

PC 型 HgCdTe 探测器的记忆效应*

陆启生 蒋志平[^] 刘泽金 舒柏宏
(国防科技大学应用物理系, 湖南, 长沙, 410073)

TN215

摘要 通过测量 PC 型 HgCdTe 探测器的动态响应, 发现在工作温度(77K)下, 激光辐照后, 探测器的电导率产生改变(记忆), 电阻变化率提高, 这种现象在工作温度下能长期保持. 当升温(至室温)后, 记忆功能消失. 本文对这种现象进行了多方面的实验研究和机理的分析.

关键词 PC 型 HgCdTe 探测器, 记忆效应, 动态响应, 退火.

引言

PC 型 HgCdTe 探测器, 记忆效应, 动态响应, 退火.
汞镉碲探测器 红外探测

PC 型 HgCdTe 探测器是一种光导型光电探测器, 可以通过改变 HgCdTe 材料组份的配比来改变其光谱响应(如工作在 $8\sim 12\mu\text{m}$ 或 $3\sim 5\mu\text{m}$). 这种器件在低温下有很高的响应度和探测率, 故是一种极为重要的红外探测器. 用脉冲 YAG 激光照射 PC 型 HgCdTe 探测器, 监测器件电阻的变化. 当激光能量低于破坏阈值时, 不能对器件造成永久性破坏, 但是每次照射都能使电阻有所增大(电导率下降), 这种变化有累积效应, 并在激光停照后能长时间保持. 我们曾认为这是一种轻微的损伤, 多次累积的效果将器件的性能下降, 但实验表明, 当器件从低温(77K)工作状态上升至室温, 再下降到液氮温度时, 激光照射引起的电导率的变化(称为记忆)消失(称为退火). 有意思的是当 PC 型 HgCdTe 探测器经强光照射电导率下降后, 对信号光的响应不是减小而是增大了.

1 实验及结果

实验装置很简单, 从激光器输出的激光束经透镜聚焦后照射 PC 型 HgCdTe 探测器, 用万用表直接监测探测器的电阻, 或者通过一个简单的分压电路使电阻转换为电压用示波器监视, 或由 A/D 板输入计算机. 激光为 YAG 激光($1.056\mu\text{m}$)或 He-Ne 激光($0.6328\mu\text{m}$). 信号光源可以是红外光源(电烙铁, YAG 激光等)或可见光源(因为探测器对可见光也有响应), 例如 He-Ne 激光可作为信号光对信号光进行强度调制(如斩波、快门)来测量探测器对光信号的交流响应, 实验如下:

(1) 在 77K 温度下, 用 0.5mW He-Ne 激光辐照 45min, 测量其电阻随时间的变化(见图 1). 在 $t=0$ 时, 加上激光, 探测器电阻从 221Ω 下降至 214Ω . 45 min 后, 光照停止, 探测器电阻从 225Ω 上升至 237Ω . 在相同的激光强度下, 电阻变化幅度后者大于前者, 即光照后响应增加了. 在 45 min 辐照期间电阻由 214Ω 增加到 225Ω , 称为记忆, 这里记忆光源和信号光

* 国家 863 高技术基金资助项目
稿件收到日期 1997-01-15, 修改稿收到日期 1997-06-02

源都是同一个 He-Ne 激光。

(2) 在 77K 温度下,用 0.5mW He-Ne 激光作为记忆光源,用电烙铁作红外信号光源, He-Ne 激光始终辐照着,红外光用快门遮挡,在间隔为 43min 的二个时刻,将快门短暂地打开,测量探测器对红外光的响应,实验结果如图 2 所示.图 2 中 $t=0$ 和 43 min 二条竖线表示探测器对电烙铁辐射的响应幅度分别为 0.6Ω 和 0.9Ω .

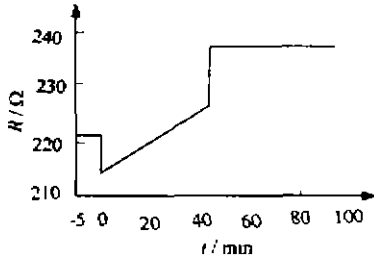


图 1 He-Ne 激光辐照下 PC 型 HgCdTe 电阻值随时间的变化
Fig. 1 The time dependence of resistance of a PC type HgCdTe detector under irradiation of 0.5mW He-Ne laser

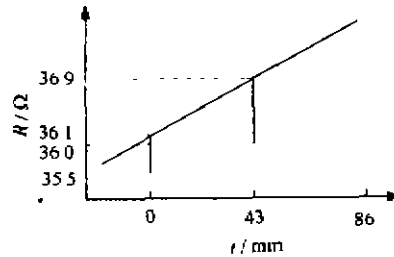


图 2 红外光源对 PC 型 HgCdTe 探测器电阻的影响
Fig. 2 Influence of infrared source on the resistance of a PC type HgCdTe detector

(3) 在 77K 温度下,用 1.3W 连续波 YAG 激光辐照 40min,测量其电阻值随时间的变化(见图 3)。这里记忆光源与信号光源使用同一个 YAG 连续激光器。

(4) 利用变温杜瓦瓶改变 PC 型 HgCdTe 探测器的工作温度,测量其电阻变化率,实验时 0.5mW He-Ne 激光始终照着,分别在 81.0K, 165.5K, 195.9K 三种温度下测量探测器对 He-Ne 激光的交流响应,测量响应时用快门将 He-Ne 激光短暂遮挡,这个实验中红外光源不用,在第一次测量时已光照 40min,结果如表 1 所示,由表 1 可见,温度越高,电阻变化率越低。

(5) 测量了 PC 型 HgCdTe 探测器的退火温度,激光每辐照探测器一次,电导率就降低一次,而且在工作温度下不会恢复,这种现象称为

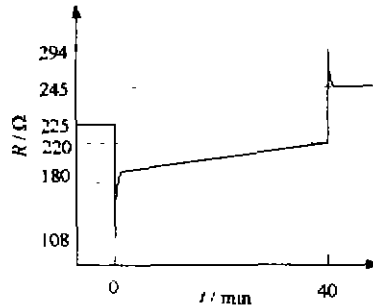


图 3 YAG 激光辐照下的 PC 型 HgCdTe 电阻值随时间的变化
Fig. 3 The time dependence of a PC type HgCdTe detector resistance under irradiation of YAG laser

表 1 不同温度下 PC 型 HgCdTe 探测器在 0.5mW He-Ne 激光辐照下电阻值的变化
Table 1 The resistance variation of a PC type HgCdTe detector at different temperature when irradiated by 0.5mW He-Ne laser

工作温度/K	短时遮光时的电阻值/ Ω	光照时电阻值/ Ω
81.0	52.5	50.0
165.5	31.8	31.0
195.9	23.3	23.3

记忆,利用杜瓦瓶反复多次做了升温和降温实验,一直升到 196K(-77℃),接着再降温到工作温度(77~80K),发现记忆仍然保持着,在-77℃至室温之间没有做退火实验,但是每当升温至室温后记忆才消失.所以,PC 型 HgCdTe 探测器的记忆退火温度在 196~300K 之间.

2 讨论

(1) PC 型 HgCdTe 探测器具有记忆功能.类似的记忆现象早在 70 年代末期人们已在锗、硅、硒等材料中发现,他们提出了种种物理模型,试图解释该现象.如:(a) 缺陷的退杂化模型^[1~2],这种模型认为晶体中缺陷处电子是局域的,能级处在带隙内,最初处于 sp^3 杂化态.在光作用下激发一个电子到非局域态,使缺陷周围的一个悬空键原子处于 $(sp^2)^+$ 离化态,在带隙内留下一个空位.缺陷处电子被电离,改变了缺陷周围原子之间的相互作用,使得原子之间产生相对位移,当一个位移了的离化原子与一个导电电子复合后处于一新的状态,可称为亚稳态,它不是最初的 sp^3 杂化态,而是象 sp^2-P_s 的新杂化态,使电导率产生改变(记忆),要恢复到原来的状态必须同时使位移的原子恢复到原来的位置,它在较高的温度下才能实现(退火).(b) 双势阱模型^[3],这种模型认为组成晶体的原子之间键的状态在光的作用下产生改变,例如由成键态变到反键态,这两种键态的长度是不相同的,由于光激发使晶体点阵之间的距离发生改变、排列的规则性退化,到达一个亚稳态(记忆成功).当温度升高以后,亚稳态结构遭到破坏(退火),再降温时晶格又能恢复到原来的最稳态.(c) 荷电缺陷中心模型^[4].该模型认为,当一个光子激发一个电子从基态跃迁到激发态后可能产生两种向下跃迁:一是通过复合回到原来的基态;另外回到一个亚稳态,形成一个带有正负电荷的悬空键对,这种亚稳态的形成能低于它们之间的库仑相互作用能,所以能保持相对的稳定性,与上面一样要恢复到原来的状态只有通过加热.

(2) 从实验结果可见,光照一段时间后的探测器除了电导率下降外,其电阻变化率增加了(见图 1 与图 2),即单位入射光功率产生的信号幅度增加了.文献[1]~[4]说明了光激发影响了晶格振动,增加了电子与声子的碰撞几率因而电导率下降了,但没有提及电阻变化率的提高.为了与上述三个能解释电导率下降的模型相一致,我们认为电阻变化率的增加是在光照下,除了原来的基态粒子按原来的跃迁几率激发外,那些处于亚稳态的电子能以更高的几率被激发,使光生电导幅度增加.由于新的光照不能使晶格结构变好,只能变得更坏,当光照停止后处于亚稳态的电子更多了,所以每光照一次,电导下降一次,电阻变化率增加一次.

(3) 由表 1 可见温度越高,探测器的电阻变化率越低,这主要是由于热激发使得载流子浓度大大增加,到一定温度下达到饱和,高温下噪声也增加,使光信号的响应能力下降,这是常见的物理现象.

(4) 在实验中我们用了 0.5mW 的 He-Ne 激光和 1.3W 的 YAG 激光,结果分别由图 1 和图 3 表示.其规律是相似的,但我们看到了明显的不同,在激光打开和关闭时在图 3 中有两个响应尖峰,光照后的变化率低于光照前的变化率,而图 1 中光照后的变化率却高于光照前的变化率.究其原因,完全是由于激光产生的热效应造成.探测器的电导率与温度有关,电导率 $\sigma = en\mu$, e 为电子电荷, n 为载流子浓度,低温时很低,随温度变化很小,而迁移率 $\mu \propto T^{-2.2}$,在低温时,迁移率随温度变化对电导率的影响起主要作用,在高温时随着温度提高载流子浓度增长的速度超过了迁移率下降速度,中间拐点约在 115K,即在 $T < 115K$ 时随着温

度上升电导率下降, $T > 115\text{K}$ 时随着温度的上升电导率上升, 在图 3 中 $t=0$ 时激光打开, 附加的光电导使得电导率突然上升, 使电阻下降至 $R=108\Omega$, 光照后温度随着上升, 在 $T < 115\text{K}$ 的范围内, 电导率下降到一个平衡值 ($R=180\Omega$). 随着光照的持续使得电导率进一步下降至 $R=220\Omega$. 这种电导率下降的原因与图 1, 图 2 相同. $t=40\text{min}$ 时激光关闭, 光电导随之消失, 电导率突然下降 (至 $R=294\Omega$), 与图 1 不同的是下降的幅度比激光打开时上升幅度小, 这是因为温升造成的电阻变化率的下降 (见表 1) 超过了由于光记忆效应造成的电阻变化率的增加. 光照停止后温度回落, 电导率又上升, 最后稳定 (至 $R=245\Omega$), 总的使探测器对光照产生了 $\Delta R=20\Omega$ 的记忆.

3 结语

光照 PC 型 HgCdTe 探测器后, 材料晶格振动产生了微小的变化, 这种变化使得探测器的电导率下降, 对光的响应率增加. 噪声的变化没有测量, 目前尚无法估计探测率的变化, 如果探测率能增加的话, 是提高探测器性能的一种简单有效的方法. 这种利用加温退火的记忆功能也是很有价值的, 虽然我们使用的 PC 型 HgCdTe 受工作温度的限制, 看不到商业开发价值, 但总可以找到一种新材料能在室温下工作具有记忆功能又可以通过加温退火, 其商业价值就大了. 例如利用这种材料做成阵列结构, 它可以存储图象资料, 而且通过退火可以反复使用. 另外, 本工作希望能对光导探测器的基础研究和制造工艺等有所启发.

REFERENCES

- 1 Lovoto M, Wautelet M, Laude L D. *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**:160
- 2 Wautelet M, Laude L D, Andrew R. *Phys. Lett.*, 1980, **77A**:274
- 3 Tanaka K J. *Non-Cryst. Solids*, 1980, **35~36**:1023
- 4 Elliott S R. *Phil. Mag. B*, 1979, **39**:349

THE MEMORY EFFECT OF PC TYPE HgCdTe DETECTORS*

LU Qi-Sheng JIANG Zhi-Ping LIU Ze-Jin SHU Bo-Hong

(Department of Applied physics, The University of National Defence Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract By measuring the dynamic response in PC type HgCdTe detectors, it was found that at the operating temperature (77K), after laser irradiation, the conductivity of detectors changes (showing memory), and responsibility is raised up. This effect will remain unchanged for a long term at the operating temperature. When the temperature is raised to room temperature, the memory function disappears. Various measurement results were given on this effect and its mechanism was analyzed in this paper.

Key words PC type HgCdTe detector, memory effect, dynamic response, annealing.

* The project supported by the National High-Technology Foundation of China
Received 1997-01-15, revised 1997-06-02