

# HgCdTe的位错及其对器件性能影响的研究

王妮丽

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘 要** 本文对位错的基本特点以及位错对 HgCdTe 器件性质的影响作了简洁的说明, 给出了影响器件性能的主要因素, 并从提高器件性能的角度出发, 简要介绍了位错的消除。

**关键词** 位错 探测率  $R_0A$  少子寿命 退火

## 1 引言

1959年, 英国皇家雷达科学研究院发表了第一份关于半导体合金 HgCdTe 的报告, 并认为这种材料有希望成为本征红外探测器。此后不久, 美国霍尼韦尔共同研究中心便报道了用一些不成熟的 HgCdTe 器件进行了光导和光伏探测的情况。直到现在, HgCdTe 仍被认为是一种接近理想的红外探测器材料。HgCdTe 器件是应用极广的一种红外探测器, 在国防、气象、资源、环境遥感以及医学方面都有极广泛的应用。

HgCdTe 受到人们的重视, 主要是因为这个材料本身具有的几个主要特点:

(1) 其能带隙可在  $1\mu\text{m}$  和  $30\mu\text{m}$  间调节。能用于短波  $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ 、中波  $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$  和长波  $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$  器件。

(2) 与其它的红外材料, 如 InSb, PbSnTe 相比, HgCdTe 红外探测器可达到比较高的响应率。

(3) HgCdTe 光学吸收系数较大, 有可能获得高的量子效率。

(4) HgCdTe 表面生长的氧化物是化学稳定的, 可以得到表面态密度低的半导体-绝缘体的界面。

(5) HgCdTe 的热膨胀系数与硅的比较接近, 这使得人们可以采用混成方法将 HgCdTe 探测器列阵与硅多路传输器混合在一起。

(6) 与 PbSnTe 相比, HgCdTe 的介电常数比较低, 结电容也比较低, 这样使激光脉冲探测器的响应时间短。另外, 它对于将前置放大器的噪声抑制得比探测器噪声小也是很重要的, 这样可以使工作于低温和低背景能量下的中波和短波光二极管获得较高的探测率。

(7) 由于 HgCdTe 存在有利的复合机制, 这使得 HgCdTe 的工作温度较高。

(8) HgCdTe 的多种生长方法, 能得到不同的材料, 满足 HgCdTe 器件的多种要求。HgCdTe 材料可用常规方法生长, 如掺杂, 其载流子密度可满足大部分的器件的要求。HgCdTe 材料也可用各种外延技术生长材料。液相外延现在可用来生长光伏 HgCdTe 列阵。分子束外延和金属汽相外延等外延方法正在用于小批量生产工程器件和原型器件。

(9) 可在多种衬底上外延生长 HgCdTe 材料,

收稿日期: 2004-12-10

作者简介: 王妮丽 (1980 —), 女, 凝聚态物理硕士研究生, 主要研究方向为 HgCdTe 红外材料和器件。

如在晶格匹配的 CdZnTe 衬底上外延生长高质量的、位错密度小于  $10^5 \text{cm}^{-2}$  的 HgCdTe 薄膜。在蓝宝石和硅衬底上外延生长位错密度较低 (平均  $10^6 \text{cm}^{-2}$ )、适用于各个光谱范围的 HgCdTe 薄膜 [1,2]。

碲镉汞是良好的红外材料, 高密度大面阵的红外焦平面是目前红外器件发展的方向。由于合金半导体 HgCdTe 在红外成像、红外焦平面列阵的应用中日益重要, 对材料的质量提出了更高的要求。HgCdTe 材料的电学性质是由调节金属空位与金属间隙原子的平衡来控制的, 但大量缺陷的存在, 对器件的少子寿命有严重的影响。位错是半导体中一种很重要的缺陷, 它影响着半导体的光学、力学、电学诸方面的性质。本文就位错的基本特点以及位错对 HgCdTe 器件性能的影响进行研究, 并对前人的研究成果做一个评述。

## 2 发展历史及现状

近 40 多年来, HgCdTe 技术取得了很大的进步, 采用 Hg 和 Te 熔液生长的液相外延技术的成熟便是取得这些进步的基础。基于液相外延 (LPE) 的单层和双层光电二极管技术已经得到了充分的肯定。由于它可以提供较低缺陷密度和良好的可操作性, 因而可以批量生产高性能的焦平面列阵。在用分子束外延 (MBE) 和金属有机汽相外延 (MOVPE) 技术生长复杂的多层 HgCdTe 器件结构方面, 人们取得了一些重大进展。带有缓冲层的硅衬底可以取代成本较高的 CdZnTe 衬底。汽相外延 (VPE) 方法近期内或许还不能取代 LPE 方法, 但是它们会不断改进, 特别是在降低缺陷密度方面 [2]。

## 3 影响 HgCdTe 器件性能的各种因素

HgCdTe 器件的性能受多方面因素的制约。首先, 它直接取决于材料的载流子密度、迁移率和寿命等半导体因素。HgCdTe 器件的性能

的好坏一般是由探测率  $D^*$  决定的。对 n 型光导 HgCdTe 器件, 响应率

$$R_v = \frac{\eta \lambda \tau U_b (b+1)}{l w t h c (b n_0 + p_0)} \frac{1}{(1 + w^2 \tau^2)}$$

探测率

$$D^* = \frac{R_v (l w)^{1/2} (\Delta f)^{1/2}}{V_n}$$

在一定的波长下, 为了达到高性能的探测器, 要使得量子效率  $\eta$  大, 使  $\tau$  增大, 尽可能高的偏压, 使热平衡载流子密度尽可能低, 采用薄的样品。但是, 考虑到要有一个足够的响应率来克服系统的噪声, 考虑样品要维持足够高的电阻, 以便在所需要的偏压下承受住所产生的焦耳热等。

光导器件的探测率与  $\tau^{1/2}$  成正比, 噪声与  $\tau$  也密切相关。对光伏器件而言, 因为  $\tau$  决定了扩散长度和收集效率,  $\tau$  也很重要 [4]。

光伏 HgCdTe 探测器的性能在很大程度上取决于它的 P-N 结的特性。P-N 结的特性决定了探测器的动态电阻和热噪声, 决定了探测器的性能。零偏压电阻和面积的乘积  $R_0 A$  是衡量探测器性能好坏的重要指标。目前的应用对  $R_0 A$  的要求非常高, 一方面,  $R_0 A$  决定了探测器的热噪声, 因此在热噪声限下成为限制探测器的主要因素; 另一方面, 为了改善光伏探测器与 Si 信号处理电路之间的耦合, 要求  $R_0 A$  足够高以提高信号转移效率 [5]。

在低频反偏电压下, 对 HgCdTe 红外器件影响最大的是  $1/f$  噪声。 $1/f$  噪声对工艺条件十分敏感。很多学者对  $1/f$  噪声的产生机制进行过分析研究 [6]。S.T.Hsu [7]、Bajaj [8,9] 和 T.G.M Kleinpenning [10] 等人对  $1/f$  噪声构造了不同模型。直到现在, 对  $1/f$  噪声的研究还没有定论。

当设计一定用途的探测器晶体材料时, 必须同时考虑所有可能有的噪声机理、响应度的大小、焦耳热以及其他一些这样的因素。因为这些参数往往相互影响, 因而需要折衷选择材料的参数值, 以取得最佳的探测性能 [3]。所以, 要制备性能优良的红外探测器, 组分均匀、结构完整的优质材料是必不可少的前提。除材料

以外, 探测器性能还受器件本身的诸多因素制约, 这些因素与器件的制备过程直接相关。

#### 4 位错的研究方法

对位错这样的微观的缺陷观察和研究主要是通过以下几种方法:

##### 4.1 腐蚀和显微观察

这种方法是根据位错处原子排列“错乱”结合较弱, 加上四周的弹性形变使晶格能量较高的特点, 对抛光的晶体表面化学腐蚀, 采用适当的腐蚀液, 能够把位错在表面露头的地方, 腐蚀成特定形状的腐蚀坑, 这样也就是把位错在晶体表面显示出来了, 可以直接在显微镜下观察。通过计数还可以求算平均单位表面上的位错的数目, 即位错密度 (EPD)。不同的位错腐蚀液, 可得到不同的 EPD。目前普遍采用的腐蚀液是:  $\text{HNO}_3:\text{HF}$ : 乳酸 (Everson 腐蚀液) 和

$\text{HNO}_3:\text{KCrO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$  标准位错腐蚀液 (Chen 腐蚀液), 再经 0.5% 溴甲醇腐蚀, 甲醇漂洗<sup>[11]</sup>。还有其他种类的腐蚀液。腐蚀进行观察的这种方法简单易行, 经常被使用<sup>[12]</sup>。表 1 是用于 HgCdTe 的各种腐蚀溶液。

##### 4.2 X 射线形貌术

这是在制造器件的工艺过程中研究位错的重要方法。X 射线通过晶体时, 可以发生偏离原来方向的 X 射线, 这种现象称为 X 射线的衍射。这种衍射是当角度正好合适的时候, 入射的 X 射线在一系列平行晶面上反射, 而相互加强的结果。形貌照相的原理, 就是利用这种衍射在晶格有畸变的区域大为增强的特点, 来显示出晶体中的缺陷。

由于 HgCdTe 材料的力学性能很差, 器件工艺常会在分割后的 HgCdTe 晶片中引入缺陷, 进而恶化材料的电学参数和影响多元器件的性

表 1 用于 HgCdTe 的腐蚀液

名称	成分	注解
Polisar 2 腐蚀液	硝酸 60cm <sup>3</sup> 盐酸 25cm <sup>3</sup> 水 90cm <sup>3</sup> 乙酸 5cm <sup>3</sup> 溴 0.1cm <sup>3</sup>	在 20 °C 腐蚀 20s 到 3min
改进的 Polisar 2 腐蚀液	硝酸 60cm <sup>3</sup> 盐酸 25cm <sup>3</sup> 水 180cm <sup>3</sup> 乙酸 5cm <sup>3</sup> 溴 0.1cm <sup>3</sup>	在 45 °C 腐蚀 30 ~ 60s 到 3min
Schaake 腐蚀液	Chromium oxide solution 5M 60cm <sup>3</sup> 盐酸 25cm <sup>3</sup> 水 90cm <sup>3</sup>	腐蚀所有晶向 (111)A 15s (111)B 60s
Nakagawa 腐蚀液	水 20cm <sup>3</sup> 盐酸 20cm <sup>3</sup> 过氧化氢 30cm <sup>3</sup>	仅腐蚀 (111)A
Chen 腐蚀液	水 20cm <sup>3</sup> 盐酸 (37%) 10cm <sup>3</sup> 硝酸 (70%) 20cm <sup>3</sup> 重铬酸钾 8g	根据晶向腐蚀 20s 到 6min
Hahnert & Schenk 腐蚀液	氢氟酸 1 part 铅酸 (50%CrO <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O) 1 part 盐酸 1 part	根据组分 x 确定溶液的 稀释程度

能。用 X 射线形貌术, 对 HgCdTe 晶片进行缺陷的无损检测有助于发现器件工艺中的问题, 并为改进器件工艺和筛选材料提供依据<sup>[13]</sup>。

## 5 位错的电学特性

位错可分为螺位错和刃位错, 刃位错具有多余半平面, 因而造成断裂的价键, 即形成悬空键。螺位错仅是晶格的扭曲, 而不产生断裂的键。螺位错向外生长形成的“螺旋台阶”, 实际上可看成为最小能量的生长阶梯。因此在这种情况下, 没有必要形成二维的晶核。因为“螺旋台阶”提供了分子(原子)生长阶梯, 在它上面最低能量生长可以持续进行。

在螺位错中, 应变是很纯的切应变。因为螺位错的能量比刃位错小  $(1-\nu)$  倍, ( $\nu$  是泊松比), 螺位错不具有施主或受主能级和最终建立空间电荷的断裂键的特征。

而刃位错造成断裂键, 直接影响了晶体中电子的行为。刃位错的出现造成了可观的晶格扰动, 主要表现在:

1. 围绕这一种刃位错有局部应力场。
2. 具有这种特殊电荷和能级的断裂键或悬空键。
3. 直接形成的围绕此位错的空间电荷区域代替了空间电荷管道。

刃位错的另一影响是在多余的半平面的末端提供了断裂的价键, 此即悬空键。这种不饱和键容易俘获电子, 在它周围形成空间电荷区, 影响器件的性能<sup>[14]</sup>。

## 6 位错对 HgCdTe 器件性能的影响

HgCdTe 中的位错对红外探测器的性能有十分大的影响。理论和实验表明: 贯穿 pn 结的位错的存在导致隧道电流的增大, 位错作为少子复合中心具有电学活性, 通过 Shockley-Read-Hall(SRH) 复合作用使材料的低温少子寿命大大缩短, 降低器件零偏结阻抗 ( $R_0A$ )、增大器件的噪声, 严重影响探测器的性能。

### 6.1 位错影响少子寿命 $\tau$

HgCdTe 器件的  $R_0$  与  $\tau$  线性相关, 而且其噪声也与  $\tau$  密切相关, 因此探测器性能的好坏与  $\tau$  的大小有直接的关系。

在用 MBE 生长的 HgCdTe 器件中, 当位错密度超过  $5 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$  时, 少数载流子寿命与位错密度成反比,  $\tau \sim (\text{EPD})^{-3/4}$ , 但当位错密度小于  $5 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$  时, 少子寿命与位错密度无关<sup>[15,16]</sup>, 如图 1 所示。

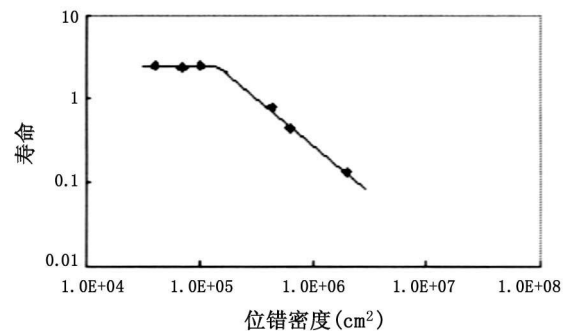


图 1 少子寿命与位错密度的关系

用 LPE 生长的 HgCdTe 器件<sup>[16,17]</sup> 和体材料生长的器件<sup>[3]</sup> 都表现出相似的性质。只是因为不同器件的 Cd 的含量不同, 而使其位错密度的限度和少子寿命随位错密度的上升而下降的斜率不同<sup>[15]</sup>。说明由晶格失配产生的位错成为 Shockley-Read 复合中心, 而导致  $\tau \sim (\text{EPD})^{-3/4}$  以及  $\tau$  在位错密度小于某个值时保持不变<sup>[15]</sup>。

### 6.2 位错影响 $R_0A$

对光伏 LWIR 器件来说, 当位错密度较大时,  $R_0A$  随位错密度的平方而减少。在温度下降时, 在低的 EPD 下,  $R_0A$  与 EPD 的平方关系更加明显。温度越低, 位错对  $R_0A$  的影响越明显<sup>[5,6,18]</sup>。如图 2 所示。

在低温下,  $R_0A$  主要受隧道电流和复合产生电流的限制, 随着温度的上升,  $R_0A$  主要受扩散电流的限制<sup>[5]</sup>。

在同样 EPD 下, 温度上升时,  $R_0A$  反而下降。当温度下降时, 位错的增大使  $R_0A$  下降得更快<sup>[5,18]</sup>。Johnson 等人<sup>[5]</sup> 测量了低温 78K 工作的器件的  $R_0A$  与 EPD 的关系, 他们观察到, 当位错密度 EPD 在  $10^5 \text{cm}^{-2}$  和  $10^6 \text{cm}^{-2}$  之间时,  $R_0A$  几乎是常数, 不随 EPD 的变化而变化, 只有

在EPD上升到 $10^6\text{cm}^{-2}$ 时,  $R_0A$ 才随EPD的上升而下降<sup>[5]</sup>。在更低的温度下,  $R_0A$ 随着EPD的上升立即表现出变化。研究表明, 高质量的材料(低位错)制造的高性能的LWIR探测器的的工作温度应该控制在78K以下<sup>[16]</sup>。

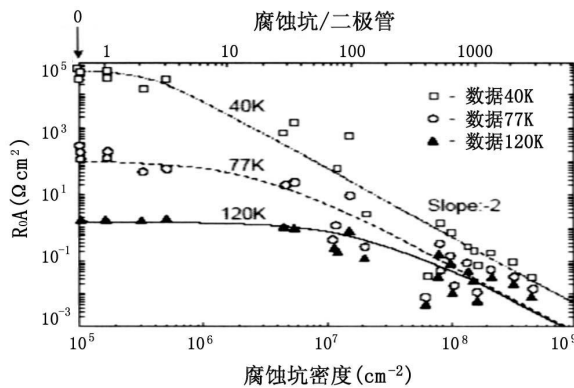


图2  $R_0A$  与腐蚀坑密度的关系

在不同EPD下, LWIR器件的I-V特性与温度的关系只是稍有不同, 说明在高温下, 所有二极管都受扩散电流的限制, 因此可以说漏电流的扩散电流部分受位错的影响并不明显<sup>[5]</sup>, 扩散电流大约随 $n_i^{-2}$ 变化。在低温下, 受复合产生电流的限制, 低位错的二极管的电流随 $n_i^{-1}$ 变化, 其斜率与 $E_g/2$ 成正比, 而高EPD的二极管的相对斜率与 $E_g/4$ 成正比, 其机理还待研究。体材料MWIR二极管<sup>[16]</sup>也有相似的性质<sup>[5]</sup>。

Johnson等人<sup>[5]</sup>还设想了一种模型来解释 $R_0A$ 随位错密度的变化。他的模型中有两种位错, 独立位错和相互作用的位错群。他的模型很好地解释了 $R_0A$ 随温度的变化, 但是没有很好地阐明光学性质: 量子效率和光谱响应的变化<sup>[5]</sup>。在其它的一些模型中, Jowikowski和Rogaski<sup>[19]</sup>把位错定义为具有一定表面复合速率的圆柱区域, 位错的半径和表面复合速率都由实验得到。Vishnu Gopak和Sudha Gupta<sup>[20]</sup>承袭了Jowikowski和Rogaski的模型, 且认为只有一种独立位错, 即位错不相互影响。在位错密度小于 $10^7\text{cm}^{-2}$ 时, 他们所设想的模型与实验数据相差无几, 但在位错密度大于 $10^7\text{cm}^{-2}$ 时, 有较大的偏差, Vishnu Gopak和Sudha Gupta认为这

种现象的可能原因有两种: 一是由于他们在建立模型时没有考虑位错的相互影响; 而是因为高位错密度的区域, 少量位错的合并导致位错圆柱体具有更大的表面积<sup>[20]</sup>。

### 6.3 位错对电学参数的影响

位错对HgCdTe的MIS结构的暗电流、电子迁移率和施主密度都有影响<sup>[21,22]</sup>。作为掺杂剂的杂质, 并不在高位错密度的区域聚集, 因此施主密度和位错密度的关系并不明显<sup>[22]</sup>, 只是使施主密度有微小的上升<sup>[21]</sup>。相反, MIS暗电流受到位错密度的影响就很明显, MIS暗电流几乎和位错密度成线性变化<sup>[21,22]</sup>, 其斜率大约是0.8<sup>[21]</sup>。在位错密度超过 $10^7\text{cm}^{-2}$ 时, 暗电流达到饱和, 不再随位错密度而变化<sup>[22]</sup>。文献22对这个现象作了进一步的解释, 位错附近的大的隧道电流导致能带区域性的弯曲并增加了空位的密度, 当邻近的位错产生的空位向侧面扩散并开始重叠时, 每个位错的隧道电流开始达到饱和<sup>[22]</sup>。

因位错密度的不同而变化比较显著的是电子迁移率, 在77K测得的样品的迁移率几乎下降了一个数量级。机械变形导致位错密度上升, 从而增加了电子的散射中心, 因此使电子迁移率下降较多<sup>[21]</sup>。

### 6.4 位错对光谱响应、量子效率和1/f噪声的影响

不像前述的位错对 $R_0A$ 的影响, 光谱响应对位错的变化并不是很敏感, 直到EPD达到比较高的数量级 $10^7\text{cm}^{-2}$ 时, 才开始有比较明显的变化。而且短波的光谱响应比长波光谱对位错的变化更敏感。在低温下, 高EPD的二极管的短波响应值比长波的低, 这可能是由于位错增加了Shockley-Read复合, 导致少子扩散长度随温度的降低而下降。相比较, EPD低的二极管的短波响应值并不减少<sup>[5]</sup>。

量子效率与光谱响应相似, 在位错密度达到 $10^7\text{cm}^{-2}$ 以前, 变化并不明显。在位错超过 $10^7\text{cm}^{-2}$ 时才有较大的下降<sup>[5]</sup>。文献[5]还设想了一个模型来解释其变化。在Vishnu Gopak和

Sudha Gupta [20] 设想的模型中, 位错对量子效率的影响是通过位错对光致少子的扩散长度的影响来实现的。在整个波长范围内, 量子效率随位错密度的上升而下降。光谱响应受位错的影响也和量子效率类似, 不同的是在截止波长附近, 光谱响应随位错密度的上升有小量的上升 [20]。

在短波区域, 量子效率和光谱响应因温度的上升而下降得很快, 由于在被照射的光电二极管中的光吸收发生在外延层和衬底的界面, 远离结区, 因而位错密度的增加导致载流子的有效扩散长度减少, 在长波区域, 光在结附近被吸收, 从而扩散长度受位错的影响不明显 [20]。

1/f 噪声随位错密度线性变化。位错并不是 1/f 噪声的主要来源, 但是位错通过它们对漏电流的影响而使 1/f 噪声有所增加 [5]。

## 7 位错的产生和消除

在材料中发生位错的原因有很多种, 但是, 在大多数情况下, 发生位错的主要原因往往是器件加工时和材料生长时材料内的应力引起材料发生范性形变。晶体中的范性形变实际上是晶面与晶面之间发生了滑移, 从而使得发生滑移和未发生滑移区域的边界上的原子不能严格按晶格排列, 即产生位错。沿着位错线, 上下原子的数目是失配的, 这里的原子不能按照简单立方晶格的形式排列, 而构成一种“线缺陷”。位错处晶格的失配, 在四周产生了一定的弹性形变, 从而影响晶体的电学和力学性质。

有一系列方法可用来生长 HgCdTe 材料。如体材料法 (固态重结晶法 SSR, 浇铸重结晶法 CRA, 移动加热器法 THM, Bridgman 法), 液相外延法 (不同的衬底上从 TE 熔体和 Hg 熔体中生长 LPE), 气相外延法 (MBE 和 MOCVD 法)。采用不同的方法和不同退火工艺产生的位错也不一样。

在 SSR HgCdTe 中, 由于迅速冷却, 生成有枝状结晶的晶粒和在枝状结晶上的失配位错。

在固相点附近重结晶退火过程中, 这些失配位错重新排列并形成亚晶, 而边界的液体膜晶粒能消除这些亚结构。THM 和 Bridgman 晶体只能直接从液相生长, 在生长界面没有枝状晶体生成。但是有多角化现象和亚晶生成。在高温退火的过程中, 通过位错的攀移和位错的消除来减少位错。可选择的低温 DRA 工艺能减少表面和体晶的位错密度。这些晶片在以 270 °C 退火之前先在 Hg 气中以 400 °C 退火。位错密度从表面的  $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$  逐步下降, 在 125 μm 左右位错为  $2 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ , 然后在 Hg 的非扩散深度骤然上升到  $2 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ , 400 °C 的更长时间的退火会生产低位错的材料 [23]。

LPE 方法一般是在不同的衬底上从 Te 熔体和 Hg 熔体中生长 HgCdTe 材料, Cd 或 CdZnTe 是最常用的衬底, 因为它们与 HgCdTe 的晶格失配最小。典型的衬底位错密度在  $10^4 \text{cm}^{-2} \sim 10^6 \text{cm}^{-2}$  之间, 而且研究表明 [24,25], HgCdTe 外延层中的线位错由衬底中的位错密度决定。为了得到好的 HgCdTe 外延层, 不仅仅需要在晶格匹配的衬底上生长, 衬底的低位错也很重要 [25]。HgCdTe 和衬底之间的晶格常数的失配产生了失配位错带, 它能在相互扩散的 CdTe 和 HgCdTe 界面附近的组分渐变的区域内运动。使这个区域的位错密度比组分固定的区域的位错密度高两个数量级。选择晶格匹配的衬底和合适的退火工艺能大大降低位错密度。

MBE 和 MOCVD HgCdTe 薄膜能直接通过合金的方法生长或者通过在不同衬底, 包括 CdTe、CdZnTe、GaAs、Si 和 sapphire (蓝宝石), 多层过程的相互扩散的方法生长。常在非 II-IV 化合物缓冲层沉积一层或者多层缓冲层, 来降低位错, 提高性能 [26]。衬底中的位错导致了 HgCdTe 薄膜中的位错的产生。CdTe/CdZnTe 应变层超晶格能被用来降低外层中的位错 [27-29]。当运用两层应变层超晶格时, 表面层位错密度降低到原来的 1/2.5, 用四层时, 降低到原来的 1/4.3 [28]。退火同样也能减少薄膜的位错密度 [30]。

HgCdTe 中不同的位错密度来自于晶体生长和随后的工艺。一些用体材料生长的方法生长的材料具有大范围的位错亚晶界。然而外延法能长出没有亚结构的材料。因为 HgCdTe 和 CdTe 都很容易变形,尤其在高温下,由于与石英舟相接的应力能导致局域化的位错增殖滑动<sup>[31]</sup>。滑动发生可能是由于材料快速退火中的热应力。外延薄膜的位错密度由 CdZnTe 和 CdTe 衬底中的位错决定<sup>[25]</sup>。但生长后的退火能降低材料的位错密度。退火对温度的影响可以解释为在热应力场作用下位错热运动所导致的湮灭、交和过程。特别在 HgCdTe 中由于汞空位的大量存在,位错和汞空位相互作用降低了位错的热运动激活能。退火对改善晶体质量有明显的效果,是一种降低 HgCdTe 位错的有效的、简便的方法<sup>[11]</sup>。

但是对器件性能影响最大的,还是那些在工艺过程中诱生的位错<sup>[32]</sup>。工艺诱生位错的数量远远超过原生位错的数量。HgCdTe 是一种很脆的材料,在给定的温度下,它能承受的外应力几乎比 Si 小三个数量级,更容易在器件成型工艺中导致工艺诱生的位错的产生。其中位错的产生主要有两个:

1. 内应力所引起的失配位错。这种位错往往是由于掺入大量的杂质,引起晶格失配,导致内应力的产生而引入位错。此外,在外延层中,由于衬底和外延层的掺杂种类和密度的不同,衬底和外延层的晶格常数之间有所失配,引起外延片发生弯曲,当弯曲到一定程度时也将出现失配位错。目前普遍采用与 HgCdTe 晶格匹配的 CdZnTe 单晶作为外延生长的衬底,其位错密度小于  $5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ <sup>[20]</sup>,但是由于 CdZnTe 单晶制备的困难导致 HgCdTe 材料价格昂贵;而且由于高质量、大面积的 CdZnTe 单晶难以获得以及它与信号处理电路混成的热失配等问题,在 Si 衬底外延生长 HgCdTe 薄膜是目前的发展方向<sup>[33]</sup>。在硅衬底上外延生长的 HgCdTe,由于 HgCdTe 和 Si 之间的失配位错高达  $10^7 \text{cm}^{-2}$ <sup>[34]</sup>,影响了器件的性能和成品率。为了减少位错,

常在 HgCdTe 和 Si 衬底之间加上 CdZnTe/CdTe 超晶格应力层<sup>[28]</sup>,或者在生长后进行热退火<sup>[16,30]</sup>。

2. 外应力所引起的位错。由于切,磨,抛所留下的损伤,表面容易产生位错,尤其是在片子的边缘,其位错密度更高。工艺引入位错归因于 HgCdTe 薄膜上应力的不连续性。薄膜边缘的应力场一般要比远离边缘的应力场大一个数量级<sup>[12]</sup>。

## 8 结束语

在过去的 20 多年里, HgCdTe 材料和器件的制备技术取得了巨大的进步。由于 HgCdTe 器件的性能的理论极限还没有达到。通过不断减少材料的缺陷,包括生长和加工造成的缺陷,可以提高 HgCdTe 器件的性能。本课题的目的就是通过研究位错对器件性能的影响,对 HgCdTe 材料的生长和器件的加工提出一些可行的改善器件性能和成品率的方法。

## 参考文献

- [1] 汤定元, 糜正瑜. 光电器件概论. 上海科学技术文献出版社.
- [2] M. B. Reine. Proceeding of SPIE Vol.4028(2000), p320.
- [3] R. K. 威拉德森, A. C. 比尔. 红外探测器. 国防工业出版社, 1973.
- [4] R. G. Pratt, J. Hewett. J. Appl. Phys. 54(9) (1983), p5152.
- [5] S. M. Johnson, D. R. Rhiger, J. Rosbeck, et al. B10(1992), p1499.
- [6] Antoni. Rogalski Progress in Quantum Electronics, 27(2003).
- [7] S. T. Hsu. Solid-State Electron, B(1970), p1451.
- [8] J. Bajaj, et al. G. M. Williams, N. H. Sheng, J. Vac. Sci. Technol, A3(1985), p192.
- [9] J. Bajaj, et al. E. R. Blazejewski, G. M. Williams, J. Vac. Sci. Technol, B10(1992), p1617.
- [10] T. G. M Kleinpenning. J. Vac. Sci. Technol, A3(1985), p176.
- [11] 于梅芳, 杨建荣 等. 半导体学报, Vol.20, No.5 (1999), p378.
- [12] 谢孟贤, 刘国维. 半导体工艺原理. 国防工业出版社.

[13] 蔡毅 等. 红外技术, Vol.15, No.6, P5.  
 [14] 黄昆, 韩汝琦. 半导体物理基础. 科学出版社, 1979.  
 [15] S. H. Shin, J. M. Arias, M. Zandian, et al. Appl. Phys. Lett, 59(21)(1991), p2718.  
 [16] S. H. Shin, J. M. Arias, D. D. Edwall, et al. J. Vac. Sci. Technol, B10(1992), p1492.  
 [17] J. Bajaj, S. H. Shin, J. G. Pasko, et al. J. Vac. Sci. Technol, A1(1983), p1749.  
 [18] N. N. Zheleva, D. B. Kushev. Infrared Physics, Vol.21, p55.  
 [19] K. Jowikowski, A. Rogalski. J. Electron. Mater. Vol.29(2000), p736.  
 [20] Vishnu. Gopal, Sudha. Gupta. IEEE. Trans. Elect. Devices, Vol.50(2003), p1220.  
 [21] J. H. Tregilgas, T. L. Polgreen, M. C. Chen, J. Cryst. Growth, 86(1988), p466.  
 [22] R. S. List. J. Vac. Sci. Technol, B10(1992), p1651.  
 [23] R. Trboulet, T. Nguyen Duy, A. Durand. J. Vac. Sci. Technol, A3(1985), p95.  
 [24] D. Chandra, J. H. Tregilgas, M. W. Goodwin. J. Vac. Sci. Technol, B9(1991), p1851.  
 [25] H. Takigawa, M. Yoshikawa, T. Maekawa. J. Cryst. Growth, 86(1988), p446.  
 [26] O. Ueda, K. Maruyama, A. Hobbs, et al. J. Cryst. Growth, Vol.117(1992), p266.  
 [27] I. Sugiyama, A. Hobbs, O. Ueda, et al. Appl. Phys. Lett, 58(24)(1991), p2755.  
 [28] I. Sugiyama, A. Hobbs, T. Saito, et al. J. Cryst. Growth, Vol.117(1992), p161.  
 [29] I. Sugiyama, A. Hobbs, O. Ueda, et al. J. Cryst. Growth, 117(1992), p161.  
 [30] J. M. Arias, M. Zandian, S. H. Shin, et al. J. Vac. Sci. Technol, B9(1991), p1646.  
 [31] Peter. Capper. Properties of narrow gap Cadmium-Based Compounds, Published by:INSPEC.  
 [32] G. P. Cherepanov, A. Richter, V. E. Verijenko, et al. J. Appl. Phys, 78(10)(1995), p6249.  
 [33] T. J. Delyon, R. D. Rajavel, J. E. Jensen, et al. J. Electro. Mater, Vol.25(1996), p1341.  
 [34] T. Okamoto, T. Saito, S. Murakami, et al. Appl. Phys. Lett, 69(5)(1996), p667.

国外专利介绍

红外传感器在轨定标验证装置与方法

美国专利 US2005/0051670

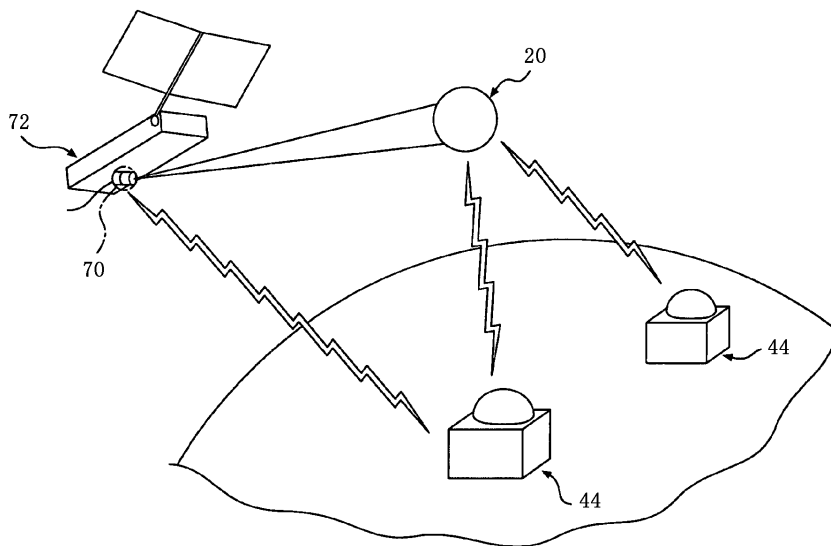
(2005年3月10日公布)

红外传感器是设计用来探测和测量由远处物体发

射的热辐射的。为了准确测定远处物体的红外特性，必须确定与一种红外传感器一起使用的定标系数值，而这种定标系数值的准确性是需要通过验证的。

本发明提供一种用于对红外传感器的定标进行验证的装置。该装置可以对与红外传感器的每一个像元有关联的定标系数进行在轨验证。

本专利说明书共12页，其中有3张插图。



高 编译