

中华人民共和国国家标准

GB/T 14847—93

重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层厚度的 红外反射测量方法

Test method for thickness of lightly doped silicon
epitaxial layers on heavily doped silicon substrates
by infrared reflectance



1993-12-24 发布

1994-09-01 实施

国家技术监督局 发布

(京)新登字 023 号

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层厚度的
红外反射测量方法

GB/T 14847—93

*

中国标准出版社出版
(北京复外三里河)
中国标准出版社北京印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1/2 字数 12 千字
1994 年 7 月第一版 1994 年 7 月第一次印刷
印数 1—1 500

*

书号: 155066 • 1-10796 定价 1.50 元

*

标 目 244—27



中华人民共和国国家标准

重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层 厚度的红外反射测量方法

GB/T 14847—93

Test method for thickness of lightly doped
silicon epitaxial layers on heavily doped
silicon substrates by infrared reflectance

1 主题内容与适用范围

本标准规定了重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层厚度的红外反射测量方法。

本标准适用于衬底室温电阻率小于 $0.02 \Omega \cdot \text{cm}$ 和外延层室温电阻率大于 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 且外延层厚度大于 $2 \mu\text{m}$ 的硅外延层厚度的测量。

2 引用标准

GB 6379 测试方法的精密度 通过实验室间试验确定标准测试方法的重复性和再现性

3 方法原理

衬底和外延层光学常数的差异导致试样反射光谱出现连续极大极小光学干涉现象,根据极值波长、外延层与衬底光学常数和入射角计算外延层厚度。

4 测量仪器

4.1 红外光谱仪

4.1.1 付里叶变换红外光谱仪或双光束红外分光光度计。

4.1.2 波长范围 $2 \sim 50 \mu\text{m}$, 本法常用波长范围为 $6 \sim 25 \mu\text{m}$ 。

4.1.3 波长重复性不大于 $0.05 \mu\text{m}$ 。

4.1.4 波长精度为 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 。

4.2 仪器附件

4.2.1 和仪器相匹配的反射附件,入射角不大于 30° 。

4.2.2 掩模由非反射材料制成,透光孔径不大于 8 mm 。

5 试样要求

5.1 衬底和外延层导电类型及衬底电阻率应是已知的。

5.2 试样应具有良好的光学表面以保证高的反射率,不应有大面积的钝化层。

5.3 正常工艺沉积的试样无需特殊处理。

6 测量程序

6.1 光谱仪校准

6.1.1 用厚度为 300~500 μm 的聚苯乙烯膜做标样,以标样的 1601.6 cm^{-1} 或 648.9 cm^{-1} 峰为测量参考峰,按 GB 6379 所确定的仪器波长重复性和精度应分别满足 4.1.3 条和 4.1.4 条的要求。

6.1.2 将反射附件置于光路中,测量 100% 线,其峰谷值应小于 8%。

6.2 测量条件选择

6.2.1 对光栅式红外分光光度计,参照下列步骤选取最佳扫描速度。

6.2.1.1 选择一外延层厚度接近 10 μm 的试样,用仪器最慢扫描速度记录大于 10 μm 的极小值波长。

6.2.1.2 分步增加扫描速度并记录每次所对应的极小值波长。

6.2.1.3 最后选用的扫描速度和最慢扫描速度所记录的极值波长差应在 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 范围之内。

6.2.2 对付里叶变换红外光谱仪所使用的分辨率应不低于 4 cm^{-1} 。

6.3 测量

6.3.1 将试样置于反射附件掩模孔上,并使测量位置对准光束。

6.3.2 获得一类似图 1 的反射光谱。若峰谷振幅与噪音振幅比小于 5,则不能计算外延层厚度。

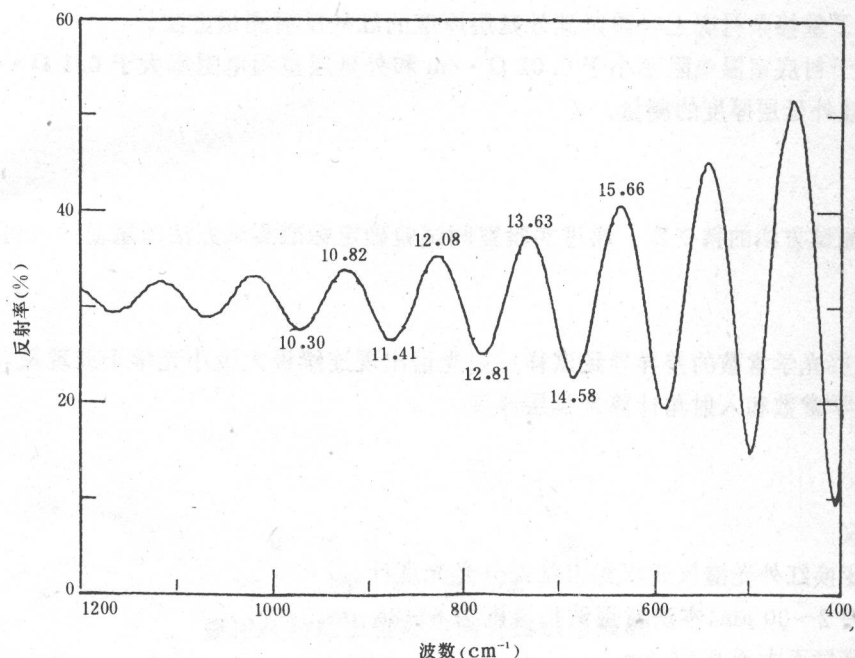


图 1 典型 $n/n^+-\text{Si}$ 试样的红外反射光谱

6.3.3 在极大值下面或极小值上面满刻度 3% 处作水平线和反射光谱交于两点,两点对应波长的平均值即为极值波长。

7 测量结果计算

7.1 方法 1

7.1.1 由公式(1)确定各个极大值和极小值的级数:

$$P_2 = \frac{m\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} + 0.5 - \frac{\lambda_1\phi_{21}/2\pi - \lambda_2\phi_{22}/2\pi}{\lambda_1 - \lambda_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中: P_2 —— λ_2 处极值所对应的级数;

λ_2 ——极值波长 ($\lambda_1 > \lambda_2$), μm ;

m —— λ_1 和 λ_2 的级数差；

ϕ_{21} 、 ϕ_{22} ——分别为 λ_1 、 λ_2 所对应的相移(见表 1 和表 2)。

7.1.1.1 若 λ_2 为极大值,则 P_2 计算值取整数,否则取半整数,其他极值所对应的级数可按图 1 所示波长增加级数下降的原则确定。

表 1 n/n^+ -Si 相移($\phi_{2n}/2\pi$)

波长 μm	衬底电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)															
	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	
2	0.033	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026	0.025	0.024	0.023	0.022	0.020	0.019	0.017	0.016	0.016	
4	0.061	0.050	0.047	0.046	0.045	0.043	0.041	0.039	0.038	0.036	0.034	0.031	0.029	0.027	0.025	
6	0.105	0.072	0.064	0.062	0.060	0.057	0.055	0.052	0.050	0.048	0.044	0.042	0.039	0.036	0.033	
8	0.182	0.099	0.083	0.078	0.075	0.071	0.067	0.064	0.061	0.059	0.054	0.051	0.047	0.043	0.040	
10	0.247	0.137	0.105	0.095	0.090	0.084	0.079	0.075	0.071	0.069	0.063	0.059	0.055	0.051	0.047	
12	0.289	0.183	0.132	0.115	0.106	0.098	0.091	0.084	0.081	0.078	0.072	0.067	0.062	0.057	0.053	
14	0.318	0.225	0.164	0.137	0.124	0.113	0.104	0.097	0.092	0.087	0.080	0.074	0.069	0.064	0.059	
16	0.339	0.258	0.197	0.163	0.144	0.129	0.117	0.109	0.102	0.097	0.088	0.082	0.075	0.070	0.065	
18	0.335	0.283	0.226	0.189	0.166	0.146	0.131	0.121	0.113	0.107	0.096	0.089	0.082	0.076	0.070	
20	0.368	0.303	0.251	0.214	0.188	0.165	0.147	0.134	0.124	0.117	0.105	0.096	0.088	0.081	0.075	
22	0.378	0.319	0.272	0.236	0.209	0.183	0.163	0.148	0.136	0.127	0.113	0.104	0.095	0.087	0.081	
24	0.387	0.333	0.289	0.255	0.229	0.202	0.179	0.162	0.148	0.138	0.122	0.111	0.101	0.093	0.086	
26	0.397	0.344	0.303	0.272	0.246	0.219	0.196	0.177	0.161	0.150	0.131	0.119	0.108	0.099	0.091	
28	0.401	0.353	0.316	0.286	0.261	0.235	0.211	0.191	0.175	0.161	0.141	0.127	0.115	0.104	0.096	
30	0.406	0.362	0.326	0.298	0.275	0.250	0.226	0.206	0.188	0.173	0.150	0.135	0.121	0.110	0.101	
32	0.411	0.369	0.336	0.309	0.287	0.263	0.240	0.219	0.201	0.185	0.160	0.143	0.128	0.116	0.106	
34	0.415	0.375	0.344	0.319	0.297	0.274	0.252	0.232	0.213	0.197	0.170	0.151	0.135	0.122	0.112	
36	0.419	0.381	0.351	0.327	0.307	0.285	0.263	0.243	0.225	0.209	0.180	0.160	0.143	0.129	0.117	
38	0.422	0.386	0.357	0.335	0.315	0.294	0.273	0.254	0.236	0.220	0.191	0.167	0.150	0.135	0.123	
40	0.425	0.391	0.363	0.341	0.323	0.302	0.285	0.264	0.246	0.230	0.200	0.178	0.158	0.141	0.128	

表 2 P/P^+ -Si 相移($\phi_{2n}/2\pi$)

波长 μm	衬底电阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)															
	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	
2	0.036	0.035	0.034	0.034	0.033	0.033	0.033	0.032	0.031	0.030	0.028	0.027	0.025	0.024	0.024	
4	0.067	0.057	0.055	0.055	0.055	0.055	0.054	0.052	0.050	0.049	0.045	0.043	0.040	0.038	0.037	
6	0.119	0.080	0.076	0.074	0.073	0.072	0.071	0.068	0.066	0.064	0.059	0.056	0.053	0.050	0.049	
8	0.200	0.114	0.099	0.094	0.091	0.089	0.086	0.083	0.080	0.077	0.072	0.067	0.064	0.060	0.059	
10	0.261	0.158	0.127	0.115	0.110	0.105	0.102	0.097	0.093	0.089	0.083	0.078	0.073	0.070	0.068	
12	0.300	0.205	0.160	0.140	0.130	0.123	0.117	0.111	0.106	0.101	0.094	0.088	0.083	0.078	0.076	

续表 2

波长 μm	衬底电阻率(Ω·cm)														
	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020
14	0.327	0.244	0.194	0.167	0.152	0.141	0.133	0.126	0.119	0.113	0.104	0.097	0.091	0.087	0.084
16	0.346	0.274	0.226	0.195	0.175	0.161	0.151	0.141	0.132	0.126	0.115	0.106	0.100	0.094	0.091
18	0.361	0.297	0.253	0.211	0.198	0.182	0.168	0.157	0.146	0.138	0.125	0.116	0.108	0.102	0.099
20	0.373	0.315	0.274	0.243	0.220	0.202	0.186	0.173	0.160	0.151	0.136	0.125	0.117	0.110	0.106
22	0.383	0.330	0.292	0.263	0.240	0.220	0.204	0.188	0.175	0.164	0.147	0.134	0.125	0.117	0.113
24	0.391	0.342	0.307	0.297	0.257	0.238	0.220	0.204	0.189	0.177	0.158	0.144	0.133	0.125	0.120
26	0.398	0.352	0.320	0.294	0.272	0.253	0.236	0.219	0.203	0.190	0.169	0.153	0.142	0.132	0.127
28	0.404	0.361	0.331	0.306	0.285	0.267	0.250	0.233	0.217	0.203	0.180	0.163	0.150	0.140	0.134
30	0.409	0.369	0.340	0.316	0.297	0.279	0.262	0.245	0.229	0.215	0.191	0.173	0.159	0.148	0.141
32	0.414	0.376	0.348	0.326	0.307	0.290	0.273	0.257	0.241	0.227	0.202	0.182	0.167	0.155	0.148
34	0.418	0.381	0.355	0.334	0.316	0.299	0.284	0.268	0.252	0.238	0.213	0.192	0.176	0.163	0.155
36	0.421	0.387	0.362	0.341	0.324	0.308	0.293	0.277	0.262	0.248	0.223	0.201	0.185	0.171	0.162
38	0.425	0.391	0.368	0.348	0.331	0.316	0.301	0.286	0.271	0.258	0.232	0.211	0.193	0.178	0.169
40	0.428	0.396	0.373	0.354	0.338	0.323	0.309	0.294	0.280	0.266	0.241	0.219	0.201	0.186	0.176

7.1.2 由公式(2)计算外延层厚度:

$$T_n = (P_n - 0.5 + \phi_{2n}/2\pi) \frac{\lambda_n}{2(n_1^2 - \sin^2\theta)^{1/2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中: T_n ——第 n 个极值波长所对应的计算厚度, μm ;
 P_n ——第 n 个极值波长所对应的级数;
 λ_n ——第 n 个极值波长, μm ;
 n_1 ——硅外延层折射率($n_1=3.42$);
 θ ——反射附件入射角度, ($^\circ$);
其他符号意义与公式(1)相同。

7.1.3 对图 1 所示典型 n/n^+ -Si 试样反射光谱数据计算如下:

- 7.1.3.1 取 λ_1 和 λ_2 分别为 $15.66\ \mu\text{m}$ 和 $10.30\ \mu\text{m}$, $m=3.5$, 衬底电阻率 $\rho_s=0.005\ \Omega\cdot\text{cm}$, $\theta=30^\circ$ 。
7.1.3.2 由 λ_1 和 λ_2 及 ρ_s 和表 1 知 $\phi_{21}/2\pi=0.141$, $\phi_{22}/2\pi=0.092$, 算得 $P_2=10.5$, $T_2=15.36\ \mu\text{m}$ 。
7.1.3.3 同理可得其他极值所对应的有关数据, 如表 3 所示。
7.1.4 仲裁时应使用本计算方法。

表 3 典型 n/n^+ -Si 试样外延层厚度计算结果

计 算 参 数				
极值序号	$\lambda_n, \mu\text{m}$	$\phi_{2n}/2\pi$	P_n	$T_n, \mu\text{m}$
1	15.66	0.141	7.0	15.37
2	14.58	0.130	7.5	15.36

续表 3

计 算 参 数				
极值序号	$\lambda_n, \mu\text{m}$	$\phi_{2n}/2\pi$	P_n	$T_n, \mu\text{m}$
3	13.63	0.121	8.0	15.35
4	12.81	0.113	8.5	15.36
5	12.08	0.107	9.0	15.37
6	11.41	0.101	9.5	15.34
7	10.82	0.097	10.0	15.34
8	10.30	0.092	10.5	15.36
平均厚度, μm				15.36

7.2 方法 2(经验计算法)

7.2.1 计算试样反射光谱在 $1\,100\sim 500\text{ cm}^{-1}$ 范围的极值数可获得外延层厚度, 计算公式为:

$$T = 1.20\, n \dots\dots\dots (3)$$

式中: T ——外延层厚度, μm ;
 n —— $1\,100\sim 500\text{ cm}^{-1}$ 范围的极值数。

7.2.2 当外延层厚度大于 $20\text{ }\mu\text{m}$ 时, 也可用 $700\sim 500\text{ cm}^{-1}$ 范围的极值数计算厚度, 计算公式为:

$$T = 3.64\, n \dots\dots\dots (4)$$

7.2.3 如图 2 所示, 按下列步骤计算极值数 n :

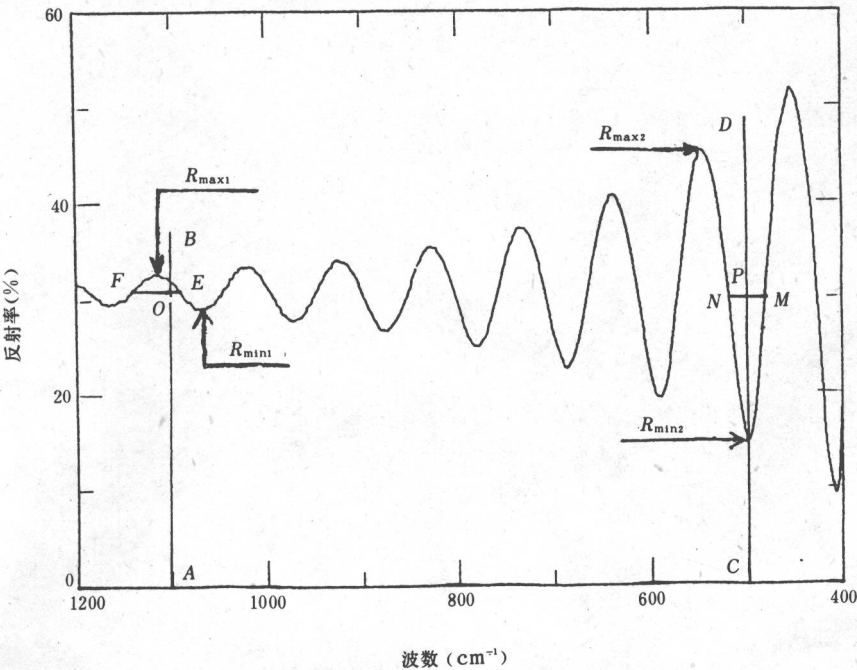


图 2 经验计算法示意图

7.2.3.1 在反射光谱 $1\,100\text{ cm}^{-1}$ 和 500 cm^{-1} 处垂直波数轴分别作两条直线 AB 和 CD 。

7.2.3.2 分别在最靠近 AB 和 CD 两侧,由其两侧的极值取反射率 R_1 和 R_2 分别为:

$$R_1 = (R_{\min 1} + R_{\max 1})/2 \dots\dots\dots (5)$$

$$R_2 = (R_{\min 2} + R_{\max 2})/2 \dots\dots\dots (6)$$

7.2.3.3 过 R_1 和 R_2 分别作两条水平线 EF 和 NM ,并分别与 AB 和 CD 相交于 O 和 P 。

7.2.3.4 极值数 n 由公式(7)计算:

$$n = K + EO/EF + NP/NM \dots\dots\dots (7)$$

式中: K —— AB 和 CD 间的完整极值数。

7.2.3.5 由 $K=12, EO/EF=2/7, NP/NM=1/2$,算得 $n=12.79$ 。

7.2.4 由 $n=12.79$ 代入公式(3)算得 $T=15.35 \mu\text{m}$ 。

8 精密度

8.1 当 n 型硅外延层厚度大于 $2 \mu\text{m}$ 时,多个实验室测量精密密度为 $\pm(0.171 \mu\text{m}+0.0026T)(3s)$ 这一结果是 8 个试样经 7 个实验室循环测量得出的。

8.2 当 P 型硅外延层厚度大于 $2 \mu\text{m}$ 时,多个实验室测量精密密度为 $\pm(0.211 \mu\text{m}+0.0015T)(3s)$ 这一结果是 9 个试样经 7 个实验室循环测量得出的。

9 试验报告

9.1 试验报告应包括以下内容:

- a. 本标准号;
- b. 使用的测量仪器;
- c. 试样名称、来源及编号;
- d. 衬底和外延层导电类型及衬底电阻率;
- e. 图示试样测量位置;
- f. 各个极值所对应的计算厚度 T_n ;
- g. 平均厚度。

附加说明:

本标准由中国有色金属工业总公司提出。

本标准由机电部四十六所和上海第二冶炼厂负责起草。

本标准主要起草人何秀坤、李光平、叶裕宗、严世权、王琴、张志刚、钱国胜。

版权专有 不得翻印

*

书号:155066·1-10796

定价: 1.50 元

*

标目 244—27