

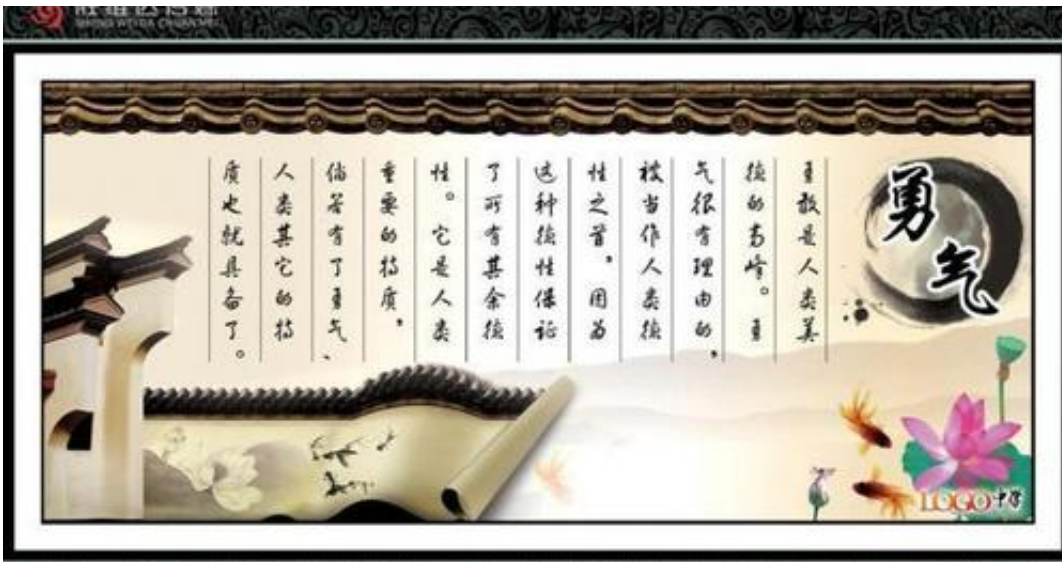
# 费米能级总结

作者：有故事的人 来源：范文网 [www.wtabcd.cn/fanwen/](http://www.wtabcd.cn/fanwen/)

本文原地址：<https://www.wtabcd.cn/zhishi/a/169836449624855.html>

范文网，为你加油喝彩！

江南歌词-都市闲情



2023年10月27日发(作者：菠菜鸡蛋汤的做法)

关于费米能级的不同理解——总结

在大于0K时候，电子处于费米能级的几率是1/2，但并不是说有一半电子位于费米能级之下，另一半数量的电子位于费米能级之上。而是电子能量低于费米能级 的几率大于1/2，而高于费米能级的几率小于1/2，显然这意味着大多数电子优先排布于费米能级以下的位置，这就是为什么原子核外的电子优先占据内部能级 的原因。

固体物理和半导体物理在这方面的内容没有什么差别。原子核外的电子可以拥有的能量当然可以高于费米能级，只不过具有这种能量的几

率很小而已。这也正是为什么本征半导体虽然电导很低，但也不是无穷小的原因。

源文档

回复 ssmwjh2010 的帖子

1. 费米能级不是一个真正存在的能级。它只是用于衡量一个系统的能级水平。

" B8 w3 K/ O) g5 C

2. 对于一个系统来说，处处的费米能级相同。对于两个系统合并成为一个系统，则费米能级也会趋于处处相同（会有净电荷的流动）。

3. 费米能级描述了各个能级上电子分布的概率。9`2 T; W" J" K: a1 z

- o j\* d" L7 B% Q e- ~# l4 A

4. 费米能级随着温度和掺杂浓度而变化。具体来说如下：

a. 对于N型半导体费米能级在禁带中央以上；掺杂浓度越大，费米能级离禁带中央越远，越靠近导带底部4 M3 | l9 n\* o) M

2 z5 W' C% w% j' d8 c

b. 对于P型半导体费米能级在禁带中央以下；掺杂浓度越大，费米能级离禁带中央越远，越靠近价带顶部3 U+ p! J m\$ l/ l+`

个人总结。

## 源文档

当系统处于热平衡状态 且不对外做功的情况下 增加一个电子所引起系统自由能的变化 等于系统的化学势 也就是等于系统的费米能级即 $E_F$ 。

费米能级表征电子的填充情况 费米能级以上的量子态被电子占据的概率很小，费米能级以下量子态被电子占据的概率很大。

同时费米能级也表征了半导体掺杂水平 通常N型半导体掺杂越高费米能级越靠近导带 P型半导体掺杂越高费米能级越靠近价带

## 源文档

在固体物理中老师讲费米能级是电子占据概率为0.5的能级位置，可是学习半导体物理时，发现费米能级常常在半导体的禁带中，大家知道禁带中电子是不能占据的，那为何电子占据概率为二分之一的费米能级会出现在禁带里面呢？

费米能级(Fermi level)是绝对零度下电子的最高能级。根据泡利不相容原理，一个量子态不能容纳两个或两个以上的费米子(电子)，所以在绝对零度下，电子将从低到高依次填充各能级，除最高能级外均被填满，形成电子能态的“费米海”。“费米海”中每个电子的平均能量为（绝对零度下）为费米能级的 $3/5$ 。海平面即是费米能级。一般来说，费米能级对应态密度为0的地方，但对于绝缘体而言，费米能级就位于价带顶。成为优良电子导体的先决条件是费米能级与一个或更多的能带相交。

你这个说法是单纯从费米分布函数说的，没有考虑实际的物理体系。

什么是Fermi能级？为什么Fermi能级可以处于禁带中间？为什么本征半导体的Fermi能级位于禁带中央？为什么n型半导体的Fermi能级位于导带底附近？Fermi能级随着温度和掺杂浓度的改变而如何变化？

Fermi能级（ $E_F$ ）是一个非常重要的物理概念，它在半导体电子学中起着极其重要的作用。

（1）Fermi能级的概念：

在固体物理学中，Fermi能量(Fermi energy)是表示在无相互作用的Fermi粒子的体系中加入一个粒子所引起的基态能量的最小可能增量；也就是在绝对零度时，处于基态的Fermi粒子体系的化学势，或者是处于基态的单个Fermi粒子所具有的最大能量——Fermi粒子所占据的最高能级的能量。

另一方面，按照Fermi-Dirac统计，在能量为 $E$ 的单电子量子态上的平均电子数为：

式中的 $T$ 为绝对温度， $k$ 为玻尔兹曼常数， $E$ 是该Fermi-Dirac

F

分布函数的一个参量（称为化学势）。在绝对零度下，所有能量小于  $E$  的量子态都被电子占据，而所有能量大于  $E$  的量子态都是空着

FF

的，则作为化学势的参量  $E$  就是电子所占据的最高量子态的能量，

F

因此这时系统的化学势也就与费米能量一致。从而，往往就形象地把费米能量和化学势统称之为Fermi能级。虽然严格说来，费米能级是指无相互作用的Fermi粒子系统在趋于绝对零度时的化学势，但是在半导体物理电子学领域中，费米能级则经常被当做电子或空穴的化学势来使用，所以也就不再区分费米能级和化学势了。

在非绝对零度时，电子可以占据高于  $E$  的若干能级，则这时Fermi

F

能级将是占据几率等于50%的能级。处于Fermi能级附近的电子（常称为传导电子）对固体的输运性质起着重要的作用。

（2）Fermi能级的含义：

作为Fermi-Dirac分布函数中一个重要参量的Fermi能级  $E_F$ ，具有决定整个系统能量以及载流子分布的重要作用。

在半导体中，由于Fermi能级（化学势）不是真正的能级，即不一定是允许的单电子能级（即不一定是公有化状态的能量），所以它可以像束缚状态的能级一样，可以处于能带的任何位置，当然也可以处于禁带之中。

对于金属，其中的自由电子在  $k$  空间中将填充成一个球体，称为

Fermi球；Fermi能量也就是Fermi球面对应的能量，该能量可以采用Fermi球的半径——Fermi半径 $k$ 来表示为

F

式中的是Dirac常数， $m$ 是自由电子的质量。因此，金属中的

$h$

Fermi能级也就是导带中自由电子填充的最高能级。 $p=k$ 称为

FF

$h$

Fermi动量， $=k/m$ 称为Fermi速度。一般，金属的Fermi能量

$v$

FF

$h$

约为1.5 ~ 15eV。

对于绝缘体和半导体，Fermi能级则处于禁带中间。特别是本征

半导体和绝缘体，因为它们的价带是填满了价电子（占据几率为

100%）、导带是完全空着的（占据几率为0%），则它们的Fermi能

级正好位于禁带中央（占据几率为50%）。即使温度升高时，本征激

发而产生出了电子-空穴对，但由于导带中增加的电子数等于价带中

减少的电子数，则禁带中央的能级仍然是占据几率为50%，所以本征

半导体的Fermi能级的位置不随温度而变化，始终位于禁带中央。

Fermi能级实际上起到了衡量能级被电子占据的几率大小的一个

标准的作用。在 $E=1/2$ ；在 $E>E$ 时， $f(E) \gg kT$ 时， $f(E)$ ，即比 $E$ 高 $5kT$

FF

的能级被电子占据的几率只有0.7%。因此，E的高低（位置）就反

F

映了能带中的某个能级是否被电子所占据的情况。Fermi能级上电子占据的几率刚好为50%。

在温度不很高时，E以上的能级基本上空着的（例如，导带就

F

是如此，其中的自由电子很少），E以下的能级基本上是被电子填满

F

了的（例如，价带就填满了价电子，其中的自由空穴很少）；在E

F

以上、并越靠近E（即E-E越小）的能级，被电子所占据的几率就

FF

越大。对于n型半导体，因为导带中有较多的电子（多数载流子），

则Fermi能级E必将靠近导带底（E）；同时，掺入施主杂质的浓

FC

度越高，Fermi能级就越靠近导带底。

上述分布函数 $f(E)$ 是指电子占据能带（导带）中某个能级的几率（电子的能量越往上越高）。如果是讨论空穴载流子的话（空穴的能量越往下越高），那么就应当是相应于价带中某个能级所空出（即没有被电子占据）的几率，所以空穴占据能带（价带）中某个能级的几率可以给出为

对于p型半导体，因为价带中有较多的自由空穴（多数载流子），  
则Fermi能级 $E_F$ 在价带顶（ $E_V$ ）之上、并必将靠近 $E_V$ ；这时，价带

F<sub>V</sub>

中越是靠近 $E_V$ 的能级，就被空穴占据的几率越大；同时，掺入受

F

主的杂质浓度越高，Fermi能级就越靠近价带顶。

总之，凡是 $E_F$ 靠近导带底的半导体必将是电子导电为主的n型半

F

导体，凡是 $E_F$ 靠近价带顶的半导体必将是空穴导电为主的p型半导

F

体。当然，如果 $E_F$ 处于禁带中央，即两种载流子分别占据导带能级

F

和价带能级的几率相等，则两种载流子的数量也就差不多相等，那么

这就必然是本征半导体，这时的Fermi能级特称为本征Fermi能级（用

$E_i$ 表示，与禁带中央线 $E_i$ 一致）。

F<sub>i</sub>

由于Fermi-Dirac分布函数是载流子体系处于热平衡状态下的  
一种统计分布规律。因此，也只有在（热）平衡情况下才可采用此分  
布函数，并且也只有在这时Fermi能级才有意义。实际上，Fermi能  
级本来就是热平衡电子系统的一个热力学函数——化学势。由于在热  
平衡状态下整个系统具有统一的化学势，因此整个电子系统、即使是  
复杂的混合体系，在热平衡时也必将具有统一的一条Fermi能级。

（3）Fermi能级与温度和掺杂的关系：



Si和GaAs半导体的Fermi能级与掺杂浓度的关系见图1 。

对于n型半导体，因为掺入的施主越多，导带电子的浓度就越大，相应地少数载流子——空穴的浓度就越小，则Fermi能级也就越靠近导带底。对于p型半导体亦然，掺杂浓度越高，Fermi能级就越靠近价带顶。当掺杂浓度高到一定程度时，甚至Fermi能级还有可能进入到导带或者价带内部。

Si和GaAs半导体的Fermi能级与温度的关系亦见图2 。

因为当温度升高到一定程度时，不管是n型半导体还是p型半导体，它们都将转变成为（高温）本征半导体。从而，半导体中Fermi能级也将是随着温度的升高而逐渐趋近于禁带中央。即随着温度的升高，n型半导体的E将降低，p型半导体的E将上升。

FF

此外，在图1和图2中也示出了半导体的禁带宽度（ $E_g = E_c - E_v$ ）

gCV

随着温度的变化状况。Si和GaAs等半导体的禁带宽度具有负的温度系数。

我心中你最重-手指工伤鉴定标准

# 进清华 入北大

与主席总理称兄道弟 同大家巨匠论道谈经

更多 在线阅览 请访问 [https://www.wtabcd.cn/zhishi/list/91\\_0.html](https://www.wtabcd.cn/zhishi/list/91_0.html)

文章生成doc功能，由[范文网](#)开发