

碲镉汞晶体微区组份测量

祝樵村 吴秀兰

(华北光电研究所)

摘要——本文介绍用 EER 光谱法测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体组份的原理, 测量装置和不同组份的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体的 EER 光谱曲线。用 EER 光谱法测出了 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体中直径为 0.1mm 的微区组份。

一、前 言

1964 年 Serophin B. O. 和 Hess R. B. 首先开始研究电反射光谱法(以下简称 EER 光谱法)。1970 年 Vechten 和 Bergstresser 在研究 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 能带结构的基础上, 给出了 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体材料能级之间的跃迁能量 E_i 和材料克分子数 x 之间的关系式为:

$$E_i = a + bx + cx^2. \quad (1)$$

1973 年 Moritani A. 发表了 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 单晶在电解液中的电反射光谱, 证实了方程(1)的正确性。从而 EER 光谱法就从对能带结构的理论研究进入了实际应用的研究。1977 年 Vanier P. E. 等人发表了用 EER 光谱法测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体组份均匀性的结果, 使该方法越来越受到人们的关注, 并被用于分析三元合金半导体材料和半导体外延层薄膜表面的组份。

二、测 量 原 理

当半导体表面加上一个调制电压后, 反射率 R 将发生变化 ΔR 。在临界点附近, 当入射光子的能量为半导体能级间直接跃迁能量时, $\Delta R/R-\lambda$ 曲线出现极大值或极小值。这个极大值或极小值的波长对应的能量, 就是电子在能级间直接跃迁所需要的能量。对于所有三元合金半导体来说, 临界点跃迁能量和材料组份间都有定量的关系, 其中以 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体研究比较成熟, 它的能级间跃迁能量 E_i 和材料组份 x 值之间满足方程(1)。

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体中的能级跃迁值有 E_0 、 $E_0 + \Delta_0$ 、 E_1 、 $E_1 + \Delta_1$ 、 E_2 、 $E_2 + \delta$ 、 Δ_1 等几种, 相应于从紫外到近红外波段的光子能量。我们选用 E_1 跃迁来确定 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体的组份。用 EER 光谱法测出 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线中 E_1 跃迁的峰值波长 λ_1 , 从 λ_1 算出跃迁能量 E_1 , 再用方程(1)即可算出所测点的材料的组份 x 值。选用 E_1 是出于下述两点考虑: 第一, 我们的测量装置中的透镜和聚焦镜头都是玻璃制品, 适合于做可见光测量, 而只有 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 对应于可见光能量; 第二, E_1 跃迁的再现性优于 $E_1 + \Delta_1$ 。

我们用透镜将入射到 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 片子上的光聚焦到 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 的范围, 这样, 就能测得一个大片子上 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 范围内的材料组份。将光点在片子上扫描, 即可测出整片材料的

本文 1981 年 10 月 26 日收到。修改稿 1982 年 5 月 20 日收到。

组份分布。

三、测量系统

实验装置见图1。在 EER 光谱测量中, 噪声比电反射信号大三个数量级, 为此, 我们采

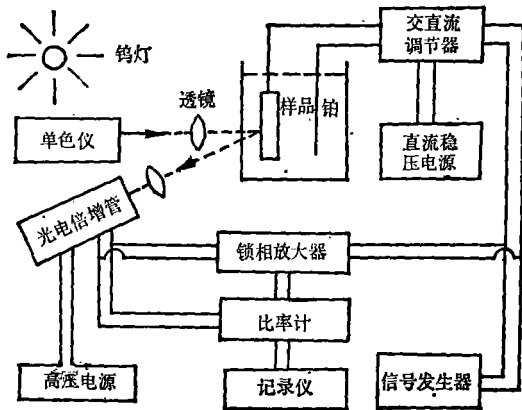


图1 电反射测量装置方框图

用了锁相技术, 并用 XD₁ 型信号发生器控制锁相放大器的参考电压和半导体与铂电极之间的调制电压, 使两者同相位同频率, 从而实现了在背景强干扰中提取微伏级的弱的电反射信号。为减少背景光子的影响, 提高测量速度和测量精度, 我们在暗室中套设暗室, 同时还注意暗室中从电解槽窗口反射过来的光, 使之不进入光电倍增管。我们用照相机厂提供的镜头, 将投射到 Hg_{1-x}Cd_xTe 材料上的光点聚焦到 $\phi 0.1$ mm, 从而测量 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶体的微区组份。样品的移动采用 X-Y 微动夹具。被测样品按如下方法制备: 将经过机械研磨和抛光后的 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶片, 在甲醇加溴的溶液中腐蚀, 并选一面焊上引线, 然后安装在玻璃片上, 用石蜡将前表面外的其它部分封住, 使电解液只能与 Hg_{1-x}Cd_xTe 的前表面接触。我们多次试验认为, 500 cc 乙醇加 1 cc 硝酸的电解液较好。

四、结果和讨论

图2、图3、图4是我们测得的不同组份的 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶体的 EER 光谱曲线, 这些曲

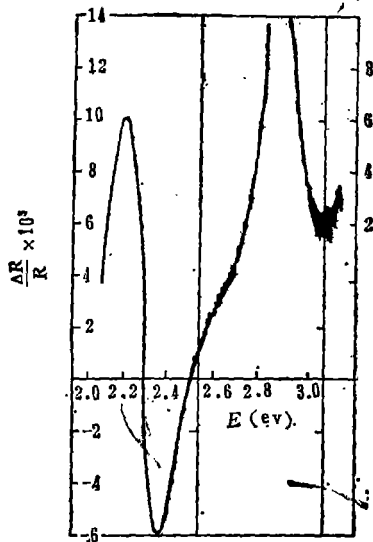


图2 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶体的 EER 光谱曲线 ($x=0.161$)

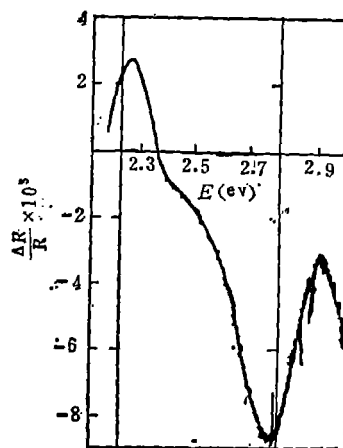


图3 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶体的 EER 光谱曲线 ($x=0.202$)

线都是在 $V_{ac}=0V$, $V_{ao}=1.5V$ (240 Hz) 的条件下测得的。所得曲线形状与 Moritani, A^[3] 报道的曲线形状相符合。

当精确地测定 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线后, 可用 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线中的极值来确定跃迁能量。目前在国际上有两种方法, 一种是峰值法^[1, 2, 3], 另一种是三点法^[4, 5]。这两种方法我们都试过, 在此我们只讨论用峰值法确定 E_1 跃迁能量的结果。

1. 组份均匀性测量有三种情况。第一种, 一部份点, E_1 跃迁附近 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线只有负的峰值; 第二种, 一部份点, E_1 跃迁附近 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线同时有正的峰值和负的峰值; 第三种, 整个片子各点的 E_1 跃迁的峰值都是负的。对于这三种情况, 峰值法都能作为统一的方法, 计算出材料各点的 E_1 跃迁能量, 从而确定各点的 x 值。

2. 材料均匀性测量中, 由于测量点比较多, 因此需要一种既简便又精确的数据处理方法, 而峰值法能实现这一点。

3. 实际测量表明, EER 光谱中 E_1 结构的前峰位置稳定, 它的位置主要取决于材料的组份, 几乎不受其它因素的影响。对同一片子, 不仅在反复多次的测量中, E_1 的前峰位置能很好地重复, 即使相隔数月后, 首次测得的 E_1 跃迁前峰位置也能再现。

将光点在片子上扫描, 测出各点的 $\Delta R/R-\lambda$ 曲线, 即可得出各点组份的 x 值, 从而了解整个片子的组份分布。图 5 表示一个 $4\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 片子上 42 个点上组份的测量值。

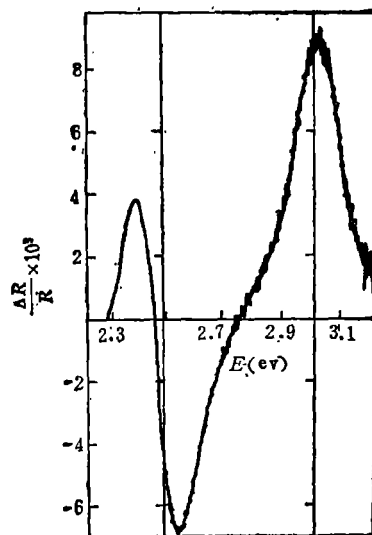


图 4 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体的 EER 光谱曲线 ($x=0.325$)

0.194	0.192	0.192	0.194	0.199	0.206	0.210
0.192	0.194	0.199	0.199	0.203	0.206	0.210
0.192	0.199	0.199	0.203	0.206	0.206	0.210
0.192	0.203	0.203	0.203	0.210	0.210	0.210
0.199	0.203	0.206	0.203	0.210	0.210	0.210
0.199	0.203	0.206	0.203	0.210	0.210	0.210

图 5 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 组份测值分布

为检验 EER 光谱法的可靠性及精确性, 将图 5 中虚线部位的晶体取出来作成器件。其中有两支器件性能较好, 其相对光谱响应测试结果见图 6。其中 1 号器件的截止波长为 $\lambda_c=12.7\mu\text{m}$, 2 号器件的截止波长为 $\lambda_c=13.6\mu\text{m}$ 。用截止波长算得的 1 号器件的材料 x 值为 0.204、2 号器件的材料 x 值为 0.199。器件相对光谱响应测量结果与 EER 光谱测量结果在误差允许范围内吻合得较好。

本方法具有无接触、无损坏, 可以在室温下测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体组份的特点。它的突出优点是能测量出 $\phi 0.1\text{mm}$ 范围 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体的微区组份, 组份测量精度较高。实验证明, 用本方法测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体组份均匀性, 为改进晶体生长工艺提供数据, 或用本方法对材料进行挑选, 以提高多元器件光谱性能的一致性, 都是行之有效的。本方法还

可用来测定其它三元合金半导体的组份均匀性和研究它们的能带结构。

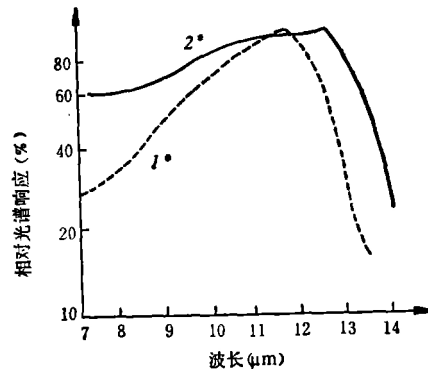


图6 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件的光谱响应

致谢——本工作得到吴仰贤同志有益指导, 谨表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Cardon M., *Phys. Rev.*, **154**(1967), 696.
- [2] Moritani A., *J. Phys. Soc.*, **34**(1973), 79.
- [3] Pollak Fred H., *J. Appl. Phys.*, **49** (1978), 7, 4216.
- [4] Aspnes D. E., *Surface Sci.*, **37**(1973), 418.
- [5] Тягай В. А., *Изв. АН СССР, Геопл. Матер.* (1976), 8, 1368.

MICROSCOPIC COMPOSITION MEASUREMENT OF $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ CRYSTAL

ZHU QIAOCUN, WU XIULAN

(North China Research Institute of Electro-Optics)

ABSTRACT

The principle and the measurement system for electrolyte electro-reflectance (EER) spectrometry of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ crystals, and EER spectra for $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ crystals of different compositions are reported. The composition of ϕ 0.1 mm area has been measured by this method.