

在 GaAs-Al 界面上共振激励红外表面二次谐波研究

陈正豪 崔大复 吕惠宾 周岳亮

(中国科学院物理研究所)

金属-非线性晶体的界面存在产生表面电磁波的条件。在 GaAs-Al 界面的情况下, 频率为 ω_1 、波矢为 \vec{K}_1 的一束红外激光可在 GaAs 晶体内诱导出非线性极化场。

$$\vec{p}^{(2)}(\omega) = \chi_{xyz}^{(2)}(\omega=2\omega_1) [\hat{x}E_{1y} \hat{y} E_{1z}],$$

在界面的晶体一侧所激励的表面电磁波可以写为: $\vec{E}^{(b)}(\omega) = \vec{\varepsilon}_0^{(b)} \exp(i\vec{k}_b \cdot \vec{r}) \exp(-i\omega t)$,

$$\begin{aligned} \text{其中, } \vec{\varepsilon}_0^{(b)} &= \frac{-2\pi(\varepsilon_a k_{bz} - \varepsilon_b k_{az})\varepsilon_a(\hat{x}k_{bz} + \hat{z}k_x)}{K_x'(\Delta k_x - iK_x'')\varepsilon_b(\varepsilon_a^2 - \varepsilon_b^2)(k_s^2 - k_b^2)} \\ &\times \left[p_x^{(2)}(k_s^2 - k_b^2) + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} k_{az} - k_{sz}\right)(k_{sz} p_x^{(2)} - k_x p_z^{(2)}) \right] \\ &= \frac{-2\pi(\varepsilon_a k_{bz} - \varepsilon_b k_{az})\varepsilon_a(\hat{x}k_{bz} + \hat{z}k_x)}{K_x'(\Delta k_x - iK_x'')\varepsilon_b(\varepsilon_a^2 - \varepsilon_b^2)(k_s^2 - k_b^2)} \\ &\times p_x^{(2)} \left[(k_s^2 - k_b^2) + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} k_{az} - k_{sz}\right)(k_{sz} - k_x) \right] \end{aligned}$$

(设 $p_x^{(2)} = P_z^{(2)}$)

$\Delta k_x = k_x - K_x'$ 是位相失配量。在有耦合元件存在(或者表面粗糙)时, 无辐射的表面波可以耦合合成辐射波, 其输出功率可以表示为:

$$I(\omega, k_x) \propto \int |E^{(b)}(\omega)|^2 dx dy \propto \frac{|\vec{X}^{(2)}: \vec{E}(\omega_1)\vec{E}(\omega_1)|_x^2}{(k_x - K_x')^2 + K_x''^2},$$

所以, 只要 $\Delta k_x = k_x - K_x' = 0$, 就可以实现表面波的共振激励。

我们提出了在非线性晶体-金属界面利用光栅耦合直接产生倍频表面波的方法, 可以通过适当选择光束的入射角 θ_i 和光栅的波矢 K_G , 抑制基频表面电磁波, 而使基频体波在界面上直接非线性地激励倍频表面电磁波, 此时只要上面的 Bragg 关系成立

$$2k_{10}n_b(\omega_1)\sin\theta_i \pm K_G = k_0 \text{Re}[\eta_s(\omega=2\omega_1)]$$

$$\eta_s(\omega) = \left[\frac{\varepsilon_a(\omega)\varepsilon_b(\omega)}{\varepsilon_a(\omega) + \varepsilon_b(\omega)} \right]^{1/2} \text{——表面波复折射率。就可以实现表面二次谐波的共振}$$

激励。

我们利用 9.1~10.8 μm 可调谐 TEA CO₂ 激光, 在 GaAs-Al 界面上采用光栅耦合首次从实验上获得了红外表面二次谐波的共振激励输出, 并且得到了相应的表面极化激元波(Surface polariton waves)的色散关系 $K_x'(\omega)$ 及其衰减系数 $K_x''(\omega)$ 。对实验结果作了分析, 并与理论值进行了比较, 两者符合得比较好。由我们的实验结果所推得的 GaAs 晶体的二阶非线性系数与 Wynne 和 Bloembergen 测得的数据基本一致。