

HgCdTe 光导探测器的低频噪声

朱惜辰 姚 英

(昆明物理研究所, 云南, 昆明)

摘要—— $\text{Hg}_{0.73}\text{Cd}_{0.27}\text{Te}$ 光电导探测器的低频噪声频谱呈 $1/f$ 关系, 测得不同样品的 S_V/V^2 值随偏置电场变化而变化, 说明陷阱效应引起载流子数起伏是主要的低频噪声源, 只有表面状态较为理想的样品的 S_V/V^2 值才接近 Hooge 关系的计算值, 迁移率起伏上升为主要的 $1/f$ 噪声源. Hooge 关系可以作为区分陷阱效应和迁移率起伏两类噪声源的判别标准.

关键词——HgCdTe 光导探测器, 低频噪声.

1. 引 言

HgCdTe 探测器的低频噪声特别是 $1/f$ 噪声的产生根源及机理分析一直没有完善的理论, 一致肯定的结论是表面和电极状况对 $1/f$ 噪声有很大影响. 早期的 Mcwhorter 模型认为, 时间常数不同的表面态的陷阱作用引起载流子数起伏, 产生与 $1/f$ 成正比的噪声频谱^[1,2]. 1969 年 Hooge 集中了大量实验数据, 得到均匀样品 $1/f$ 噪声的经验公式

$$\frac{S_I(f)}{I^2} = \frac{S_V(f)}{V^2} = \frac{\alpha_H}{fN}, \quad (1)$$

式中 $S_I(f)$ 是噪声电流谱密度, $S_V(f)$ 是噪声电压谱密度, I 和 V 分别是加到样品的电流和电压, f 是测量频率, N 是样品中可动荷电粒子总数, α_H 是常数, 称为 Hooge 参数. Hooge 当时的结果为 2×10^{-3} ^[3,4], 他认为 $1/f$ 噪声由体内效应迁移率起伏引起, 与材料无关. 由 Handel 的相干态噪声理论得到 $\alpha_H = 4.6 \times 10^{-3}$, 十分接近实验值^[5]. 后来的实验发现 α_H 值并非恒定, 不同材料和温度条件下 α_H 不同, 甚至可低至 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ ^[6,7]. 在 Handel 理论上发展的量子 $1/f$ 噪声理论^[8,9] 可计算不同带电粒子碰撞机构的 α_H 值.

人们通常仍用定义的 Hooge 参数 α_H 来衡量 $1/f$ 噪声水平, 并探讨噪声机理. 大量实验和已有 $1/f$ 噪声理论指出^[10]: 如果相同材料、同类结构、不同样品的 α_H 值不同, 则陷阱效应引起的载流子数起伏是主要噪声源. 由于迁移率起伏产生的 $1/f$ 噪声, 对应一定的散

射机构,其固有的 α_H 值随温度变化,因材料不同而不同,但在恒定温度下用同种材料制备的所有样品的 α_H 相同.在生长半导体样品(长度 $L \gg$ 扩散长度)时发现 $\alpha_H \approx 2 \times 10^{-3}$,与材料无关,这与Hooge的结果一致.

本文描述在不同的表面条件下对HgCdTe光导器件进行的噪声测量,并与Hooge关系比较,对所得结果进行了讨论.

2. 实 验

噪声频谱密度用三点法噪声系统测量^[1].该系统可直接得到噪声电压(或电流)谱密度,能消除大部分系统噪声,测量精度较高,对测量仪器要求降低.可测最低噪声电压谱密度 $\sim 1 \times 10^{-19} \text{ V}^2/\text{Hz}$,电流谱密度 $\sim 1 \times 10^{-24} \text{ A}^2/\text{Hz}$,频率范围 $10 \sim 100 \text{ kHz}$.

实验用 $x=0.27$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 样品,经过切磨、抛光、薄片退火、光刻并化学刻蚀成 $1.25 \times 0.25 \text{ mm}^2$ 长条,厚度一般为 $10 \mu\text{m}$,采用刷金电极.先进行电学测量,然后测定噪声,在测量之前先作一次 $V-A$ 特性测试,判断电极特性,然后依次进行 Ar^+ 离子轰击(450 eV , $5 \sim 10 \text{ min}$),溶去光刻胶、腐蚀(乙醇+3%Br, 3s)和阳极氧化.每个处理步骤后进行一次噪声测量,主要测量噪声谱密度在固定频率 30 Hz 时与外电场的关系,测量温度为 77 K .

3. 结果和讨论

对于均匀样品,低频噪声的频谱密度通常为

$$S_v(f) = KV^\beta / f^\gamma, \quad (2)$$

式中 K 、 β 、 γ 为常数,一般有 $\beta=2$, $\gamma=1$.根据式(1)和(2)讨论样品的噪声实验得到以下

结论.

1. 大部分样品在一定的场强范围内有 $1.8 \leq \beta \leq 2.1$ 和 $0.8 \leq \gamma \leq 1.2$,其 $S_v(f)/V^2$ 为常数.图1是样品C8414-38-5在电流 $I=1 \text{ mA}$ 时的噪声频谱曲线.

2. 对N型样品,电场改变时 $S_v(f)/V^2$ 为一平直线,部分样品在高场时有上升趋势(参见图7),而P型样品(或有P型夹杂的N型样品)的 $S_v(f)/V^2$ 值在低场时为常数,当电场超过一定值时明显下降,而且 $S_v(f)/V^2$ 愈小则开始下降的电场愈大(参见图4,5).N型样品经 Ar^+ 离子轰击后噪声 S_v/V^2 增加,去光刻胶后又下降,再经腐蚀,有的样品噪声上升,也有样品噪声下降.它们的变化幅度依赖于在表面离

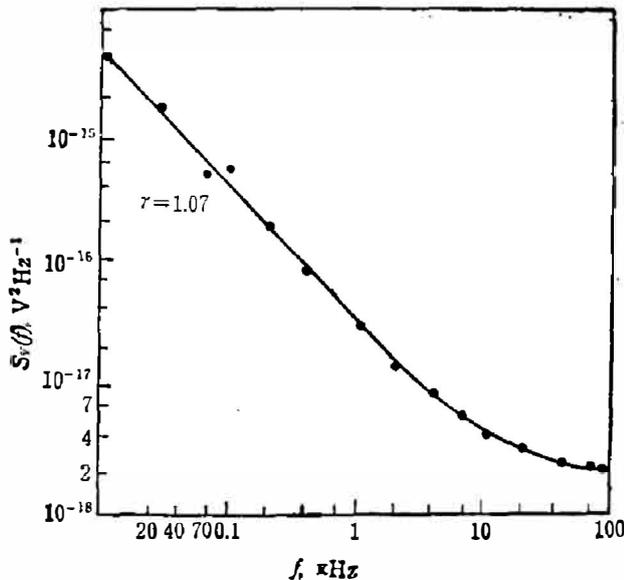


图1 样品C8414-38-5的典型噪声频谱

Fig. 1 The typical noise spectrum of sample C8414-38-5 at $I=1 \text{ mA}$.

子轰击前 S_v/V^2 的测量值与式(1)计算值之间的差别, 差别越大则表面处理引起的 S_v/V^2 变化也愈大, 例如样品 C8414-38-5 和 C8222-14-8(参见图 3、6)。与此相反, 样品 C8220-10-3 最初测量的 S_v/V^2 值与 α_H/fN 计算值(取 $\alpha_H=2 \times 10^{-3}$)相近, 经各种表面处理 S_v/V^2 变化很小(参见图 2)。

3. P 型样品(或 P 型夹杂样品)经离子轰击后 S_v/V^2 值减小, 如样品 401 PC83-3-2(参见图 4)。图 4 中另两个样品的 S_v/V^2 上升, 但样品 C8202-9-1 表面有 N 型反型层, 而 401 PC-83-3-1 经轰击后电学测量呈 N 型。图 5 是样品 C822-14-10 的噪声特性, 其霍尔测量呈 N 型, 但噪声特性类似 P 型样品, 在高电场下 S_v/V^2 下降, 经离子轰击后噪声下降, 去胶后又增加, 腐蚀影响不明显, 经验证, 该样品有夹杂存在。样品的夹杂讨论可参考文献[12]。

4. 不论 N 型或 P 型样品, 经阳极氧化后噪声均大幅度下降(参见图 5、7)。N 型样品 C8221-8-4 经氧化后, S_v/V^2 已接近计算值 α_H/fN , 说明表面情况有改善。

上述结果表明, 样品表面状况对噪声的影响十分大, 大部分样品在工艺处理过程中会产生各种表面态, 引起载流子数的起伏, 这是 $1/f$ 噪声的主要来源。

由于 Ar^+ 离子的轰击, 在光刻胶和样品表面有正电荷积累, 形成表面电场。对于 N 型样品, 该电场使参与导电的载流子-电子趋向表面, 参与表面态的作用使噪声增加。光刻胶被剥离后, 正电荷层消失, 电子向表面集中的趋势减弱, 噪声下降。样品 C8414-38-5(参见图 3)表现尤为明显, 样品 C8220-10-3(参见图 2)虽有类似行为但变化不大, 可知其表面状况较为理想。P 型样品中由带正电荷的空穴导电, 情况正好相反。基于同样理由, 当外电场增强时(考虑到电极焊接在表面两端)表面电位增加, 将空穴推向体内, P 型样品的噪声随电场增强而下降。N 型样品因为迁移率高, 样品电阻小, 电场不易建立, 所以噪声随电场变化不大, 个别样品有上升趋势。

综上所述, 离子轰击与去光刻胶并未影响样品表面结构, 只是引起表面电场的变化而有不同的 $1/f$ 噪声行为。

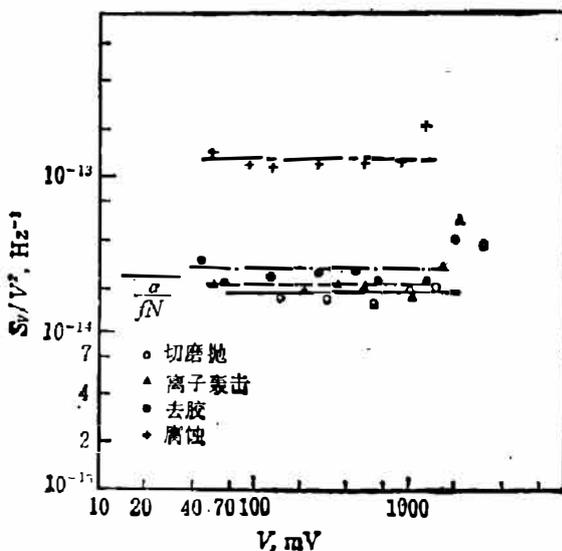


图 2 样品 C8220-10-3 的 S_v/V^2 与偏压 V 的关系

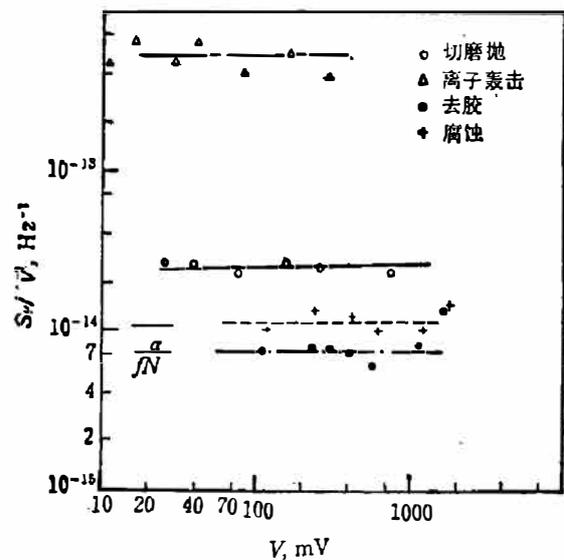


图 3 样品 C8414-38-5 的 S_v/V^2 与偏压 V 的关系

Fig. 2 S_v/V^2 vs bias V for sample C8220-10-3. Fig. 3 S_v/V^2 vs bias V for sample C8414-38-5.

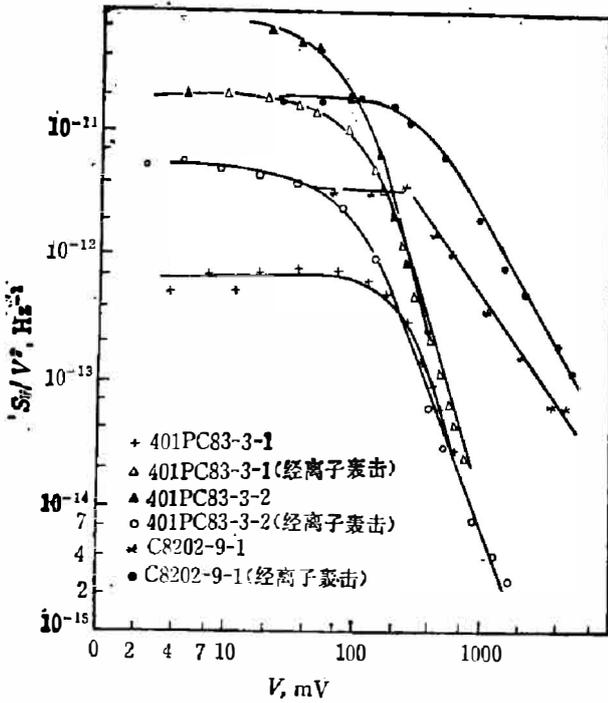


图 4 P 型样品的 S_v/V^2 与 V 的关系
Fig. 4 S_v/V^2 vs bias V for P-type samples

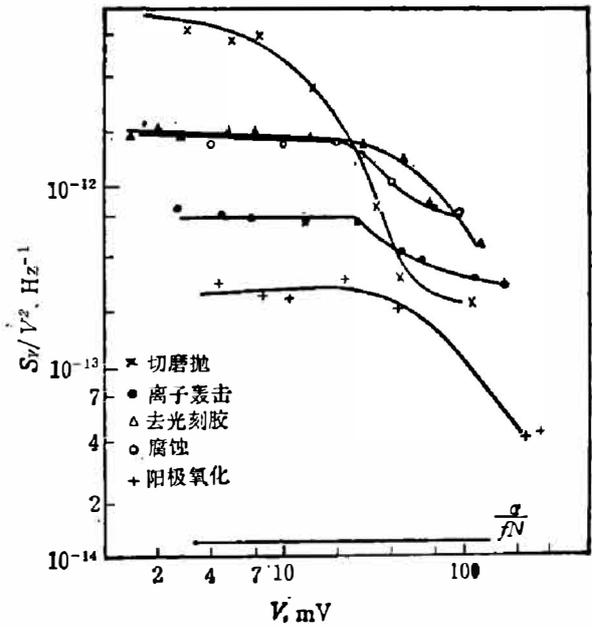


图 5 阳极氧化对 P 型样品 C8222-14-10 噪声的影响

Fig. 5 The effect of anodic oxidation on noise for sample C8222-14-10 (P-type).

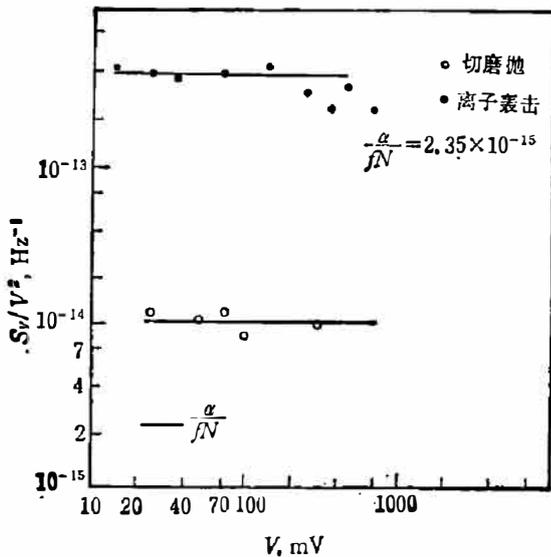


图 6 样品 C8222-14-8 的 S_v/V^2 与 V 的关系
Fig. 6 S_v/V^2 vs bias V for sample C8222-14-8.

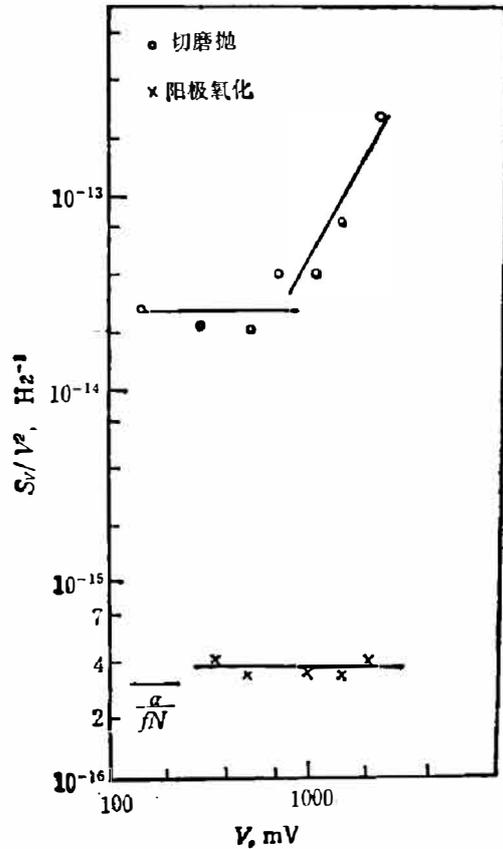


图 7 阳极氧化对 N 型样品 C8221-8-4 噪声的影响

Fig. 7 The effect of anodic oxidation on noise for sampl C8221-8-4 (N-type).

表面腐蚀可以恶化也可改善表面状况。表面态引起的载流子数起伏与体内效应迁移率起伏均产生 $1/f$ 噪声,式(1)可改写为

$$\frac{S_v}{V^2} = \frac{\alpha_s + \alpha_b}{fN}, \quad (3)$$

式中 α_s 和 α_b 分别表示表面和体内效应对 $1/f$ 噪声的贡献, α_b 对于一定的散射机构是定值, 而 α_s 则与表面态有关。只有在理想表面的情况 ($\alpha_s \leq \alpha_b$) 下, Hooge 的经验公式才得以成立。对本工作中测定的多数情况, 表面 $1/f$ 噪声源掩盖了其他噪声源。但也有部分样品 (如 C8414-8-5, C8220-10-3) 以及阳极氧化后的样品 (C8221-8-4) 符合 Hooge 关系, 即 $\alpha_H \approx 2 \times 10^{-3}$, 说明它们的表面态陷阱较少。

4. 结 论

对 $x=0.27$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 样品测得的低频噪声为 $1/f$ 噪声, 不同样品的 Hooge 参数不同表明现有工艺制备的样品的低频噪声主要起源于陷阱效应, 即由于载流子的陷落和释放引起载流子数起伏。同一样品不同表面条件下 α_H 的变化表明表面陷阱是主要噪声源。 S_v/V^2 测定值往往比按 Hooge 关系计算的数值高, 即 $\alpha_H > 2 \times 10^{-3}$, 两者之差不同正好说明表面状态的多样性和复杂性。N 型样品的 S_v/V^2 在测定的电场范围内与偏置无关, 个别样品在高偏置时有上升趋势。P 型样品的 S_v/V^2 在电场超过一定值时随电场增加明显下降, 实际上已不遵循 Hooge 规律, 但 Hooge 关系或 Hooge 参数 α_H 作为表面状况良好与否的判别标准却十分有用。实验表明, 当 S_v/V^2 测定值接近计算值 α_H/fN ($\alpha_H = 2 \times 10^{-3}$) 时, Hooge 关系可以成立, 体内效应迁移率起伏将成为主要噪声源。

致谢——本文测量样品由张景韶提供, 仅致谢意。

参 考 文 献

- [1] Mcwhorter A. L., *Licon Lab. Rept.*, No. 8, 1955.
- [2] Van der Ziel A., *Noise: Sources, Characterization, Measurements*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff NJ., Chap. 6.
- [3] Hooge F. N., *Phys. Lett.*, **A-29** (1969), 139.
- [4] Hooge F. N., *Physica*, **60** (1972), 130.
- [5] Handel P. H., *Noise in Physical Systems and 1/f Noise*, Ed. by M. Savelli et al., New York, 1983, P. 97.
- [6] Zhu X. C. (朱惜辰) and Van der Ziel A., *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-32** (1985), 658.
- [7] Duh K. H. and Van der Ziel A., *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-32** (1985), 662.
- [8] Van der Ziel A. et al., *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-32** (1985), 667.
- [9] Kousik G. S. et al., *Adv. Phys.*, **36** (1985), 663.
- [10] Van der Ziel A., *Proc. IEEE*, **76** (1988), 233; *Solid state Electronics*, **31** (1988), 1205.
- [11] 朱惜辰等, *红外技术*, **10** (1988), 4.
- [12] 张景韶等, *红外技术*, **9** (1987), 3.

LOW FREQUENCY NOISE OF HgCdTe PHOTOCONDUCTORS

ZHU XICHEN, YAO YING

(*Kunming Institute of Physics, Kunming, Yunnan, China*)

ABSTRACT

The low frequency noise of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0.27$) photoconductors which has $1/f$ spectrum, is presented. The values of S_v/V^2 of various samples are found to vary with the applied electrical field. These results show that the noise is due to the trapping effect. α_H holds constant (0.002) only while the surface of the sample is perfect. The Hooge formula can be used to discriminate the trapping $1/f$ noise from the noise due to mobility fluctuation.