出了一个较简单和有足够精确度的定标值。他们对 a-Si:H 测量值为  $2.4 \rightarrow 5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ , 这表明目前材料的水平还没有完全达到非晶硅器件的要求。

#### 5. 光学特性及发光效应

非晶半导体的光学特性主要包括有光吸收、光电导和发光三个方面。非晶半导体的光吸收系数比晶态半导体大的多,当光照后可成为一个很好的光导体,所以它具有优异的光电特性并具有重要的应用价值,在这些方面已有大量的研究工作不再多述。目前对非晶半导体的发光(尤其是电致发光)研究的较多,由于它的光学带隙在 2eV 以上可发出可见光(如兰白光),有希望制作成大面积发光器件。两个典型的发光结构为:①玻璃/透明导电膜(TCO)/P-a-SiN:H/a-C:H/a-SiC:H/a-C:H/a-SiN:H/Al(铝),(日本大阪大学);②玻璃/TCO/P-a-SiC:H/i-a-SiC:H(1.95eV, 35 Å, 11 层)/i-a-SiC:H(2.4eV, 90 Å, 10 层)/Al,(兰州大学)。目前由于发光强度较弱,还未达到实用阶段。

#### 6. 非晶半导体输运效应

非晶半导体的输运机制要比晶态半导体复杂的多,由于结构的无序性引入了更多的缺陷能级,例如在它的导带尾、价带顶和带隙中部有定域化能级,因而在电子和空穴的输运过程中,不仅有导带和价带的贡献,而且还有这些定域化能级的贡献。在晶态中载流子是共有化运动,而在非晶态中的定域化运动是“跳跃”式的,

要克服一定的位垒能量,并同温度有密切的关系。非晶半导体输运效应包括有直流电导率,交流电导率,霍尔效应及温差电效应。人们研究得最多的要算直流电导率  $\sigma$ , 其表达式为:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{K_B T}\right) + \sigma_1 \exp\left(-\frac{E_A - E_F + W_1}{K_B T}\right) + \sigma_2 \exp\left(-\frac{W_2}{K_B T}\right) + \sigma_3 \exp(-B/T^{1/4})$$

上式的前三项分别对应于扩展态电导、带尾态电导和带隙中缺陷定域态电导,第四项是在极低温度下带隙定域态的变程跳跃电导。对霍尔效应目前虽有一些工作,但还存在不少困难,尤其是对它的符号(正或负)还不易说明。

目前在输运效应方面的进展,主要是在强电场和极低温度下的非线性效应,如 Nebel 研究了非晶硅的强场( $> 5 \times 10^5 \text{V/cm}$ )和低温下(10K - 300K)的输运特性,发现强场产生了很强的非线性,使  $\sigma_d$  和  $\mu_d$  改变了几个量级。Juska 还研究了低温量子效应、迁移率和载流子寿命乘积( $\mu\tau$ )的强场效应,提出一些解释。

#### 7. 硫系非晶半导体

硫系非晶半导体,因电子结构的不同其性能同硅系材料有很大差别。它的结构柔软,有 P-型温差电动势率,电子相关能为负等。十多年前就用 a-Se 作成复印鼓,并用硫系化合物作开关集成电路。目前已用硫系材料作成极为有用的激光光盘及其他方面的光电器件。同 a-Si 相比硫系材料研究得还不够。

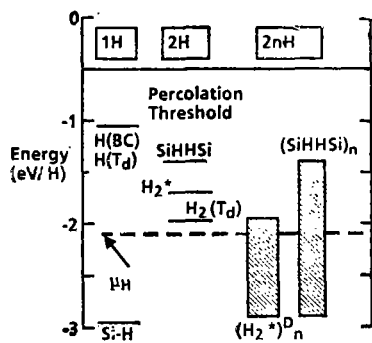


图3 各种状态下H原子能量 ( $\mu_H$  为 H 化学势的计算值)

## 学 问 之 道

河南师范大学物理系 殷雅亭

我没参与教研高能物理学专业工作,焉能谈经验。虚度五十载,深深体会:“学问之道其得不难者失之必易;惟艰难以得之者其能竞业以守之。

耄耋岁病残,奉献成遗憾。谢谢。

作者殷雅亭,生于1905年,从事物理学工作50年。