

文章编号: 0258-7025(2008)04-0509-06

4H-SiC 金属-半导体-金属结构紫外探测器的 模拟与分析

张军琴 杨银堂 卢艳 娄利飞 赵妍

(西安电子科技大学微电子学院 宽禁带半导体材料与器件教育部重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要 用 MEDICI 软件对金属-半导体-金属(MSM)结构 4H-SiC 紫外(UV)探测器的 $I-V$ 特性以及光谱响应等特性进行了模拟与分析,并探讨了金属电极的宽度、电极间距以及外延层厚度对探测器响应度的影响。结果表明,室温下该探测器的暗电流线性密度达到 10^{-13} A/ μm ,且在不同电压下光电流至少比暗电流大两个数量级;探测器的光谱响应范围为 200~400 nm,在 347 nm 处响应度达到极大值;增大指宽或者减小指间距可以提高探测器的响应度;当波长小于峰值波长时外延层厚度对探测器的响应度基本没影响,而当波长大于峰值波长时随着外延层厚度的增大探测器的响应度有所增大。

关键词 探测器;4H-SiC;紫外探测器;模拟;金属-半导体-金属结构;光谱响应

中图分类号 TN 36;TN 303 文献标识码 A

Simulation and Analysis of 4H-SiC Metal-Semiconductor-Metal Ultraviolet Photodetector

Zhang Junqin Yang Yintang Lu Yan Lou Lifei Zhao Yan

(School of Microelectronics, Xidian University, Key Laboratory of Ministry of Education for Wide Bandgap Semiconductor Materials and Devices, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract The $I-V$ characteristics and spectral response of 4H-SiC metal-semiconductor-metal (MSM) ultraviolet (UV) photodetector have been simulated by MEDICI. The influence of the finger width and spacing of contact electrodes and epitaxial layer thickness on the spectral response has also been analyzed. The results show that the density of dark current is about 10^{-13} A/ μm and the photo-to-dark current ratio is at least 10^2 at different bias voltages. The range of spectral response is 200~400 nm and the peak responsivity lies in 347 nm. We have also found that the responsivity is increases with the increase of finger width or decrease of finger spacing. The epitaxial layer thickness has almost no effect on responsivity when wavelength is less than peak wavelength, and the responsivity increases with the increase of epitaxial layer thickness when wavelength is greater than peak wavelength.

Key words photodetector; 4H-SiC; ultraviolet photodetector; simulate; metal-semiconductor-metal structure; spectral response

1 引 言

紫外(UV)探测技术是继红外和激光探测技术之后发展起来的又一军民两用光电探测技术,具有广阔的应用前景。在军用方面可应用于航天、航空、雷达系统和通信设备、核能设备等领域;在工业和民

用系统上可用于雷达和通信、医学工程、汽车和航空运输业、石油和矿物开采等领域。第三代半导体材料 SiC 由于具有宽带隙、高临界击穿电场、高热导率、高载流子饱和漂移速度等特点,在高温、辐射、大功率、光电子及抗辐射等方面具有广阔的应用潜

收稿日期:2007-08-10;收到修改稿日期:2007-10-24

基金项目:装备预研项目(51323040118,513080302)资助课题。

作者简介:张军琴(1976—),女,陕西人,讲师,博士研究生,主要从事宽禁带半导体材料与器件方面的研究工作。

E-mail: zhangjunqin@sina.com

导师简介:杨银堂(1962—),男,河北人,教授,博士生导师,主要从事新型半导体材料与器件以及超大规模集成电路(VLSI)设计方面的研究。E-mail: ytyang@xidian.edu.cn

力^[1]。SiC 光探测器对红外线辐射不响应,而对高频的紫外线辐射有明显的响应,使得 SiC 适合于在红外及可见背景下探测紫外辐射。同时该器件的反向漏电流(即暗电流)很低,可用来检测高温环境中的微弱紫外信号^[2]。紫外探测器的种类很多,比较常见的有光导型,pn 结型,pin 型,金属-半导体-金属(MSM)型,肖特基势垒型,异质结型等探测器。其中金属-半导体-金属探测器具有灵敏度高、响应度高、结构简单、造价低以及易于集成等优点,在光电集成电路系统上的应用也越来越广泛。

本文利用二维器件仿真软件 MEDICI 对金属-半导体-金属结构 4H-SiC 紫外探测器的 $I-V$ 特性、光谱响应特性、光谱响应与电压的关系以及光电流的瞬态曲线进行了仿真研究。模拟结果与实验结果符合较好。并探讨了金属电极的宽度、电极间距以及外延层厚度对探测器响应度的影响。

2 物理模型

通过求解泊松方程和电子、空穴的电流连续性等方程来获取特定偏置下的电学特性,通过求解这些微分方程组,分别得到光照前后器件的电势分布以及载流子分布。主要用到以下几个模型:

2.1 漂移-扩散模型

漂移-扩散模型^[3]主要由三组方程组成:

1) 泊松方程

$$\epsilon \nabla^2 \Psi = -q(p - n + N_D^+ - N_A^-) - \rho_s, \quad (1)$$

2) 载流子连续性方程

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n - U_n = F_n(\Psi, n, p),$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{-1}{q} \nabla \cdot J_p - U_p = F_p(\Psi, n, p), \quad (2)$$

3) 载流子输运方程

$$J_n = -q\mu_n n \nabla \phi_n, \quad J_p = -q\mu_p p \nabla \phi_p, \quad (3)$$

式中 n 和 p 分别为电子和空穴密度, q 为电子电量, N_D^+ 和 N_A^- 分别为电离施主和电离受主的杂质浓度, ρ_s 为表面电荷浓度; J_n 和 J_p 分别为电子和空穴电流密度, U_n 和 U_p 分别为电子和空穴的净复合概率; μ_n 和 μ_p 分别为电子和空穴的迁移率。

2.2 迁移率模型

光生载流子在浓度梯度和电场的作用下产生扩散和漂移运动, MEDICI 中提供了低场迁移率模型、高场迁移率模型、水平场迁移率模型。在模拟中,连续性方程中的迁移率采用低场迁移率模型,即

$$\mu_{n0} = \mu_{n \min} + \frac{\mu_{n \max} (T/300)^{n_{un}} - \mu_{n \min}}{1 + (T/300)^{x_{in}} [N_{total}(x, y)/N_{rfin}]^{a_n}}, \quad (4)$$

式中 $\mu_{n \min}, \mu_{n \max}$ 分别为电子最低和最高迁移率, N_{total} 为总的掺杂浓度, N_{rfin} 为参考浓度, x_{in} 为温度调制系数。

2.3 复合模型

光生载流子在扩散和漂移运动过程中会不断复合而消失。模拟中考虑了 SRH (Shockley-Read-Hall) 复合和俄歇 (Auger) 复合^[3]

$$U_{SRH} = \frac{pn - n_{ie}^2}{\tau_p \left[n + n_{ie} \exp\left(\frac{\Delta E_t}{kT}\right) \right] + \tau_n \left[p + n_{ie} \exp\left(\frac{-\Delta E_t}{kT}\right) \right]}, \quad (5)$$

$$U_{Auger} = A_{un}(pn^2 - mn_{ie}^2) + A_{up}(np^2 - pn_{ie}^2), \quad (6)$$

式中 n_{ie} 为有效本征载流子浓度, ΔE_t 为复合中心能级 E_t 与本征费米能级 E_i 之差 ($\Delta E_t = E_t - E_i$), A_{un} , A_{up} 分别为俄歇复合中电子和空穴的系数。 τ_n, τ_p 为电子和空穴的寿命, 采用与浓度相关的模型, 即

$$\begin{aligned} \frac{T_{un}}{\tau_n(x, y)} &= A_n + B_n \left[\frac{N_{total}(x, y)}{N_{SRH_n}} \right] + \\ &C_n \left[\frac{N_{total}(x, y)}{N_{SRH_n}} \right]^{E_n}, \\ \frac{T_{up}}{\tau_p(x, y)} &= A_p + B_p \left[\frac{N_{total}(x, y)}{N_{SRH_p}} \right] + \\ &C_p \left[\frac{N_{total}(x, y)}{N_{SRH_p}} \right]^{E_p}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中 T_{un}, T_{up} 分别为电子和空穴的 SRH 寿命, N_{SRH_n}, N_{SRH_p} 分别为电子和空穴的 SRH 浓度参数, $A_n, B_n, C_n, A_p, B_p, C_p, E_n, E_p$ 为模型中的相关常数。

2.4 肖特基接触模型

金属与半导体接触后可以形成整流的肖特基接触和非整流的欧姆接触。本文主要研究金属-半导体-金属肖特基紫外探测器的性能。利用 MEDICI 模拟时

$$\Psi_s = \chi_{semi} + \frac{E_g}{2q} + \frac{kT}{2q} \ln\left(\frac{N_c}{N_v}\right) - W_m + V_{applied}, \quad (8)$$

$$J_{sn} = qv_{sn}(n_s - n_{eq}), \quad J_{sp} = qv_{sp}(p_s - p_{eq}), \quad (9)$$

$$v_{sn} = \frac{A_n T^2}{qN_c}, \quad v_{sp} = \frac{A_p T^2}{qN_v}, \quad (10)$$

$$\Delta \phi_b = \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_{semi}}\right)^{1/2} E^{1/2} + aE, \quad (11)$$

式中 Ψ_s 为表面势, χ_{semi} 为半导体的亲和势, N_c 和 N_v 分别为导带底和价带顶的有效态密度, W_m 为金属的功函数, $V_{applied}$ 为外加偏压。 J_{sn} 和 J_{sp} 分别为电子和空穴的表面复合电流密度, v_{sn} 和 v_{sp} 分别为电子和空穴的表面复合速度, n_s 和 n_{eq} 分别为表面和体内

的电子浓度, p_s 和 p_{eq} 分别为表面和体内的空穴浓度。 A_n 和 A_p 分别为电子和空穴的里查逊(Richardson)常数, 可反映量子力学和隧道效应。 $\Delta\phi_0$ 为镜像力和电偶极子引起的势垒高度降低量, ϵ_{semi} 为半导体的介电常数, α 为电偶极子相关系数。

2.5 光产生模型与吸收模型

光照射到器件上时, 光的入射以及电流的产生主要分为两个部分: 表面层对入射光的反射和吸收, 以及器件内部各个区域中光的吸收^[4]。

当一定波长的光照射半导体材料时, 电子吸收足够的能量, 从价带跃迁入导带产生光生载流子。这个吸收过程引起器件内部光强度 I 随着传播距离按指数衰减, 即

$$I(x, \lambda) = I_0(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x}, \quad (12)$$

式中 $I_0(\lambda)$ 为初始入射处的光强度, $\alpha(\lambda)$ 为与特定波长 λ 对应的吸收系数。如果用 $G(x, \lambda)$ 表示载流子在 x 处的产生率, 模拟中采用的产生率模型为

$$G(x, \lambda) = \eta \left(\frac{\lambda}{hc} \right) I_0(\lambda) \alpha(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x}, \quad (13)$$

式中 η 为量子效率, 理想情况下 $\eta = 1$, 考虑到器件内部杂质的散射和陷阱俘获等因素, 模拟过程中取 $\eta = 0.9$ 。 hc/λ 为吸收光子的能量, 吸收系数 $\alpha(\lambda)$ 则要用到吸收模型。

固体对光的吸收过程, 通常用折射率、消光系数和吸收系数来表征。材料的折射率可以表示为 $N = n - ik$, 其中 n 为折射率, k 为消光系数, 它与吸收系数 α 有关, 满足关系式 $\alpha = 4\pi k/\lambda$ 。

3 器件结构与模拟结果

金属-半导体-金属肖特基接触结构是用平面线型插指电极和半导体材料形成两个“背靠背”的肖特基势垒, 当加上直流偏置电压时, 一个势垒正向偏置, 一个势垒则反向偏置。在这种结构中, 肖特基势垒对光生载流子的收集不仅具有传统结构器件中的纵向收集, 还具有平行于表面的横向收集作用, 特别对于产生在器件表面层的光生载流子的收集, 其效果更加明显。

3.1 器件结构

在金属-半导体-金属结构的模拟中, 选取的器件结构为^[5]: 在厚为 $400 \mu\text{m}$, 掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的 n^+ 型 4H-SiC 衬底上外延一层厚度为 $3.4 \mu\text{m}$, 掺杂浓度为 $3.1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 的 n 型外延层, 最后在 SiC 表面溅射厚度为 $0.2 \mu\text{m}$ 的镍, 经剥离工艺后形成间距为 $2.5 \mu\text{m}$, 叉指宽度也为 $2.5 \mu\text{m}$

的叉指状肖特基接触电极。为了提高光的吸收, 电极之间填充一层反射系数很低的铟锡氧化玻璃(ITO)。考虑到金属-半导体-金属光探测器叉指状电极的叉指数目比较多, 在选择计算区域时选择以两个相邻电极各自的中线为边界的一个小区域, 通过对这个区域进行二维数值模拟分析, 反映出整个器件的特性^[6]。金属-半导体-金属 Ni/4H-SiC 紫外探测器的结构如图 1 所示。

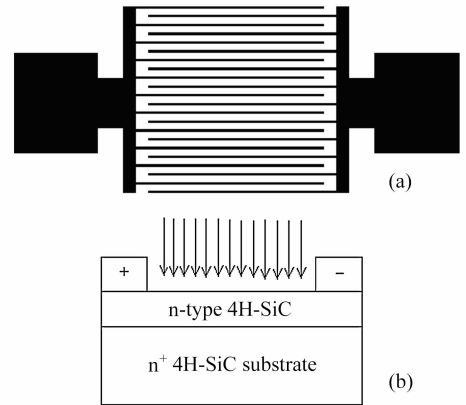


图 1 金属-半导体-金属 4H-SiC 紫外探测器的结构图

(a) 俯视图; (b) 剖面图

Fig. 1 Schematic diagram of MSM 4H-SiC UV detector. (a) vertical view; (b) profile

3.2 模拟结果及分析

由于太阳的光谱可以用 5800 K 下的黑体辐射光谱近似, 几乎是与 Air Mass Zero (AMO) 的光谱一样, 在模拟中用 5800 K 下的黑体辐射光谱近似太阳光谱, 入射光源为恒定的复色光光源。

利用 MEDICI 软件, 经过模拟分别得出无光照和有光照条件下器件的 $I-V$ 特性。由图 2 可以看出, 随着偏压的增加, 探测器的暗电流和光电流都在增加。但是当偏压为 10 V 时, 暗电流的线密度为 $1.74 \times 10^{-13} \text{A}/\mu\text{m}$, 即使在 40 V 时, 暗电流的线密度只有 $4.45 \times 10^{-13} \text{A}/\mu\text{m}$, 而对应的光电流线密度分别为 $4.47 \times 10^{-11} \text{A}/\mu\text{m}$ 和 $5.82 \times 10^{-11} \text{A}/\mu\text{m}$ 。即不管在什么偏压下, 光电流都至少比暗电流大两个数量级, 与文献[5]中金属-半导体-金属结构 Ni/4H-SiC 紫外探测器的实验结果一致。

探测器的响应度定义为 $R_1 = I_p/P_i$, 其中 I_p 为光电流, P_i 为入射光功率。图 3 是电压一定时响应度与波长的关系曲线, 可以看出随着电压的增加, 响应曲线的形状没有发生大的变化, 但响应度随着电压的增大而增大。从图 3 可以看到, 探测器的响应范围为 200~400 nm, 在波长为 350 nm 附近响应度

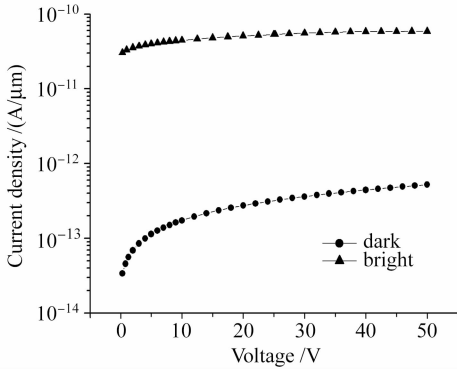


图2 金属-半导体-金属 4H-SiC 紫外探测器的 $I-V$ 特性
Fig. 2 $I-V$ characteristics of MSM 4H-SiC UV detector

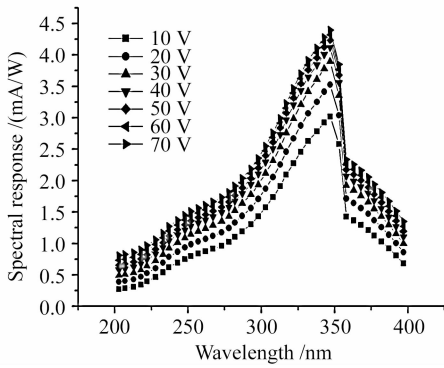


图3 金属-半导体-金属 4H-SiC 紫外探测器的
光谱响应曲线

Fig. 3 Spectral response of MSM 4H-SiC UV detector

最大,并且出现陡峭的截止边。这是因为要发生本征吸收,光子能量要满足条件 $h\nu \geq E_g$,由公式 $\lambda\nu = c$ 可以算出 $\lambda \leq 382.2$ nm,即当波长大于 382.2 nm 时,不可能产生本征吸收,吸收系数迅速下降,光响应度也迅速下降。从图中可以看出器件对波长大于 382 nm 的入射光响应已经很小了,之所以还有很小的响应是因为当 $E_g > h\nu > q\Phi_{ns}$ 时光激发金属中的电子越过势垒被半导体收集,以至于响应度很小;而小于 200 nm 的入射光因为波长短,光吸收系数很大,表面复合速度也很大,所以光生载流子在穿过耗尽区之前就被吸收复合掉,无法在外电路中形成光电流^[7]。探测器只对 200~400 nm 的紫外光响应,这对红外甚至是日光背景中的紫外检测意义重大。

在入射光波长为 342.5 nm 时,探测器光谱响应和外加偏压之间的关系如图 4 所示。当外加偏压从 5 V 增加到 35 V 时,光响应度近似线性地从 3.125 mA/W 增加到 4.556 mA/W,但是偏压超过 35 V 后,光谱响应不再随偏压增加,而是趋于一个饱和值。

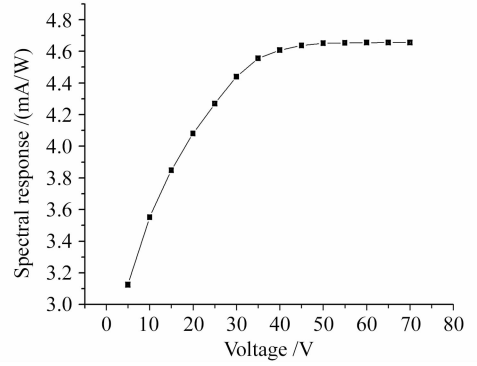


图4 响应灵敏度与电压的关系曲线($\lambda = 342.5$ nm)
Fig. 4 Response versus voltage at the wavelength
of 342.5 nm

对于金属-半导体-金属结构的器件,响应率与光电导增益 g 满足关系式

$$R = g \frac{\eta q}{h\nu} = \frac{g\eta q\lambda}{hc}, \quad (14)$$

式中 η 为量子效率, q 为电子电量, h 为普朗克常数, c 为光速, g 为光电导增益,由光生载流子的寿命和渡越时间之比决定,即

$$g = \frac{\tau}{\tau_t} = \frac{\tau\mu E}{L} = \frac{\tau\mu V}{L^2}, \quad (15)$$

所以

$$R = \frac{\eta\tau\mu V\lambda}{hcL^2}, \quad (16)$$

式中 L 为叉指之间的指间距, μ 为光生载流子迁移率, V 为外加电压。

由(16)式可以看出,如果不存在束缚激子,则响应率应该随着偏压的增加而线性地增加。当电场较高时,可以用扫场效应(Sweep-out effect)^[8,9]来解释这种饱和现象。

图 5 是光电流的瞬态特性,可以看出在不到 0.1 ns 时间内光电流基本可以达到最大值,可见这种探测器的响应速度非常快。另外从图中还可以看

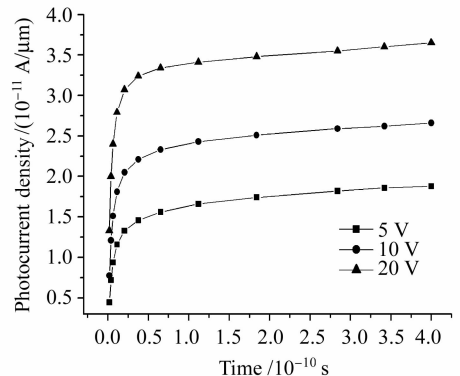


图5 光电流的瞬态特性

Fig. 5 Transient characteristics of photocurrent

出随着偏压的增大探测器的响应速度也变快。

对金属-半导体-金属结构紫外探测器, 金属电极的宽度以及电极之间的间距对探测器性能有一定的影响。由图 6 可以看出, 若叉指间距 $L = 5 \mu\text{m}$, 指宽 W 为 $5 \mu\text{m}$ 时, 探测器的响应度为 8.1 mA/W , 大于指宽为 $2 \mu\text{m}$ 时的响应度; 当 $W = 5 \mu\text{m}$, 指间距为 $8 \mu\text{m}$ 时, 响应度为 6.4 mA/W , 小于指间距为 $5 \mu\text{m}$ 时的响应度。模拟结果说明指间距相同时, 响应度随着指宽的增大而增大; 而在指宽相同的情况下, 响应度随着指间距的增大而减小。为了获得大的响应度, 在设计金属-半导体-金属结构紫外探测器时, 需要根据具体要求合理选择指宽以及指间距。

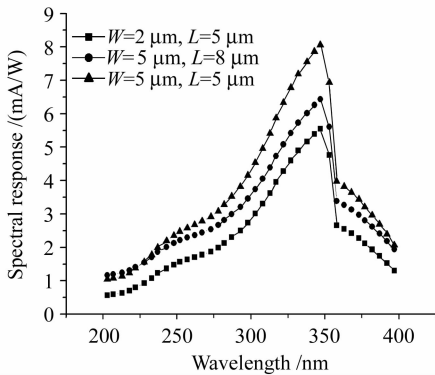


图 6 $V = 20 \text{ V}$ 时, 不同指宽 W 和指间距 L 情况下金属-半导体-金属 4H-SiC 紫外探测器的光谱响应曲线

Fig. 6 Spectral response of MSM 4H-SiC UV detector with different finger widths and spacings at the voltage of 20 V

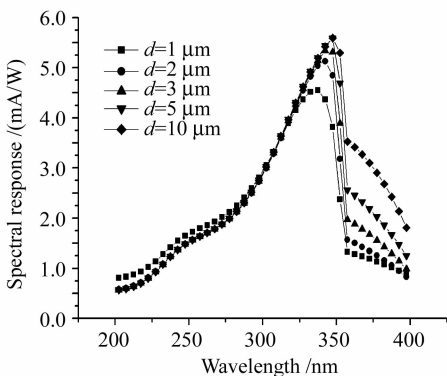


图 7 $V = 20 \text{ V}$ 时, 不同外延层厚度情况下金属-半导体-金属 4H-SiC 紫外探测器的光谱响应曲线

Fig. 7 Spectral response of MSM 4H-SiC UV detector with different epitaxial layer thicknesses at the voltage of 20 V

图 7 表示不同外延层厚度情况下探测器的光谱响应曲线, 其中 n 型外延层的掺杂浓度为 $3.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, 叉指指宽为 $2 \mu\text{m}$, 指间距为 $5 \mu\text{m}$ 。

可以看出光谱响应度峰值出现在 350 nm 左右处, 当波长小于峰值波长时, 随着外延层厚度的增大探测器的响应度基本不变, 而当波长大于峰值波长以后随着外延层厚度的增大探测器的响应度也有所增大。还可以看出随着外延层厚度的增大光谱响应峰值向长波长方向稍有偏移; 当外延层厚度为 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 时此探测器具有较大的光谱响应度以及紫外/可见光选择比。计算表明, 当外延层厚度分别为 $1 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$ 和 $5 \mu\text{m}$ 时, 光谱响应峰值分别出现在波长为 337.5 nm , 342.5 nm 和 347.5 nm 处, 对应的峰值分别为 4.55 mA/W , 5.34 mA/W 和 5.59 mA/W 。

4 结 论

运用 MEDICI 软件对金属-半导体-金属结构 4H-SiC 紫外探测器进行了模拟与分析。模拟结果表明, 室温下该器件的暗电流达到 $10^{-13} \text{ A}/\mu\text{m}$, 而且不论电压怎么变化光电流至少比暗电流大两个数量级, 器件的光谱响应范围为 $200 \sim 400 \text{ nm}$, 最大的响应灵敏度出现在波长为 347 nm 处。模拟结果与实验结果符合较好。

还探讨了金属电极的宽度、电极之间的间距以及外延层厚度对探测器光谱响应度的影响, 模拟结果表明指间距相同时, 响应度随着指宽的增大而增大; 而在指宽相同的情况下, 响应度随着指间距的增大而减小。当波长小于峰值波长时, 外延层厚度对探测器的响应度基本没有影响, 而当波长大于峰值波长以后随着外延层厚度的增大探测器的响应度也有所增大。

参 考 文 献

- Hao Yue, Peng Jun, Yang Yintang. Wide Bandgap Semiconductor Technology of SiC [M]. Beijing: Science Press, 2000. 1
郝跃, 彭军, 杨银堂. 碳化硅宽带隙半导体技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1
- Dale M. Brown, Evan T. Downey, Mario Ghezzi *et al.*. Silicon carbide UV photodiodes [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1993, **40**(2): 325~333
- Avant Corporation 2001 Medici User's Manual
- Zhou Yonghua, Zhang Yimen, Zhang Yuming *et al.*. Simulation and analysis of 6H-SiC pn junction ultraviolet photodetector [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(11): 3710~3715
周拥华, 张义门, 张玉明等. 6H-SiC pn 结紫外光探测器的模拟与分析 [J]. *物理学报*, 2004, **53**(11): 3710~3715
- Wu Zhengyun, Xin Xiaobin, Yan Feng *et al.*. Fabrication of MSM structure UV photodetector on 4H-SiC [J]. *Chinese J. Quantum Electron.*, 2004, **21**(2): 269~272
吴正云, Xin Xiaobin, Yan Feng 等. 金属-半导体-金属 (MSM) 结构 4H-SiC 紫外光电探测器的研制 [J]. *量子电子学报*, 2004, **21**

(2);269~272

- 6 Yu Yichuan, He Jianjun, He Sailing *et al.*. Analysis of MSM-PD's DC characteristics using a two dimensional numerical method [J]. *Chinese J. Semiconductors*, 2005, **26**(4):798~804
于弋川,何建军,何赛灵等. MSM光探测器直流特性的二维分析[J]. *半导体学报*, 2005, **26**(4):798~804
- 7 Gao Guangtian, Zhang Lun, Feng Xinqiang. Application Technology of Sensor and Signal Modulator [M]. Beijing:

Science Press, 2002. 43

- 高光天,张伦,冯新强. 传感器与信号调理器件应用技术[M]. 北京:科学出版社, 2002. 43
- 8 D. Walker, X. Zhang, P. Kung *et al.*. AlGaIn ultraviolet photoconductors grown on sapphire [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(15):2100~2101
- 9 M. Razeghi, A. Rogalski. Semiconductor ultraviolet detectors [J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, **79**(10):7433~7473

征 稿 简 则

《中国激光》是由中国光学学会和中国科学院上海光学精密机械研究所共同主办,科学出版社出版的学术期刊,国内外公开发行。

1. 刊登内容

主要发表我国科技人员在激光理论与技术领域的最新进展,栏目包括:综述、实验技术与元件、激光物理与化学、全息技术、光束传输、光通信及其元器件、光纤元件、测量技术、材料、薄膜、激光应用、激光生物学与医学,等等。请作者在来稿中注明所投栏目,并注明所属中图分类号。

2. 投稿与查询

本刊接受 Email 投稿或网络投稿,投稿信箱:submit@siom.ac.cn,网络投稿与查询:登录中国光学期刊网 www.opticsjournal.net。来稿请注明作者真实姓名、服务单位、详细通信地址、联系电话、邮政编码及电子信箱。本刊收到稿件后在 2~3 个工作日内 Email 发出收稿通知。作者投稿 2 个月内未收到本刊处理意见,可另投他刊。但需事先告知本刊编辑部。编辑部有权对来稿删改。来稿请勿涉及保密内容,并请提供相关单位证明。来稿请附所有作者签名,作者顺序一经确定,请勿任意删改。可同时提供 6~8 位国内外同行专家的详细通讯方式和研究领域,供送审时参考。

3. 来稿要求

3.1 文字要求

来稿应含中英文题目、摘要、关键词和第一作者简介,全文要求在 5000 字以内。来稿请用小 4 号,1.5 倍或 2 倍行距,另用不同颜色标明文内尤其公式内易混淆的大小写、上下角码、文种、算符等。计量单位一律采用国家标准 GB3100-3102-93 规定,摘要和正文中的缩略词在第一次出现时必须写出全称,后附缩略词。

3.2 标题与摘要

标题应言简意赅,字数控制在 20 字以内,不使用不知名的外文缩写词(化学符号除外)。中英文摘要请用第三人称叙述,不使用“本文”或“作者”等主语,不引用参考文献、数学公式和化学式。内容应包括四个要素:即研究目的、方法、结果、结论。中英文摘要内容应基本对应,中文摘要 300 字左右,英文摘要 150~180 个单词。

3.3 关键词

每篇论文应给出 4~8 个关键词,第一个列出该文主要工作或内容所属的二级学科名称,第二个列出该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称,第三个列出该文在得到上述成果或结论时采用的科学研究方法的具体名称,第四个列出在前三个关键词中没有出现的,但作为主要研究对象的事或物质的名称,如有需要,还可以列出作者认为有利于检索和文献利用的第五、第六个等关键词。

3.4 图表

要求设计美观,大小适中,尺寸一般不小于 5 cm×7 cm,线条均匀,主辅线分明,粗线一般为 0.25~0.5 mm,细线一般为粗线的 1/2,图中主线用粗线,如函数曲线等,辅线用细线,如坐标轴线、指示线等;照片要求对比度高,层次清晰。推荐使用三线表。图题、表题须中英文对照,图面、表面一律采用英文。

3.5 参考文献

应引用公开出版物,并仔细核对;欢迎作者充分引用本刊上同行的文献。每条文献应作相应的文献类型标识(见方括号内)。参考文献的原文为英文,请用英文表示,如原文为其他语种,请译成英文,在该文献最后用括号注明,如原为日文,则用(in Japanese),如原文为中文,则给出中文和相应的英文译文。每条文献的顺序和标点如下:专著[M]、学位论文[D]、报告[R]——著者(三名),文献题名,版本(专著用),出版地:出版者,出版年,起止页码;期刊[J]——作者(三名),论文题目[J],刊名,出版年,卷(期);起止页码;专利[P]——专利申请者,专利题目[P],专利国别,专利文献种类,专利号,出版日期;文集[C]——作者(三名),论文题目[C],编者,论文集名,出版地:出版者,年,起止页码。

3.6 基金资助、作者简介

论文如获省、部级以上的基金资助,须在首页的脚注位置注明基金资助单位全称及批准号。作者简介(含导师简介)应给出姓名(出生年一),性别,籍贯,民族(汉族可省略),职称,学历,研究方向,Email。

4. 收费

本刊遵照中国科协和中国科学院有关文件精神,向录用稿件作者收取适量版面费以聊补本刊的高额亏损。

5. 版权

录用稿件一经刊出,论文版权(含各种介质)均归编辑部所有。本刊向作者酌付稿酬及赠送该期期刊 1 册,抽印本 10 份。

本刊已入编《中国学术期刊(光盘版)》和中国光学期刊网,著作权使用费在奉寄作者稿酬中一次性支付。如有不同意将文章编入上述数据库者,请事先声明,本刊将作适当处理。

特别声明:凡已在国内外正式出版物上登载过的稿件,本刊一律不予刊登。若发现一稿多投者,本刊三年内不接受其稿件,并追补对本刊造成的损失。

凡本刊投稿者,均视作接受上述各项规定,本刊不再另行声明。

本刊在办刊过程中,得到了社会各界的大力协助,谨致谢忱。