



半导体物理与器件基础

张 帅

常州大学材料科学与工程学院

第一章 半导体中的电子状态

- 1.1 半导体的晶格结构和结合性质
- 1.2 半导体中的电子状态和能带
- 1.3 半导体中电子的运动、有效质量
- **1.4 本征半导体的导电机构 空穴**
- 1.5 半导体的能带结构

慕课视频片段

视频名称：1.4 本征半导体的导电机构 空穴 MP4.mp4



温馨提示：此视频框在点击“上传手机课件”时会进行转换，用手机进行观看时则会变为可点击的视频。此视频框可被拖动移位和修改大小

1.4.1 本征半导体的导电机构

导电的要求：

电子的共有化运动 \neq 导电。

满带电子不导电。空的能带也不导电。

不满带可导电，部分状态被电子占据的能带可导电。

具有载流子的能带可导电（电子载流子和空穴载流子）。

1.4.1 本征半导体的导电机构

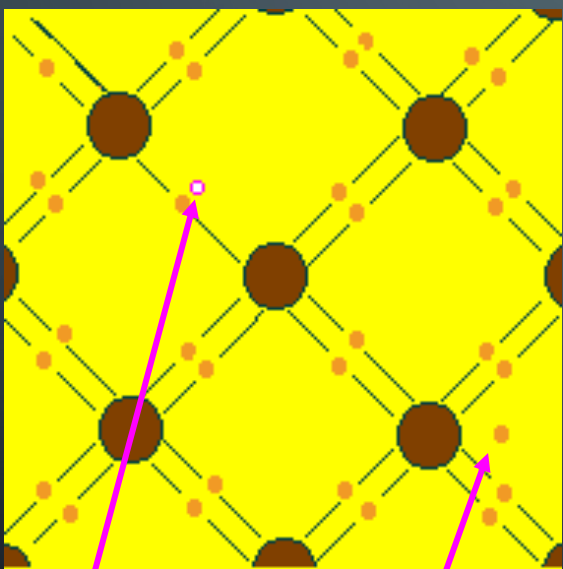
纯净本征半导体导电：

一定温度下，少量电子被激发到**导带底部附近**，具有正有效质量，可参与导电。

价带由于缺少了一些电子，也呈现不满状态，价电子因而也可参与导电。但常用**空穴**导电来描写。

1.4.2 空穴

空穴的直观认识：



空穴与导电电子

共价键缺失一个电子而出现一个空状态

根据电荷平衡，该空状态带有一个电子电量的**正电荷**

1.4.2 空穴

空穴的抽象认识:

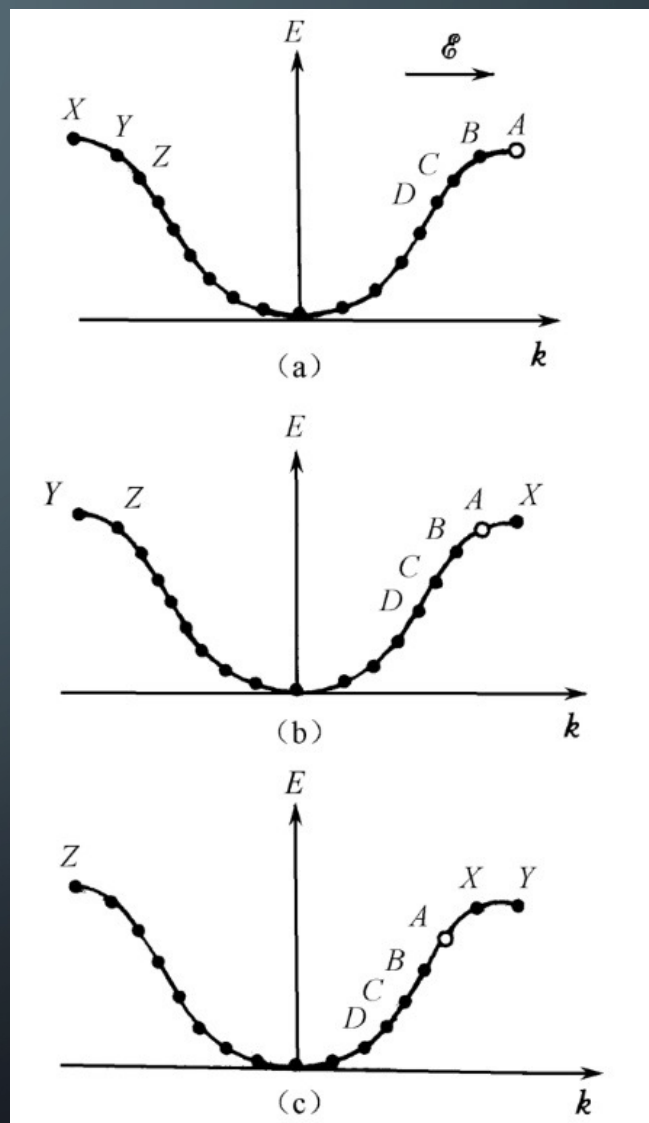
能带（价带）中的空状态

空穴参与导电:

根据 $f = \hbar \frac{dk}{dt}$

表明电子的 k 状态不断变化
表现为上述点以相同速率向左
移动: B电子 \rightarrow C位置, C \rightarrow D,
Y \rightarrow X,

X \rightarrow A。这样空状态就到了A位置 (图b)。



1.4.2 空穴

电流密度的求解:

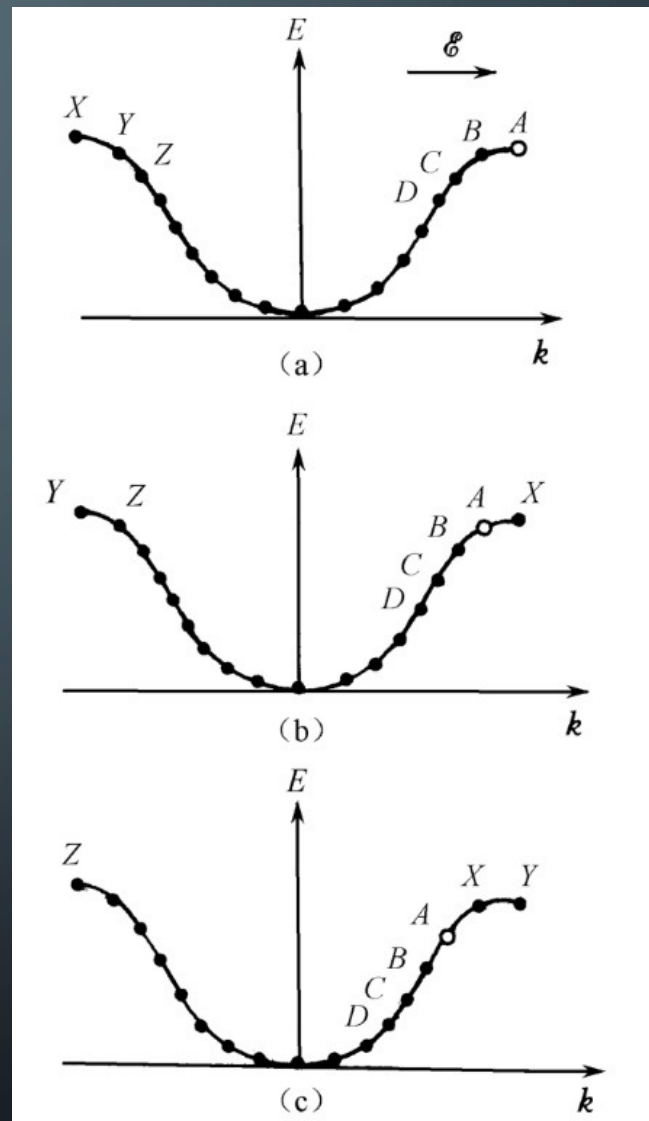
设想有电子填充该空状态，则总电流密度为0。

该总电流密度 = J (含空状态)
+ 设想电子贡献的电流密度

$$J + (-q)V(k_e) = 0$$

$$\therefore J = qV(k_e)$$

如同一个带正电荷的粒子运动产生的电流



1.4.2 空穴

空穴的波矢 k_p :

假设价带内失去一个 k_e 态的电子，而价带中其它能级均有电子占据，它们的波矢总和为 $\sum' k$

满带时： $\sum' k + k_e = 0$

$$\sum' k = -k_e, \text{ 而 } \sum' k = k_p$$

\therefore 空穴的波矢 $k_p = -k_e$

1.4.2 空穴

空穴的速度:

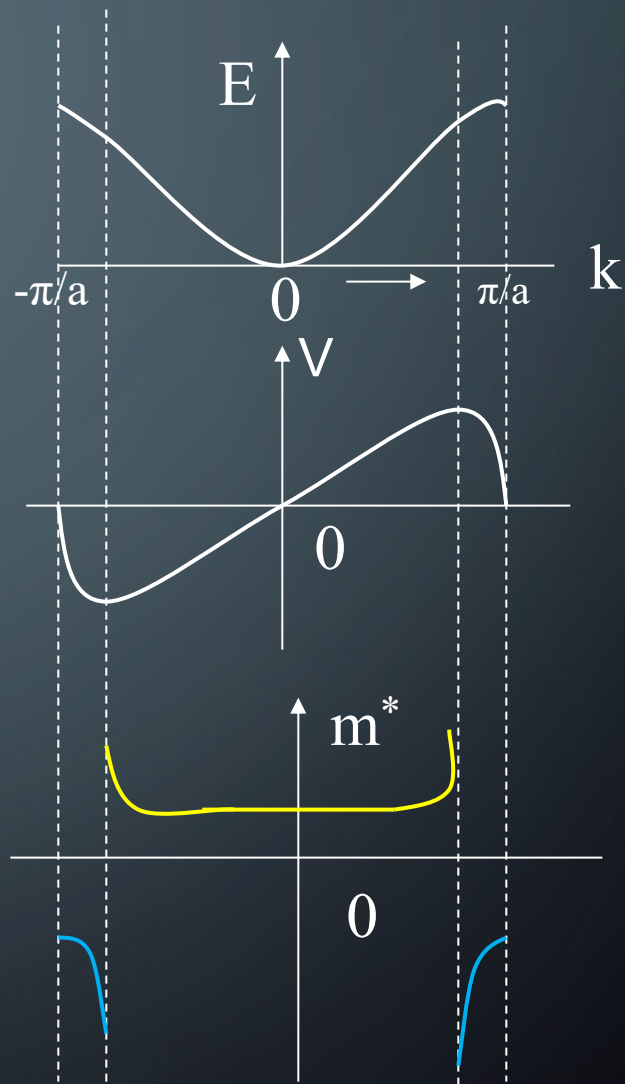
设价带所有电子形成的总电流为 J (含空状态), 那么:

$$J = \sum [-qV(k)] = qV(k_p)$$

$$\text{又因 } J + [-qV(k_e)] = 0$$

$$\therefore V(k_p) = V(k_e)$$

根据右图, 空穴 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 速度不断增加



1.4.2 空穴

空穴的有效质量和加速度：

$$\text{有效质量 } m_p^* = -m_n^*$$

在价带顶附近空穴的有效质量为正。

根据电子加速度：

$$a = \frac{f}{m_n^*} = -\frac{q\varepsilon}{m_n^*}$$

所以空穴加速度：

$$a = \frac{q\varepsilon}{m_p^*}$$