

# InSb 带间法拉第转角的振荡现象

王 威 礼

(北京大学物理系, 北京)

1987年1月26日收到

在低温下, 用连续CO激光器观察到了InSb带间法拉第转角随外磁场变化的振荡现象, 振荡的产生可归结于电子相继跃迁到导带的不同朗道子能级, 实验测量和理论的估算进行了比较。

主题词: InSb, 法拉第转角

磁光效应的实验研究为能带理论提供了重要的参数, 并成为检验各种能带模型的有效实验手段。由于法拉第效应对实验条件的灵活性, 所以它被广泛地用于半导体色散和能带结构的研究。

Boswarva<sup>[1]</sup> 曾推得用速度算符矩阵元表示的带间法拉第转角为

$$\frac{\theta}{l} = \frac{\omega}{2c} (n_+ - n_-) = \frac{-c^2}{4\pi\hbar e_0 c} \sum_k^0 \sum_{k'}^0 \frac{\omega^2}{\omega_{k'k}^2} \frac{[|V_{k'k}(+)|^2 - |V_{k'k}(-)|^2]}{\omega_{k'k}^2 - \omega^2},$$

其中  $\omega$  是平面偏振光的角频率,  $c/n_{\pm}$  分别是左、右两圆偏振光分量在磁光介质中传播的相速,  $V_{k'k}(\pm)$  是它们的速度算符矩阵元,  $\hbar\omega_{k'k}$  是指  $k \rightarrow k'$  的跃迁能量,  $l$  是样品的厚度, 二重求和是表示了分别对被电子占据的动态  $k$  和未被电子占据的末态  $k'$  求和。因此, 对于一定角频率的平面偏振光,  $|V_{k'k}(-)|^2$  和  $|V_{k'k}(+)|^2$  分别对应于不同能态的带间跃迁和选择定则所决定的左、右圆偏振光分量对法拉第转角的贡献<sup>[2]</sup>。并由分母项说明和平面偏振光光子能量相近的能态间的跃迁起主要作用。

在外磁场作用下, 能带内的能态密度都集中在每一个朗道子能级附近, 在低温下导带内的电子只填充在费米能级以下的各个朗道子能级的能态中。在一定掺杂浓度  $N$  时, 费米能级  $E_F$  与不同量子数  $n$  的朗道子能级相对位置随外磁场  $B$  变化规律为<sup>[3]</sup>

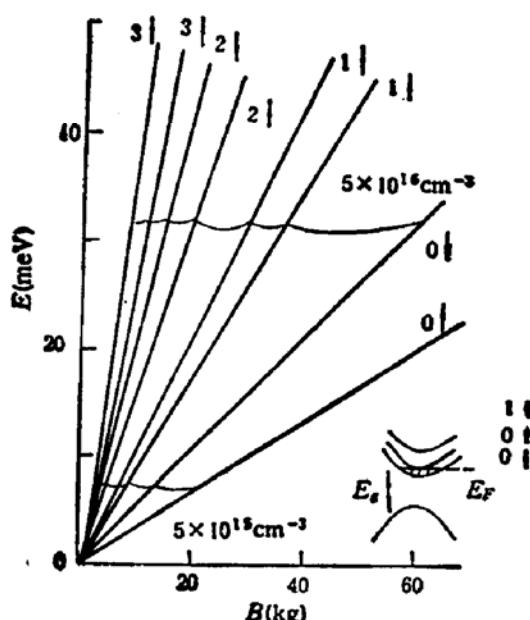


图1 在外磁场作用下, InSb 的费米能级和朗道子能级的相对变化

$$N = \frac{2eB}{\hbar^2} (2m^*)^{1/2} \sum_n \left[ E_F - \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega_c \pm \frac{1}{2} \hbar\omega_s \right]^{1/2}$$

其中  $m^*$  是导带的有效质量,  $\omega_c = \frac{eB}{m^*}$  是回旋共振频率  $\hbar\omega_c = g_e \beta B$ ,  $g_e$  是有效  $g$  因子,  $\beta$  是玻尔磁子。图 1 画出了朗道子能级随外磁场的变化情况, 随磁场的增加各子能级相继地移动到费米能级的上面, 只就造成带间跃迁到这些子能级的可能性, 各自旋态子能级的跃迁又和不同圆偏振光相联系, 这就形成法拉第转角随外磁场出现振荡现象。

实验中的红外光源是采用外腔式可调谐 CO 激光器产生的平面偏振光, 经空间滤波器可得接近理想的高斯光束, 厚度为 1.6 mm 的 n 型 InSb 样品的两面上均蒸涂  $1/4$  波长的 ZnS 增透层, 并按法拉第方式 ( $E \perp B$ ) 置于带 ZnSe 窗片的超导磁体内, 样品温度为 15K, 经样品的出射光束为马达带动的偏振片、热电接收器、镇定放大器和 X-Y 记录仪测量平面偏振光偏转角度, 其测量精度小于  $\pm 1^\circ$ 。

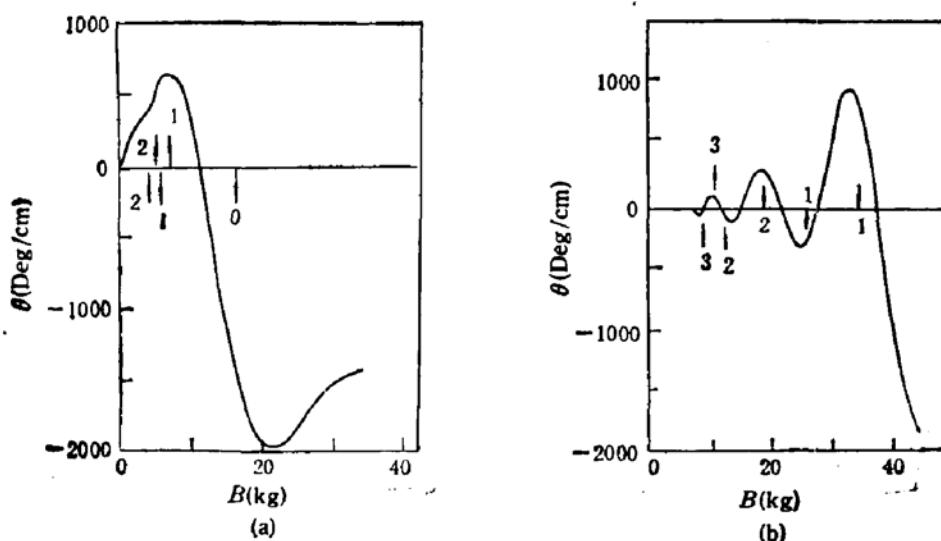


图 2 n 型 InSb 法拉第转角随外磁场变化的振荡现象

(a)  $N = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  (b)  $N = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

图 2 给出激光波数为  $1881 \text{ cm}^{-1}$ 、掺杂浓度为  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  和  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  的法拉第转角与外磁场关系的实验测量结果, 图中标出了理论估算的振荡峰值位置。在低磁场和有限温度下, 由于能级的展宽而相互重叠, 振荡现象不明显, 所以要观察到振荡的条件是  $g_e \beta B$  和  $E_F$  大于  $kT$ , 即低温、强磁场和适当高掺杂有利于振荡现象的实现。

由于振荡法拉第转角峰顶和峰谷恰好是费米能级和导带朗道子能级相遇的位置、并满足

$$E_F = \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega_c \pm \frac{1}{2} \hbar\omega_s$$

或

$$n = \frac{E_F m^*}{\hbar e} \frac{1}{B} - \left( \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \frac{\hbar\omega_s}{\hbar\omega_c} \right).$$

因此, 由实验结果可作出不同朗道量子数的峰值和谷值与外磁场关系的图 3。在图中得到两条斜率为  $\frac{E_F m^*}{\hbar e}$  的平行线, 它们在横轴  $1/B$  上的截距间隔为  $\frac{m^*}{m} \frac{g_e}{2}$ , 由此可见, 振荡法

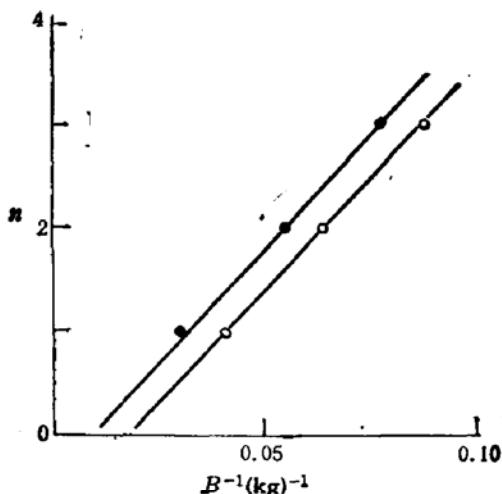


图3 n型 InSb ( $N = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) 法拉第转角振荡中属于不同朗道量子数的峰值与谷值和外磁场的关系, 其中●是峰值, ○是谷值

拉第转角实验结合回旋共振或远红外自由载流子法拉第效应所测定的电子有效质量后, 可以进一步得到能带参数  $E_F$  和  $g_e$ .

### 参 考 文 献

- [1] I. M. Bozwarva and A. B. Lidgard, *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A278**, 699 (1964).
- [2] R. J. Elliott *et al.*, *Proc. Phys. Soc.*, **72**, 553 (1958).
- [3] R. A. Smith, *Semiconductors* (Cambridge University Press, Cambridge, 1978), p. 404.

## Oscillatory Interband Faraday Rotation in InSb

Wang Weili

(Department of Physics, Peking University, Beijing)

### Abstract

The oscillations of interband Faraday rotation with applied magnetic field in InSb have been observed at low temperature using a CW CO laser. These oscillations are attributed to the electrons progressively excited to different Landau sub-levels in the conduction band. The experimental measurements have been reasonably compared with the theoretical estimates

**KEY WORDS:** InSb, Faraday rotation