第5卷 第12期
1985年12月

光 学 学 报
ACTA OPTICA SINICA

Vol. 5, No. 12
December, 1985

辉光放电无定形硅氢薄膜光隙计算的一个简化分析法

朱 维 嘉
(中国科学院上海硅酸盐研究所)

提 要

在计入相干效应和考虑衬底影响的基础上，提出一种非破坏性的简易分析法。利用此法，由非晶硅试样的光谱透射曲线可确定膜层的厚度、折射率及吸收系数。作为例子，我们计算了 a-Si:H 及 a-SiC:H 薄膜的光隙。

一、引 言

辉光放电非晶态硅-氢(GD-a-Si:H)薄膜，是一种极有希望的廉价太阳能电池材料。近年来，它受到人们广泛的重视并得到较深入的研究。随着非晶硅材料科学的进展和电池器件设计的改进，非晶硅太阳电池的效率获得了稳步的提高[1]。

光隙，这是非晶硅研究中的一个重要概念。它既是非晶硅(a-Si)材料光学性能的主要表征，也是非晶硅电池设计中的一个关键参量。因此，如何准确地测定 a-Si:H 薄膜的光隙，一直是非晶硅材料领域中受人关注的问题之一。

按照光隙与吸收系数之间的关系[2]：

$$(\alpha\hbar\omega)^{1/2}=B(\hbar\omega-E_g^{光}) \tag{1}$$

可知，为了求得 a-Si 薄膜的光隙 $E_g^{光}$，必须测定薄膜的光吸收系数 $\alpha(\omega)$。就光隙计算而言，主要感兴趣的吸收范围是 $\alpha>10^4\,\mathrm{cm}^{-1}$，亦即在吸收边限以上的高吸收 A 区(参见图1)，或称方次律吸收区。

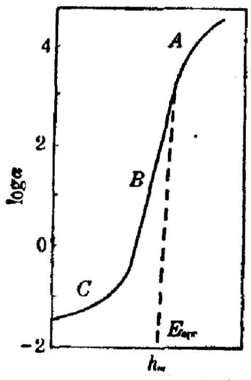

图1 非晶态半导体中光吸收谱示意图

Fig. 1 Schematic of the absorption spectrum of amorphous semiconductors

求算 a-Si 薄膜的吸收系数时，常采用接近正入射的透射测量，再根据 Connel 等[3]导出的公式计算。但这一公式未计入光线透过薄膜时的相干效应，亦未考虑衬底的影响。本文从薄膜光学理论出发，在计及衬底吸收的基础上，推演出试样(包括 a-Si:H 薄膜与玻璃衬底)透射率与薄膜吸收系数之间的关系。以此为基础，同时给出 a-Si 薄膜的厚度、折射率以及玻璃衬底吸收等的具体算式，由此进而算得光隙。这样，只须通过对一块(a-Si:H 薄膜/玻璃)试样光谱透射曲线的解析，即可得到 a-Si:H 薄膜材料的光吸收系数与光隙。

收稿日期：1985年3月22日；收到修改稿日期：1985年5月20日

二、公式的推演

1. 透射率 T 与吸收系数 α 的关系

薄膜透射率 T 是入射光子能量(或波长)、膜层及衬底光学性质的复杂函数，解决这个问题的基础是 Maxwell 方程。下面，我们依据薄膜光学的若干结果，导出薄膜的透射率公式。所有推导均假定光在正入射条件下进行。

试样的光学结构如图 2 所示。图中 n_0——入射及出射介质之折射率(一般为空气)；$\tilde{n}_1$——a-Si 吸收膜的复折射率，$\tilde{n}_1=n_1-ik_1$；n_2——透明衬底之折射率；d——a-Si 薄膜之厚度；D——透明玻璃衬底之厚度。

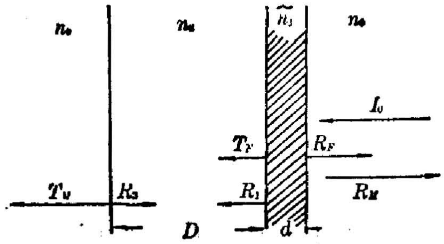

图 2　相应于方程(10)的试样光学结构

Fig. 2　Optical configuration corresponding to Equation (10)

由薄膜光学[4]知，光通过厚为 d 的 a-Si 膜，并考虑在膜中的多次反射后，其透射合振幅为

$$T_1=\frac{\tilde{t}_1\cdot\tilde{t}_2\exp(-i\tilde{\delta})}{1+\tilde{r}_1\cdot\tilde{r}_2\exp(-2i\tilde{\delta})}, \tag{2}$$

式中 $\tilde{r}$、$\tilde{t}$ 分别为界面的复菲涅尔反射、透射系数；足标 1 表示空气-薄膜界面，足标 2 表示薄膜-玻璃界面；$2\tilde{\delta}$ 为透过膜层的相邻二相干光束的复位相差，$2\tilde{\delta}=\frac{4\pi}{\lambda}(n_1-ik_1)d$，$n_1$ 和 k_1 分别为膜层的实数折射率及消光系数。薄膜透射率则为：

$$\begin{aligned}T_F&=\frac{n_2}{n_0}T_1\cdot T_1^*\\&=\frac{n_2}{n_0}\cdot\frac{|\tilde{t}_1|^2\cdot|\tilde{t}_2|^2\cdot\exp(-\alpha_1 d)}{1+(\tilde{r}_1^*\tilde{r}_2^*e^{2i\tilde{\delta}}+\tilde{r}_1\tilde{r}_2e^{-2i\tilde{\delta}})+|\tilde{r}_1|^2\cdot|\tilde{r}_2|^2\cdot\exp(-2\alpha_1 d)},\end{aligned} \tag{3}$$

式中“*”号表示复数共轭，$\alpha_1=\frac{4\pi}{\lambda}k_1$ 为膜层的吸收系数。(3)式右端诸项分别计算如下(参见图 2)：

$$\frac{n_2}{n_0}\cdot|\tilde{t}_1|^2\cdot|\tilde{t}_2|^2=\frac{16n_0n_2(n_1^2+k_1^2)}{[(n_0+n_1)^2+k_1^2]\cdot[(n_1+n_2)^2+k_1^2]}, \tag{4}$$

以及
$$\begin{aligned}\tilde{r}_1\tilde{r}_2\exp(-2i\tilde{\delta})=&\sqrt{\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}}\cdot\sqrt{\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}}\\&\cdot\exp(-\alpha_1 d)\cdot\exp\left[i\left(\arg\tilde{r}_1+\arg\tilde{r}_2-\frac{4\pi}{\lambda}n_1 d\right)\right],\end{aligned}$$

则(3)式右端圆括弧内之和为：

$$\begin{aligned}&2\sqrt{\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}}\cdot\sqrt{\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}}\\&\cdot\exp(-\alpha_1 d)\cdot\cos\left(\frac{4\pi n_1 d}{\lambda}-\arg\tilde{r}_1-\arg\tilde{r}_2\right)。\end{aligned} \tag{5}$$

而

$$|\tilde{r}_1|^2|\tilde{r}_2|^2=\left[\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}\right]\cdot\left[\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}\right]。\tag{6}$$

将(4)、(5)、(6)三式代入(3)式右端,得到:

$$\begin{aligned}T_F=&\left\{\frac{16\,n_0n_2(n_1^2+k_1^2)\cdot\exp(-\alpha_1 d)}{[(n_0+n_1)^2+k_1^2]\cdot[(n_1+n_2)^2+k_1^2]}\right\}\Big/\\&\left\{1+2\cdot\sqrt{\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}}\cdot\sqrt{\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}}\right.\\&\times\exp(-\alpha_1 d)\cdot\cos\left(\frac{4\pi n_1 d}{\lambda}-\arg\tilde{r}_1-\arg\tilde{r}_2\right)\\&\left.+\left[\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}\right]\left[\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}\right]\cdot\exp(-2\alpha_1 d)\right\}。\end{aligned}\tag{7}$$

但由图2可见,实际测得的是整个试样的透射率T_M,而不是膜层的透射率T_F,因此,必须考虑衬底光学特性的影响。我们按照文献[5]对此类问题的处理方法,令总透射率为

$$T_M=T_S\cdot T_F。\tag{8}$$

引入T_S是为了考虑光束在衬底内的附加损失,其值经计算为(参见图2):

$$T_S=(1-R_S)\exp(-\alpha_2 D)/[1-R_SR_1'\exp(-2\alpha_2 D)]$$

式中$\alpha_2=\frac{4\pi}{\lambda}k_2$为衬底的吸收系数;因消光系数与折射率相比均很小,所有k^2项均可略去,上式简化为:

$$T_S=\frac{\left[1-\left(\frac{n_2-n_0}{n_2+n_0}\right)^2\right]\cdot\exp(-\alpha_2 D)}{1-\left(\frac{n_2-n_0}{n_2+n_0}\right)^2\cdot\left(\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1}\right)^2\cdot\exp(-2\alpha_2 D)}。\tag{9}$$

于是,我们由(8)式得到膜与衬底组合之透射率:

$$\begin{aligned}T_M=&\left\{T_S\cdot\frac{16n_0n_2(n_1^2+k_1^2)\exp(-\alpha_1 d)}{[(n_0+n_1)^2+k_1^2][(n_1+n_2)^2+k_1^2]}\right\}\Big/\\&\left\{1+2\sqrt{\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}}\cdot\sqrt{\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}}\right.\\&\times\exp(-\alpha_1 d)\cdot\cos\left(\frac{4\pi n_1 d}{\lambda}-\arg\tilde{r}_1-\arg\tilde{r}_2\right)\\&\left.+\left[\frac{(n_0-n_1)^2+k_1^2}{(n_0+n_1)^2+k_1^2}\right]\left[\frac{(n_1-n_2)^2+k_1^2}{(n_1+n_2)^2+k_1^2}\right]\cdot\exp(-2\alpha_1 d)\right\},\end{aligned}\tag{10}$$

式中T_S由(9)式决定。

2. T_S之估算

若在(7)式中令$n_2=n_0=$空气折射率$=1$, $n_1=1.5$(玻璃折射率),且不考虑干涉效应(即略去含有余弦的波动项),并注意到所有k_1^2相对于前项皆很小,可略去,则可求得衬底玻璃透射率为

$$T_g=\frac{(16\times1.5^2/2.5^4)\cdot\exp(-\alpha_{玻}d_{玻})}{1+0.2^4\cdot\exp(-2\alpha_{玻}d_{玻})}。\tag{7a}$$

我们采用的衬底为1mm厚的95料玻璃,实测其可见光平均透射率为90%,代入上式求得

$$\exp(-\alpha_{玻}d_{玻})=0.98, \tag{7b}$$

若按通常采用的平板玻璃透射率公式[6]

$$T=\left[1-\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}\right]^2\exp(-\alpha_{玻}d_{玻})$$

计算，结果是完全一致的。

将(7b)代入(9)式，并令 $n_1=3.5$, $n_2=1.5$, $n_0=1$, 得

$$T_S=0.95。$$

为使表达式一般化，将(10)式中 n_1 写成 n, k_1 写成 k, α_1 写成 α, 并令 $n_0=1$(空气), $n_2=1.5$(玻璃)，再将 $T_S=0.95$ 代入，最后即得总透射率为

$$
\begin{aligned}
T_M=&\left\{\frac{22.8\left(n^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right)\cdot\exp(-\alpha d)}{\left[(1+n)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right]\left[(1.5+n)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right]}\right\}\Bigg/\\
&\left\{1+2\sqrt{\frac{(n-1)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}{(n+1)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}}\cdot\sqrt{\frac{(n-1.5)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}{(n+1.5)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}}\cdot\exp(-\alpha d)\right.\\
&\times\cos\left[\frac{4\pi nd}{\lambda}-\mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{2\alpha^2\lambda^2/16\pi^2}{1-n^2-\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}\right)-\mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{-3\alpha^2\lambda^2/16\pi^2}{n^2-2.25+\dfrac{\alpha^2\pi^2}{16\pi^2}}\right)\right]\\
&\left.+\left[\frac{(n-1)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}{(n+1)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}\right]\cdot\left[\frac{(n-1.5)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}{(n+1.5)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}}\right]\cdot\exp(-2\alpha d)\right\}。
\end{aligned}
\tag{11}
$$

这个式子与国外结果[3,7]略有不同，见下式:

$$T=\frac{(1-R_1)(1-R_2)(1-R_3)\exp(-\alpha d)}{(1-R_2R_3)\{1-[R_1R_2+R_1R_3(1-R_2)^2]\exp(-2\alpha d)\}}。\tag{12}$$

(12)式与(11)式相比，显然未考虑衬底吸收的影响，系数显得有差异；此外，在式(11)中出现了含有余弦的波动项。可以认为，该项反映了在近红外低吸收区存在干涉效应。如众所周知，实测的透射曲线在近红外区确实表现出这种干涉现象，见图3。因此，(11)式较(12)式更为合理。

计算光隙时，主要考虑高吸收区，见图4。这时，干涉效应可忽略，即(11)式分母中余弦项不予考虑；又，在高吸收区，一般我们有 $\exp(-2\alpha d)\ll 1^*$，则(11)式分母中第三项相对于"1"可略去，故有:

$$T_M=\frac{22.8\left(n^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right)\cdot\exp(-\alpha d)}{\left[(1+n)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right]\cdot\left[(1.5+n)^2+\dfrac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}\right]}。\tag{11a}$$

* α 的数值一般不小于 $5\times10^4\,\mathrm{cm}^{-1}$, d 的数量级为 $10^{-4}\,\mathrm{cm}$, 则 $\exp(-2\alpha d)=\exp(-10)\ll 1$。

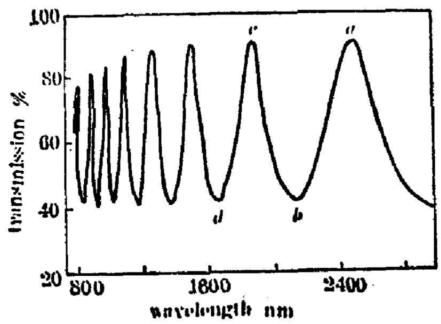

图3 1.1 μm 厚 a-Si:H 膜(玻璃基底)的近红外透射率谱

Fig. 3 Transmittance spectrum (800~3000 nm) of a 1.1 μm thich a-Si:H film on glass substrate

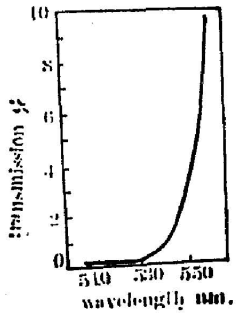

图4 左图中同一试样在波长 510~560 nm 范围内的透射率谱(使用 $OD=3$ 光密度片)

Fig. 4 Transmittance spectrum for the sample in Fig. 3 in the wavelength range 510~560 nm (using a filter with $OD=3$)

若更注意到 $k^2=\frac{\alpha^2\lambda^2}{16\pi^2}$ 与 n^2 等相比很小,则进一步简化为:

$$T_M=\frac{22.8n^2\cdot\exp(-\alpha d)}{(1+n)^2(1.5+n)^2}。\tag{11b}$$

(11a)与(11b)式,即我们据之以求 α 的式子。一般采用(11b)式即已足够。

3. 薄膜折射率的计算

在近红外区,a-Si:H 薄膜的折射率实际基本不变,我们考虑其色散可略;再者在此区膜层的吸收很小,$\exp(-\alpha d)\rightarrow 1$;照例可略去 k^2 项,则(11)式简化为:

$$T=\frac{\dfrac{22.8n^2}{(1+n)^2\cdot(1.5+n)^2}}{1+2\left(\dfrac{n-1}{n+1}\right)\left(\dfrac{n-1.5}{n+1.5}\right)\cos\left(\dfrac{4\pi nd}{\lambda}-\arg\tilde{r}_1-\arg\tilde{r}_2\right)+\left(\dfrac{n-1}{n+1}\right)^2\left(\dfrac{n-1.5}{n+1.5}\right)^2},$$

显然 T 具有最大值 $T_{\max}$ 及最小值 $T_{\min}$,若用 K 表示两者之比的平方根,则由上式易得

$$K=\left(\frac{T_{\max}}{T_{\min}}\right)^{1/2}=\frac{n^2+1.5}{2.5n}$$

或

$$n^2-2.5Kn+1.5=0。\tag{13}$$

以及

$$(T_{\min})^{1/2}=2\sqrt{1.5}n/(n^2+1.5)$$

或

$$n^2-\frac{2.45n}{\sqrt{T_{\min}}}+1.5=0。\tag{14}$$

由实测的透射率曲线近红外区量得 $T_{\max}$ 及 $T_{\min}$,分别代入(13)或(14)式,可算得薄膜折射率 n。例如,在图3中,按 A、B 点算得 $n_1=3.25$;按 C、D 点算得 $n_2=3.23$,故折射率可取为 $n=3.24$。这样算得的 n 自然指的是薄膜在近红外区的折射率。由于我们工作的着眼点在于使测量简易可行和分析快速,因此,以近红外区的折射率 n 代替可见区的折射率来计算

光隙而不考虑色散。我们对由此引入的误差作个简略分析。由(11b)式易得

$$\Delta\alpha=\frac{2}{d}\left[1-\frac{n^2+2.5n}{(n^2+2.5n+2.5)^2}\right]\frac{\Delta n}{n}。$$

计算光隙时，α 的取值应大于 $10^4\,\mathrm{cm}^{-1}$，最好能超过 $5\times10^4\,\mathrm{cm}^{-1}$，厚度 d 的数量级为 $10^{-4}\,\mathrm{cm}$，因此，

$$\left|\frac{\Delta\alpha}{\alpha}\right|\leqslant\frac{2}{5\times10^4\times10^{-4}}\left|\frac{\Delta n}{n}\right|=0.4\left|\frac{\Delta n}{n}\right|。$$

这样，折射率的相对偏差为 20% 时，α 的相对误差不超过 8%，就光隙计算而言，此误差仍是可容许的。当然，随着光子能量的增大，折射率“代用”引起的偏差 $\frac{\Delta n}{n}$ 会增大，然而幸运的是，这时 α 也会增大。

4. 薄膜厚度之确定

在由透射率曲线求算 a-Si:H 薄膜厚度时，存在着一个具体困难，即：一般讲，干涉条纹的级次(即下面式 (15)中的 M 值)并不知道。克服此困难的办法是测量两相邻透射极值处的波长，并应用正入射条件，得

$$2nd=M\lambda_1=(M+1)\lambda_2, \tag{15}$$

M 为某一自然数。而有

$$d=\frac{(\lambda_2^{-1}-\lambda_1^{-1})^{-1}}{2n}=\frac{1}{2n\Delta(\lambda^{-1})}, \tag{16}$$

结合(13)或(14)式，即可算得膜厚 d。例如，仍见图 3。由 A、C 两点算得膜厚为 $1.10\,\mu\mathrm{m}$，由 B、D 两点算得为 $1.18\,\mu\mathrm{m}$，故膜厚可取为 $d=1.14\,\mu\mathrm{m}$。

至此，我们已完成了求算 α 的准备工作，只须依次将由实验曲线所测得的 T_M 和 λ，以及计算得到的 n 和 d 一并代入(11a)或(11b)式中，然后解超越代数方程，便可求得 $\alpha(\lambda)$ 值。

三、测试与结果

光隙测试及计算步骤如下。

首先测量试样的光谱透射率 T_M；由所得透射率曲线的红外区(见图 3)按(13)或(14)式可算得薄膜的折射率 n，由(15)式得出薄膜厚度 d，然后将它们代入(11a)或(11b)，求出膜层在高吸收区(见图 4)之吸收系数 $\alpha(\lambda)$；最后，根据式(1)，作 $\sqrt{\alpha\hbar\omega}\sim\hbar\omega$ 图，应为一直线，外推直线于 $\alpha=0$ 处，横轴截距即为所求光隙 $E_g^{光}$。作为例子，我们举出图 5 中 a-SiC:H 试样(▲者)计算光隙时所须的有关数据如下。

光谱透射率是用 Beckmen 仪器公司制造的 UV 5240 及 UV 5270 型紫外-可见-近红外分光光度计测量的。由(11)式的推演过程可知，测量时须将膜面正对入射光束，且在参考光阑内不应放置衬底玻璃伴样；此外，为使可见光区内短波部分的透射率读数精密起见，沿该区内波长递减的方向，依次使用了进口的 $OD=1\sim3$ 的光密度片。

所研究的样品系采用射频辉光放电法沉积的 a-Si:H 薄膜及 a-SiC:H 薄膜，衬底为 $\phi20\,\mathrm{mm}$、厚 1 mm 的国产 95 料抛光玻璃片，衬底加热温度为 300°C。

表1 a-SiC:H 试样(图5)的有关数据

Table 1 Experimental data for the a-SiC:H sample in Fig. 5

波长 (Å)	透过率 (%)	吸收系数 α (cm^{-1})	光子能量 E (eV)	$\sqrt{\alpha E}$ $(eV/cm)^{1/2}$
4795	0.0800	6.1×10^4	2.57	396
4770	0.0595	6.4×10^4	2.59	407
4745	0.0440	6.6×10^4	2.60	414
4720	0.0322	6.9×10^4	2.62	425
4695	0.0232	7.2×10^4	2.63	435
4670	0.0165	7.6×10^4	2.64	448
4645	0.0117	7.9×10^4	2.66	458
4620	0.0082	8.2×10^4	2.67	468
4595	0.0055	8.6×10^4	2.69	481
4570	0.0039	8.9×10^4	2.70	490
4545	0.0025	9.3×10^4	2.72	503
4520	0.0017	9.7×10^4	2.73	515
4495	0.0007	1.0×10^5	2.75	524
4445	0.0005	1.1×10^5	2.78	553

该膜层之厚度与折射率业已分别算得为: $d=1.1\,\mu m$, $n=2.8$(见图5)。

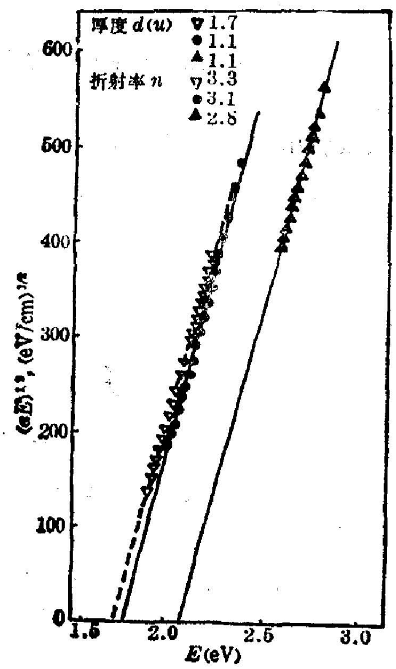

图5 a-Si:H 膜与 a-SiC:H 膜的 $(\alpha E)^{1/2}\sim E$ 对画图

Fig. 5 Dependence of $(\alpha E)^{1/2}$ on photo energy for a-Si:H and a-SiC:H films

图5是有关试样的$\sqrt{\alpha E}\sim E$图。其中"▲"号为 a-SiC:H 试样,"●"号为 a-Si:H 试样,均由本所制备;"▽"号是1983年美国芝加哥大学物理系 H. Fritzsche 教授来我所进行访问研究时所带样品,他们测定的数值是 $E_g^*=1.71\,eV$。我所按本文前述方法测定光隙,所有主要计算均编成计算机程序,对"▽"号样品结果为 $D_g^*=1.73\,eV$,与国外数据基本吻合。

我们制备的 a-Si:H 及 a-SiC:H 样品,经由上法测定,光隙分别为 1.75 eV 及 2.05 eV。由图显见,加入碳原子后使膜的光隙变大,成为宽带隙窗口材料。这原因很可能是由于碳的电负性(2.5)比氢(2.1)及硅(1.8)为大,因此,它的加入使得最紧邻原子 i, i' 的配偶轨道 j 之间的互作用矩阵元[8]

$$V_2=\langle i, j|H|i', j'\rangle,$$

发生改变,增强了键能,导致了能隙展宽。

参加本工作的还有陈惠明、施雪君。美国芝加哥大学 H. Fritzshe 教授审阅了本文原稿并提出宝贵意见,本所程如光副研究员对

本工作给予关心，作者表示衷心感谢。我所苗华兰、章敏权等同志提供有关样品，沈定坤、陈幼新进行了光谱透射率的测量，在此一并表示谢意。

参 考 文 献

[1] Yoshihiro Hamakawa; *Solar Energy Mater*, 1982, **8**, No. 1~3 (Nov), 101.
[2] E. A. Davis, N. F. Mott; *Phil. Mag.*, 1970, **22**, No. 179 (Nov), 903.
[3] G. A. N. Connell *et al.*; *Advances in Physics*, 1973, **22**, No. 5 (Sep), 643.
[4] O. S. Heavans; *«Optical Properties of Thin Solids Films»*, (Butterworths, London, 1955).
[5] Hans W. Verleur; *J. O. S. A.*, 1968, **58**, No. 10 (Oct), 1356.
[6] 西北轻工业学院主编；«玻璃工艺学»，(轻工业出版社，北京，1982)，149.
[7] S. Nitta *et al.*; *Solar Energy Mater.*, 1982, **8**, No. 1~3 (Nov), 249.
[8] Zhu Weijia; *J. Non-Crysta. Solids*, 1984, **65**, No. 1 (Jun), 183.

A simple analytical method for determining the optical gap of amorphous silicon films

ZHU WEIJIA
(*Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica*)

(Received 22 March 1985; revised 30 April 1985)

Abstract

For material research and device design of amorphous silicon solar cells, it is required to determine the refractive indices, thickness and absorption coefficients of *a*-Si films. Taking interferences and substracte effects into account, we propose a simple analytical method that allows us to determine the thickness, refractive index and absorption coefficient of a film from the usual transmittance spectrum at normal incidence. As an example, we calculated the optical gap of *a*-Si:H and *a*-SiC:H films.