

高频介电常数对晶体反射光谱的影响 ——红外吸波材料机理探讨之一

张光寅 戴松涛 张存洲

(南开大学物理系, 天津, 300071)

摘要: 运用经典振子理论, 借助振子 $n-k$ 蛋圆曲线及反射率半圆图, 分析了高频介电常数对晶体反射光谱的影响, 指出当振子强度和阻尼常数一定时, 高频介电常数低的材料有利于在反射光谱中形成宽带低反射率区, 可用于红外吸波.

关键词: 红外吸波, 高频介电常数, 晶体反射光谱, $n-k$ 蛋圆曲线.

引言

作为红外吸波用的光谱选择性材料要求在尽可能宽的波段内反射率足够低, 为此我们考察了一些晶体的红外反射谱图, 发现高频介电常数 ϵ_∞ 对晶体的反射光谱影响很大. 我们进一步利用经典振子理论进行了计算, 结果表明 ϵ_∞ 小的材料在反射光谱中可以形成宽带低反射率区, 因而适合用作红外吸波材料.

1 晶体反射光谱的一般特征

图1给出红外活性模反射光谱的典型例子, 图中 R 、 ω 、 S 、 γ 分别表示反射率、频率、振子强度和阻尼常数, 小插图 of 反射率低谷区的放大. 由图1可知红外活性模的反射光谱在振子的横频率 ω_0 与纵频率 $\omega_L = \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_\infty}\right)^{\frac{1}{2}} \omega_0$ 之间有一高反射率宽带 (这里 ϵ_s 表示介电常数), 称为剩余反射带. 当它向低频方向离开振子的横频率 ω_0 时, 其反射率迅速下降, 而后下降逐渐变慢, 最后当 $\omega \rightarrow 0$ 时趋向一定值

$$R_s = \left(\frac{\sqrt{\epsilon_s} - 1}{\sqrt{\epsilon_s} + 1}\right)^2 \quad (1)$$

当其向高频方向离开振子的纵频率时, 其反射率亦迅速下降, 并经历一低谷区, 然后又缓

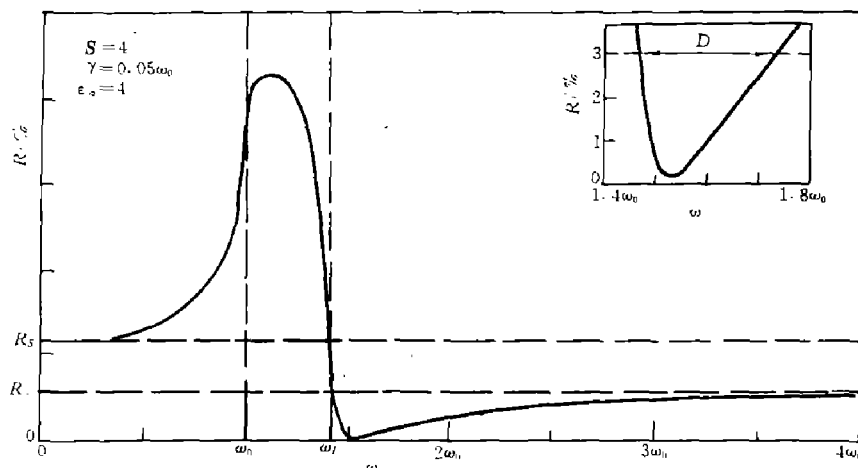


图 1 晶体反射光谱的一般特征

Fig. 1 General characteristics of crystal reflection spectrum

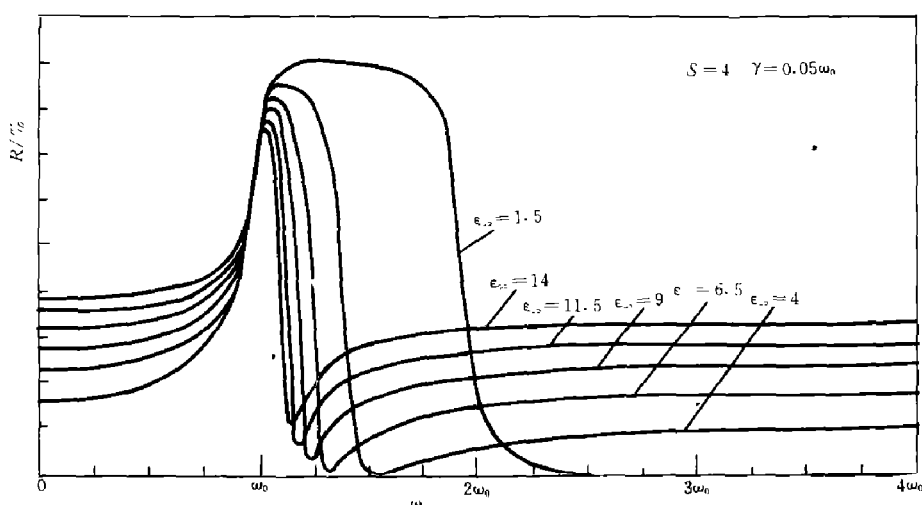
慢增大，最后当 $\omega \rightarrow \infty$ 时，趋向另一定值

$$R_{\infty} = \left(\frac{\sqrt{\epsilon_{\infty}} - 1}{\sqrt{\epsilon_{\infty}} + 1} \right)^2 \quad (2)$$

显然低谷区的范围越大，越有利于吸波。我们定义 $R \leq 3\%$ (约为 -15 dB) 谱线所对应的频率间隔为吸波宽度，用 D 表示，如图 1 中的小插图所示。由图 1 可知， D 越大的材料，吸波效果越好。

2 ϵ_{∞} 对反射光谱的影响

我们利用红外反射光谱公式^[1,2]计算了 ϵ_{∞} 取不同值时的反射光谱，如图 2 所示。可

图 2 ϵ_{∞} 对晶体反射光谱的影响Fig. 2 Influence of ϵ_{∞} on crystal reflection spectrum

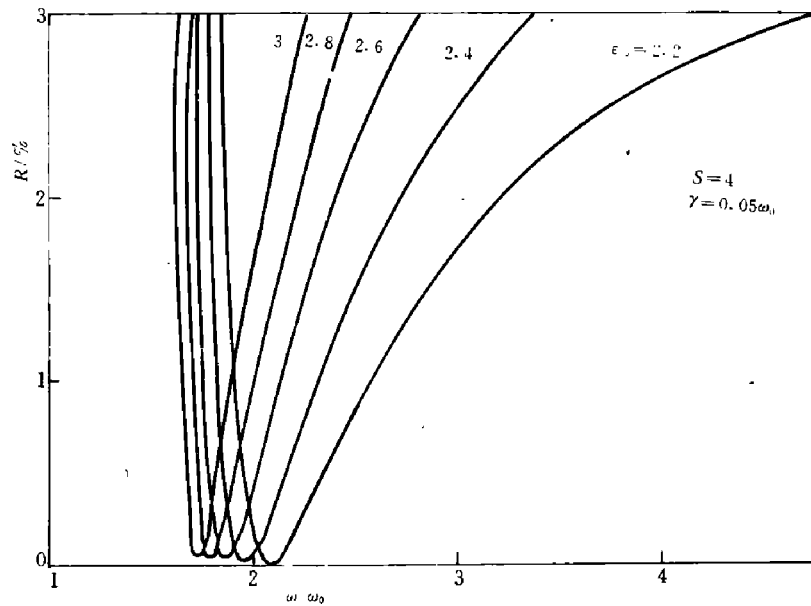


图 3 低谷处的反射光谱
Fig. 3 Reflection spectra at the valley

知在振子强度、阻尼常数一定的情况下，随着 ϵ_∞ 由小到大变化，谱线的轮廓逐渐由“钟形”过渡到“色散形”。具体有以下几个特点：(1) 反射谱在横频率以下的低频区随 ϵ_∞ 的升高而逐渐抬高，即 R_s 随 ϵ_∞ 的增大而增大。随着 ϵ_∞ 的增加，剩余反射带逐渐向横频率的方向收缩，收缩速率随 ϵ_∞ 的增加而减缓，带顶对应的反射率值有下降趋势。(3) 在略高于纵频率处出现的低谷宽度随 ϵ_∞ 增大而变窄，且谷底对应的反射率有升高趋势。为了更清楚地表示这一点，我们用图 3 表明几个不同 ϵ_∞ 值的反射谱在谷底附近的情况，由此可确定吸波宽度 D 与 ϵ_∞ 的关系，如图 4 所示。图 4 中圆点表示我们在图 3 一类图中实际测量得的数据。由图 4 明显可见 D 随着 ϵ_∞ 减小而急剧上升。(4) 在低谷高频侧出

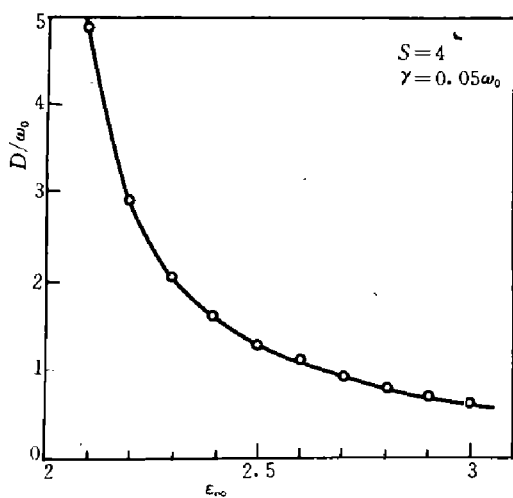


图 4 D 与 ϵ_∞ 的关系
Fig. 4 Relationship between D and ϵ_∞

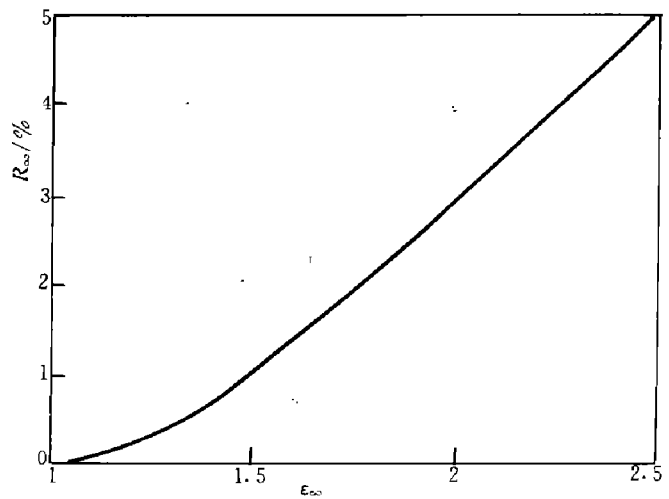


图 5 R_∞ 与 ϵ_∞ 的关系
Fig. 5 Relationship between R_∞ and ϵ_∞

现的平台也随着 ϵ_∞ 增加而抬高, 即 R_∞ 随着 ϵ_∞ 增加而增加. 我们按式 (2) 计算了 $R_\infty-\epsilon_\infty$ 的关系曲线, 如图 5 所示, 由此可定量地解释图 2 的结果.

由以上特征可知, 若在反射光谱中获得宽带低反射率区, 就必须减小 ϵ_∞ . 图 2 中 $\epsilon_\infty = 1.5$ 对应的反射谱在 ω_L 以外已经形成了一大片低反射率区.

3. ϵ_∞ 对 $n-k$ 蛋圆曲线的影响

借助 $n-k$ 蛋圆曲线及 $n-k$ 反射率半圆图可以直观地分析固体的光学性质^[2]. ϵ_∞ 取不同值时的 $n-k$ 蛋圆曲线, 如图 6 所示, 图中还画出了 $n-k$ 反射率半圆图. 由图 6 可知, 随着 ϵ_∞ 升高, 蛋圆逐渐向反射率较高的区域“滚动”, 例如当 $\epsilon_\infty = 9$ 时, 整个蛋圆已经越出了 $R \leq 3\%$ 的区域, 这与图 2 是相符的, 更直观地说明了较高的 ϵ_∞ 不利于获得低反射率.

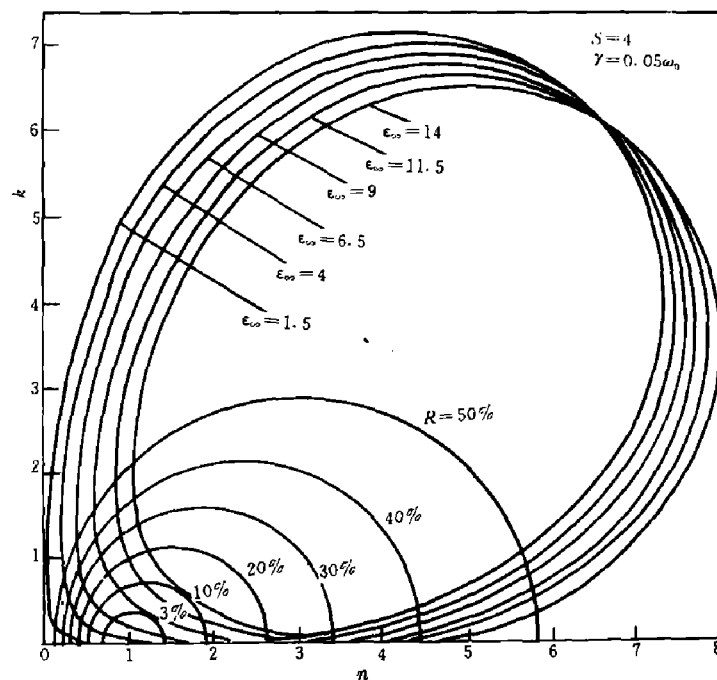


图 6 ϵ_∞ 对 $n-k$ 蛋圆曲线的影响

Fig. 6 Influence of ϵ_∞ on $n-k$ egg-shape curve

4 讨论

通过以上分析可以看出, 要得到低反射率的材料, 就必须设法减小其 ϵ_∞ . 表 1 列出了一些晶体的 ϵ_∞ 值^[3]. 可以看出, 一些碱卤晶体, 特别是一些氟化物晶体, 具有较低的 ϵ_∞ 值, 它们可以作为红外吸波材料的候选者.

另外, 还可以选用一些 ϵ_∞ 较低的晶体做成孔隙度很高的多孔材料, 这样可使整个材料的有效 ϵ_∞ 进一步下降, 以便达到更好的红外吸波效果. 这方面的研究将另文发表.

表 1 不同晶体的 ϵ_{∞} 值
Table 1 The ϵ_{∞} values for various crystals

晶体	LiH	LiF	LiCl	LiBr	NaF	NaCl	NaBr	KF	KCl	KI	RbF	RbI	CsCl
ϵ_{∞}	3.6	1.9	2.7	3.2	1.7	2.25	2.6	1.5	2.1	2.7	1.9	2.6	2.6
晶体	CsI	TlCl	TlBr	AgCl	AgBr	MgO	GaP	GaAs	GaSb	InP	InAs	InSb	SiC
ϵ_{∞}	3.0	5.1	5.4	4.0	4.6	2.95	8.5	10.9	15.6	9.6	12.3	15.6	6.7

参考文献

- 1 Born M, Huang K. *Dynamical Theory of Crystal Lattice*, Oxford, 1954
- 2 张光寅, 蓝国祥. 晶格振动光谱学, 北京: 高等教育出版社, 1991
- 3 Kittel C. *Introduction to Solid State Physics*, 5th edition, New York: Wiley, 1976

INFLUENCE OF HIGH-FREQUENCY DIELECTRIC CONSTANT ON CRYSTAL REFLECTION SPECTRUM: EXPLORATION OF MECHANISM OF INFRARED WAVE-ABSORBING MATERIALS

ZHANG GUANGYIN, DAI SONGTAO, ZHANG CUNZHOU

(Physics Department, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Using classical vibrator theory and by means of the $n-k$ egg-shape curve and $n-k$ half-circle graph of reflectivity for vibrators, the influence of high-frequency dielectric constant on crystal reflection spectrum is analyzed. It is pointed out that the materials, of which the high-frequency dielectric constants are small, are advantageous to the formation of a wide low-reflectivity region in their reflection spectrum when their damping constants and oscillator strength are constant. Thus they can serve as infrared wave-absorbing material.

Key words: infrared wave-absorbing, high-frequency dielectric constant, crystal reflection spectrum, $n-k$ egg-shape curve.