

硅的光电导光谱分布

朱 琮 瑞

(物理系)

提 要

实验得到了不同情况下n型硅的光电导光谱分布曲线,在一般情况下曲线出现了两个峰的形状,而且短波方面的峰随着表面处理方法的不同和处理后放置时间的长短有激烈的变化。讨论了从光电导光谱分布曲线求Si的间接光学跃迁阈值能量和直接光学跃迁禁带宽度的可能性。

一、引 言

一般半导体的光电导光谱分布曲线,大多数作者所得的结果都是在半导体本征吸收带的长波限附近有一峰值,从峰向长波方面迅速下降,向短波方面也有一定程度的下降。光电导在长波方面的下降,显然是由于吸收系数下降,使半导体所吸收的光量子数减少所致。而在短波方面,吸收系数很高,入射的光量子几乎全部为半导体所吸收,所以光电导的下降只能是由于光生载流子的量子产额、迁移率和寿命的改变。De Vore^[1]及汤定元^[2,3]等人认为光电导在短波方面的下降主要是由于寿命的改变,而寿命的改变是受到半导体表面状态的影响。他们并且把表面状态的影响归结为主要是表面复合的作用。他们假定载流子在体内有恒定的体寿命,在表面处以一定的表面复合速度复合,用半导体的光吸收系数作为参变量,去解载流子的连续方程,求出载流子的空间分布,最后得到光电导随吸收系数变化的表达式。他们用这种理论相当好地解释了上述的有一个峰的部分实验曲线。汤定元^[3]还从他对Ge的工作中得到:在半导体的光电导光谱分布曲线上,峰值的短波方面陡然上升的波长是对应于半导体的本征吸收限,由此可以求出半导体的直接光学跃迁禁带宽度,而峰的长波方面外推至零的波长是对应于半导体的间接光学跃迁阈值能量。

关于硅的光电导光谱分布,大多数作者所得的结果也是如上述形状的曲线。Benney等[4]所得的结果还与De Vore的理论相当符合。只是在Петрусевиц[5]的文章中曾提到过,在硅中有时也会在短波区出现一个超过长波基本峰的第二个峰,遗憾的是,他没有把曲线提供出来,也没有对此作较详细的阐述。

本文对一些n型硅样品进行了观察,研究不同的表面处理对它的光电导光谱分布的影响,并考虑从光电导光谱分布曲线求得半导体的某些有关的物理参量的实际可能性。

二、实验方法

测量的装置如图1所示。我们采用的是一般的交变脉冲光的方法测光电导。图中,从白炽灯光源S射出的光经透镜L聚焦到单色仪MC(Zeiss)中,被齿轮转盘D切断成交变脉冲的光束,经过单色仪以后垂直照射在样品r的一个面上。由光照所引起的电导变化在负载R上产生一交变电压 ΔV ,此电压经电容C和输入变压器输入测量放大器A(作选频放大器用)中放大,放大后的信号就直接用放大器所附设的电子管伏特计读数。在样品内保持有约0.5伏特/厘米的恒定电场。

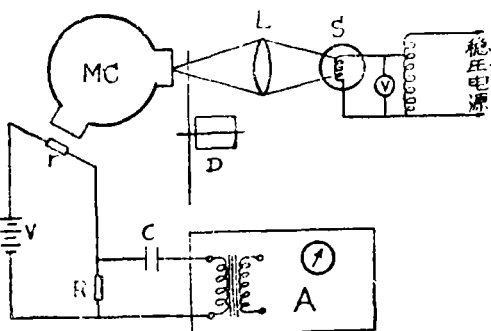


图1 实验装置图

光源本来应该用直流供电,但实验表明,在实验的误差范围内,用经稳压后的市电供电亦能满足要求。实验中还采取了必要的措施来消除电极效应和光生伏特效应的影

响。

光源的辐射能谱分布是用热电堆测量的。

样品是用6—8欧姆·厘米的n型硅单晶切成条状,经研磨后的大小约为 $1 \times 3 \times 5$ 毫米。样品经研磨、腐蚀后,把两个端面磨粗,镀镍作欧姆接触。把样品装在透明塑料小盒子里,用铜薄和软铜片压紧镍层作为引出电极。

三、实验结果

图2是在六个不同波长时光电导与光强的关系,光强和光电导都是取相对单位。从图可见,在实验的波长和光强范围内,光电导和光强的关系都是线性的。因

此, 我們可以用測得的交变电压 $4V$ 除以光源的能譜來求得单位光照时的光电导, 不必把每个波长的入射光都变为相同的能量或光子数。

图 3 是对一个样品 (7 号) 所做的几条光电导光谱分布曲线。曲线 1 是只用 600 号金剛砂研磨, 然后用蒸餾水冲洗而不經過腐蝕就进行測量得到的。曲线 2, 3, 4 都是研磨后再用 10% 的 KOH 溶液腐蝕所得的結果, 但腐蝕的时间各不相同, 分别是 3 分钟, 5 分钟和 13 分钟。曲线 5 是研磨后用 $\text{HF} + \text{HNO}_3$ (1:10) 溶液腐蝕 20—25 分钟, 再在 HF 中腐蝕 5 分钟所得的結果。在进行測量的許多样品中, 也都得到了与此形状相似的一套曲线。

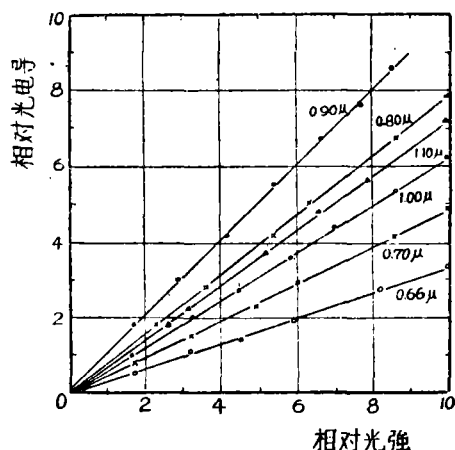


图 2 硅的光电导与光强的关系

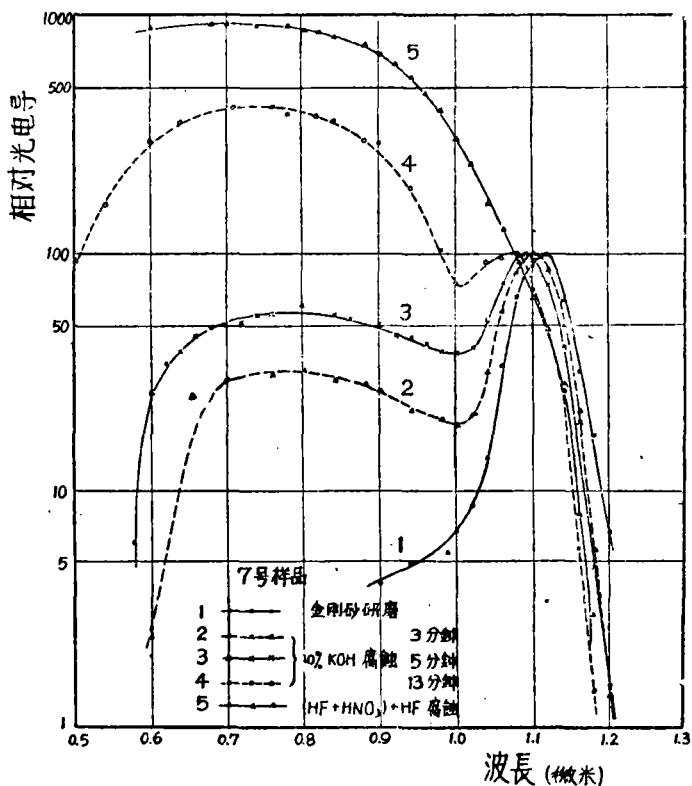


图 3 硅的光电导光谱分布曲线 (一)

图4上曲线1是4号样品經研磨后,用 $\text{HF} + \text{HNO}_3$ (1:10)溶液腐蝕20—25分鐘,再用 HF 腐蝕5分鐘,处理后就进行测量的結果。而曲线2則是同一个4号样品在进行上述测量后在大气中放置了几天之后再测量得的结果。曲线3,4是另一个样品(6号)經与4号同样的处理以后测得的结果。但曲线3是处理后不久测得的,而曲线4則是在大气中放置了两个多月以后再测量得到的。

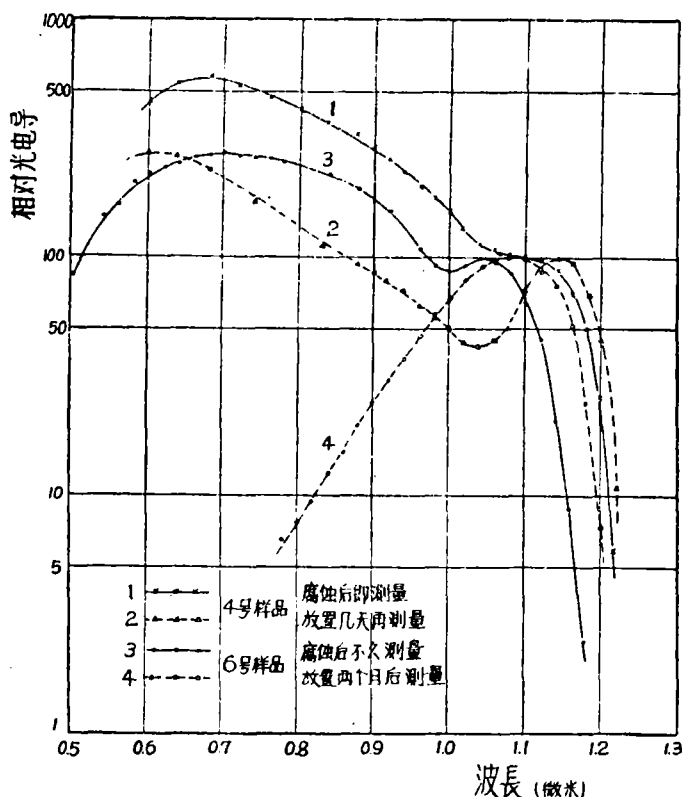


图4 硅的光电光谱分布曲线(二)

四、討 論

1.从图3和图4可看到,在我們的实验中,硅的光电导光谱分布曲线有三种情况,即只有长波方面的峰(約位于1.1微米附近),只有短波方面的峰(約位于0.7—0.8微米之間)和两个峰都有的情况。在一般的腐蝕情况下,是出现两个峰。长波方面的峰随表面处理情况的变化很小,只是在表面趋于光滑的情况下,峰的位置逐渐向短波方面略作移动。而光谱分布曲线的短波部分却强烈地依赖于表面处理的情况。在表面粗糙和沾污的情况下(只經金剛砂研磨和腐蝕后久置的情况。图3曲线1和图4曲线4),短波峰消失了,只有长波峰。而随着腐蝕良好、表面光滑,短波方面的峰逐渐升高(图3曲线2、3、4),最后甚至掩盖了长波峰(图3曲线

5)。从我们的实验看来,光电导的光谱分布曲线出现两个峰的情况,对硅来说可能是比较普遍的现象,而只有一个峰的光谱分布曲线只是两个峰的曲线的特殊情况。

2. 光谱分布曲线的长波部分与大多数其他作者所得的结果[4,5,6,7]相似。尤其是在只经研磨的样品和腐蚀后久置的样品中所得的整条曲线更是与他们的结果相接近。光电导在长波方面的下降显然是由于样品所吸收的光子数减少所致。在短波方面,由于吸收系数的增大,光生载流子的产生主要地趋于表面层,受到表面的影响增大。由于表面复合的影响,光电导向短波方面有一定的下降。但是为什么又会在短波方面出现第二峰,由于前人没有得到这样的结果,没有作过什么论述,又限于我们的实验资料还十分不足,所以不能作出较肯定的看法。我们初步推测,在表面层除了存在表面复合使光生载流子的有效寿命缩短的效应外,可能还存在着另外的机构,产生使光生载流子在表面层内的有效寿命增长的效应。因为,根据一般的看法,光生载流子的迁移率随入射光波长没有显著的变化,而硅中的量子产额,根据Вавилов[8]他们的结果,当光子能量在 1—3.25 eV 的范围内时都是等于 1 的,所以造成光电导的变化主要地只能是寿命的改变。正是由于另外存在的一种机构和表面复合这两种影响载流子寿命的因素的互相消长,所以形成了曲线的极小值和第二峰。另外存在的这种机构对载流子寿命的影响还应该与表面处理情况有密切关系。在表面粗糙和沾污的时候,这种机构不存在或影响极微。而这时的表面复合速度又很大,所以短波峰消失了。在表面处理良好,比较光滑的情况下,它对寿命的影响增大,而表面复合的影响减小,所以短波峰逐渐升高。最后,当表面状况很好时,它的影响很大,表面复合可忽略,短波峰就可以大大地超过长波峰,甚至掩盖了长波峰。

3. 光谱分布曲线的短波部分除了随表面处理不同而明显改变外,还随着处理后放置在大气中的时间长短而有变化。在图 4 上,曲线 1 是腐蚀后就测量得到的,主要是只有短波峰,长波峰才刚露头,还看得不明显。经几天后测得的曲线 2,短波峰就下降了一些,而长波峰就较明显地突起来。曲线 3 是腐蚀后不久测得的,它有两个峰,而在大气中放置了两个多月后,在曲线 4 上,短波峰就消失了,只留下长波峰。由此可见,硅的光电导光谱分布随着样品在大气中放置时间的长短是有激烈的变化,这在硅的光电导的实际应用中是应该考虑的。造成这种变化的原因,我们认为这是由于样品放置在大气中,受到灰尘的沾染和氧化作用的影响,使到表面复合速度大大增加,并且损害了增长寿命的机构。随着放置时间的增长,污沾得越厉害,表面复合速度就越大,而增长寿命的效应也越弱,所以短波峰就逐渐下降,最后就消失了。

4. 从图可见,我们所得的曲线的长波限几乎都是在 1.2 微米附近,在我们的实验误差范围内,可以认为是一致的。这个波长的光子能量与硅的间接跃迁禁带宽度 1.08 电子伏特十分接近。我们认为这时的光电导是由吸收一个光子同时吸收一个声子的间接跃迁引起的。汤定元认为光电导谱的长波限是对应于间接光学跃迁的阈值能量,从实验看来,这种求间接跃迁阈能的方法对硅也是比较可靠的。我们所得到的

大批硅的光电导光谱分布曲线的长波限都很集中,与间接跃迁的禁带宽度相接近,而且曲线的长波部分随表面处理情况的不同而引起的改变很小。只要实验仪器的灵敏度足够和单色仪的分辨率足够高,是可以求出较准确的间接光学跃迁阈能的。但是湯定元关于从光电导谱峰的短波方面陡然上升的波长来求直接光学跃迁禁带宽度的做法,可能对硅来说是不很适用的。一方面从湯定元的理论本身来说,由于硅的吸收系数谱上没有很明显的陡然下降的吸收限,所以在光电导谱上也不能形成陡然上升的一段曲线,不能确定那一波长才算是陡然上升的地方。另一方面,从我们的实验来看,硅的光电导光谱分布曲线,尤其是它的短波部分,随表面处理情况不同的变化十分激烈,不同的表面状况下,曲线的形状可以完全不同。所以想在一般的情况下,从硅的光电导光谱分布曲线用这种方法求得硅的直接光学跃迁的禁带宽度是不可能的。与硅相同,要从硅的光电导光谱分布曲线求其他的有关的物理参量,也必须考虑获得这个分布曲线的具体实验条件,包括表面处理的条件。

五. 簡 要 結 論

在一般表面处理的情况下,硅的光电导光谱分布曲线出现两个峰值。短波方面的峰随表面处理方法的不同和处理后放置时间的长短有明显的变化,在表面粗糙和沾污的情况下,短波峰消失了。而在表面趋于光滑时,短波峰逐渐升高,甚至大大超过长波峰而掩盖了长波峰。实验在不同情况下所得到的光谱分布曲线的长波限都很集中,且接近于硅的间接跃迁禁带宽度。这说明从光电导谱的长波限求硅的间接光学跃迁阈值能量的方法是比較可靠的。但由于光谱分布曲线的短波部分随处理情况的变化很激烈,而且短波方面也没有明显的陡然上升的波长,所以从光谱分布曲线峰的短波方面陡然上升的波长求直接光学跃迁禁带宽度的方法对硅来说,一般是不适用的。

本文的实验是与張沛雄、李志成两位同志合作,在廖崢嶸老师的指导下进行的,得到结果后还共同进行了讨论。作者特此向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] De Vore, Phys. Rev. 102, (1956), 87,
- [2] 湯定元、高国裕, 物理学报, 13 (1957), 421;
- [3] 湯定元, 物理学报, 13(1957), 428;
- [4] Benney, A.H. and Morter, F.D., Proc. Phys. Soc., 72 (1958), 1007, 或《半导体材料硅》288;
- [5] Петрусьевич, В. А., Ф. Т. Т. Том I, вып.11, 1695, (1959);
- [6] Burstein, E., Oberly, J.J., and Davisson, J. W., Phys. Rev. 89(1953), 331;
- [7] Петрусьевич, В. А., и Лобанова, Т. Н., Ф. Т. Т., Том III, (1961), Вых. 11, 3546;
- [8] Вавилов, В. С., и Брицкий, К. И., Ж. Э. Т. Ф., 34(1958), №5, 1354.