

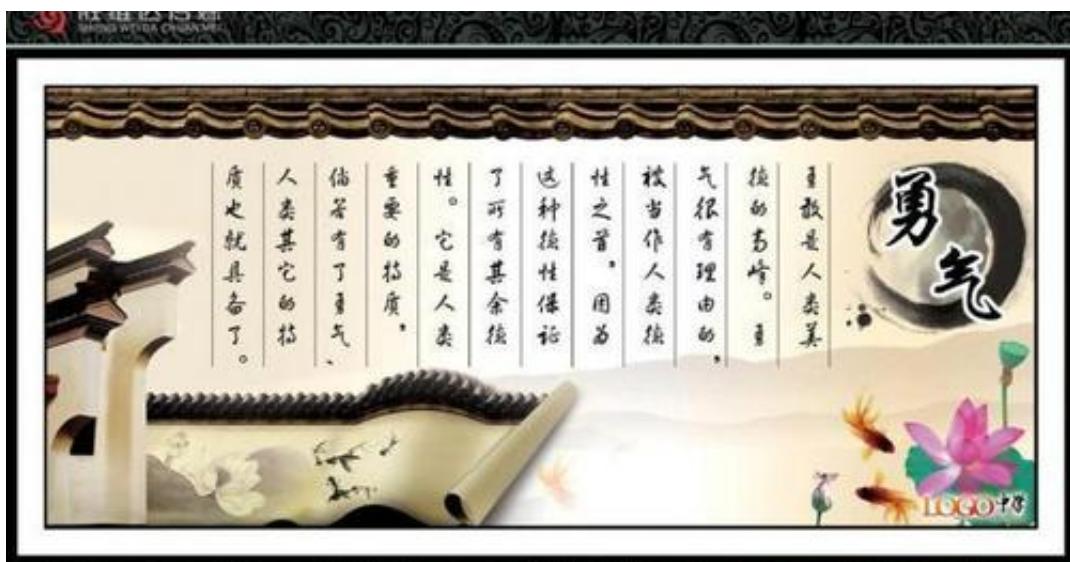
# 费米能级总结

作者：有故事的人 来源：范文网 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" ]" K: a1 z  
- o j\* d" L7 B% Q e- ~# I4 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 | I9 n\* o) M

2 z5 W' C% w% ]' 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\$ I/ I+ `

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EF。

费米能级表征电子的填充情况 费米能级以上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。

你那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）是一个非常重要的物理概念，它在半导体电子

F

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EF，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 $1.5 \sim 15\text{eV}$ 。

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 $E \geq E_F$ 时， $f(E) \geq f(E_F)$ ，即比 $E_F$ 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以上的能级基本上是空着的（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），那么就应当是相当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在价带顶（E）之上、并必将靠近E；这时，价带

FVV

中越是靠近E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靠近价带顶的半导体必将是空穴导电为主的p型半

F

体。当然，如果E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表示，与禁带中央线E一致）。

Fii

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（ $E=E_g - E$ ）

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](http://www.wtabcd.cn/fanwen/)开发