

# MSM 光探测器直流特性的二维分析\*

于弋川<sup>1</sup> 何建军<sup>2</sup> 何赛灵<sup>1</sup> 邹勇卓<sup>1</sup>

(1 浙江大学光及电磁波研究中心 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

(2 Lightip Technologies, Inc., Ottawa, ON K1K 4R8, Canada)

**摘要:** 基于有限差分方法对金属-半导体-金属(MSM)光探测器进行了二维分析,得到有明确物理意义的模拟曲线和结论,并结合模拟结果对 MSM 光探测器的光电直流特性进行了分析.全部模拟工作都是基于半导体物理的基本微分方程完成的,这对于未来优化设计探测器的性能和结构有很大的意义.

**关键词:** MSM 光探测器;有限差分;二维分析;直流;硅材料

**EEACC:** 8220B

**中图分类号:** TN36

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2005)04-0798-07

## 1 引言

1985 年德国半导体电子研究所率先发明了横向结构叉指状电极的肖特基光电二极管,用叉指做电极,叉指间隙做光敏面.该发明的提出改善了传统肖特基光电二极管的性能.这种横向叉指状电极的肖特基光电二极管便称为 metal-semiconductor-metal photo-detector(MSM 结构光探测器).MSM-PD 工艺简单,除了通常的晶体生长之外,只需要通过蚀刻、蒸发和剥离等技术将电极作成叉指状即可.因 MSM-PD 制作容易、低电容、低暗电流、大带宽灵敏度积,以及从晶体生长到器件制作的整个过程与 FET 完全兼容等特点,已成为光电集成电路(OE-IC)、高速光通信接收器以及高速光控数字集成电路中的重要元件<sup>[1~6]</sup>.

最近国内外在 MSM-PD 的设计和制作方面取得了很大的成绩,有文章报道,基于 InP 材料的工作于 1.55 $\mu\text{m}$  波长的 MSM-PD,其传输速率已经超过了 78 GHz<sup>[3]</sup>.但在器件的模拟设计方面,目前大部分文章中都是使用数值方法或半解析的方法建立一维的模型<sup>[7~10]</sup>,在这些模型建立的过程中都做了比较多的近似,因降低了其通用性,所以并不能完全满

足模拟设计的需要;而早期的二维数值模拟的文章<sup>[11]</sup>中并没有对数值模拟方法做很详细的描述,在边界条件等的选择上也有一些不足,这样造成模拟结果不很理想.本文基于有限差分方法对 MSM-PD 进行二维分析,得到器件中载流子的二维分布以及光电直流特性,这样可以进一步优化设计 MSM-PD.

## 2 模型建立与推导

MSM 光探测器的基本结构和切面结构如图 1, 2 所示.在半导体吸收层上方用光刻的方法制作电极,相邻两个电极上所加电压极性相反,由图可见每个电极的宽度为  $2a$ ,正负电极之间的间隔为  $2a$ .考虑到 MSM-PD 叉指状电极的叉指数目比较多,在选择计算区域的时候我们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的结果可反映出整个器件的特性.

### 2.1 MSM-PD 的基本分析模型

基本半导体方程可以精确分析一个任意的半导体结构,该结构可以被作为各种工作条件下完整独

\*浙江省自然科学基金资助项目(批准号:20044131095)

于弋川 男,1980 年出生,博士研究生,目前从事半导体光电子器件及集成的研究. Email:yuyich@coer.zju.edu.cn

何建军 男,1964 年出生,教授,IEEE 高级会员,目前从事光通信用多功能集成光路的研究.

何赛灵 男,1966 年出生,教授,IEEE 高级会员,目前从事光电子集成及光通信的研究.

2004-05-19 收到,2004-10-12 定稿

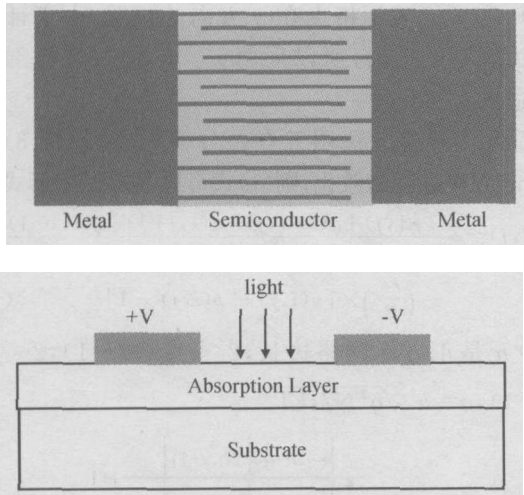


图 1 MSM-PD 的结构图  
Fig. 1 Schematic diagram of a MSM-PD

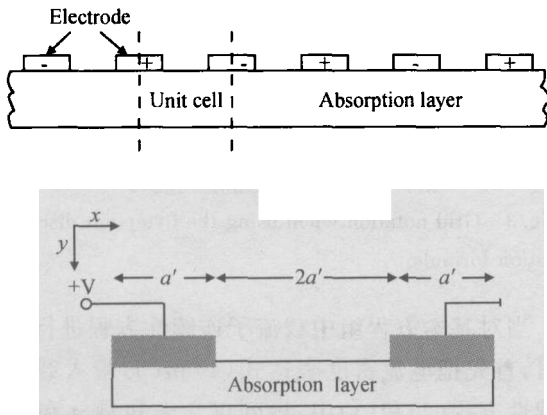


图 2 (a) MSM-PD 的切面图,其中虚线标出的单元为二维计算区域;(b) 计算区域单元的放大图  
Fig. 2 (a) Cross section of the MSM-PD. The area between the dashed line is the unit cell for calculation; (b) The unit cell

立的器件.在半导体问题中,电势 用 Poisson 方程描述<sup>[12,13]</sup>如下:

$$\nabla^2 \phi = -q(N_d - N_a + p - n) \quad (1)$$

电子密度  $n$  和空穴密度  $p$  的连续性方程分别为:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \nabla \cdot J_n / q + G - U \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\nabla \cdot J_p / q + G - U \quad (3)$$

上述基本方程中,  $q$  表示单位电荷的电量;  $N_d$  和  $N_a$  分别表示施主掺杂浓度和受主掺杂浓度;  $\epsilon$  代表介电常数;  $G$  代表载流子的产生率;  $U$  表示载流子的复合率. 半导体中有电子运动所产生的电流密度  $J_n$  以及由空穴运动所产生的电流密度  $J_p$  分别为:

$$J_n = -q\mu_n n \nabla \phi + q \nabla \cdot (n D_n) \quad (4)$$

$$J_p = -q\mu_p p \nabla \phi - q \nabla \cdot (p D_p) \quad (5)$$

电子和空穴的扩散系数分别为

$$D_n = kT\mu_n/q, \quad D_p = kT\mu_p/q \quad (6)$$

在(4)~(6)式中,  $k$  为玻尔兹曼常数;  $T$  为温度;  $\mu_n$  和  $\mu_p$  分别为电子和空穴在半导体吸收层材料中的迁移率. 在由(1)~(5)式组成的一系列方程中总共有三个未知量,分别为电势  $\phi$ , 电子密度  $n$  和空穴密度  $p$ , 通过对方程组求解得到这三个未知量就可以分析半导体器件的特性.

为了简化计算的复杂度,本文中设电子的迁移率  $\mu_n$  及空穴的迁移率  $\mu_p$  与电场无关,这样设定完全不影响对器件模拟的精度要求. 同时在本文的分析中,设定半导体吸收层的材料是  $n$  型掺杂的,这样得到受主掺杂浓度  $N_a = 0$ .

为了简化计算,本文使用以下的规则对变量进行归一化<sup>[13]</sup>,如表 1 所示.

表 1 模拟中变量归一化规则

Table 1 Methods of variables' normalization

变量名(归一化前)	归一化因子	变量名(归一化后)
	$kT/q$	
$n$	$N_d$	$n$
$p$	$N_d$	$p$
$x$	$a$	$x$
$y$	$a$	$y$
$t$	$\tau_d$	$t$
$G$	$N_d/\tau_d$	$G$
$U$	$N_d/\tau_d$	$U$

在归一化因子中,  $\tau_d$  为弛豫时间:

$$\tau_d = \epsilon / q\mu_n N_d \quad (7)$$

对载流子复合率的处理采用 Shockley-Read 关系<sup>[12]</sup>,当电子和空穴在吸收层材料中有相同的寿命  $\tau_m$  以及具有位于禁带中间位置的单一复合中心时,Shockley-Read 关系可以写为:

$$U_{SR} = \frac{p n - n_i^2}{\tau_m (p + n + 2n_i)} \quad (8)$$

其中  $n_i$  为吸收层材料的本征载流子浓度.

## 2.2 边界条件

### 2.2.1 电势的边界条件

半导体吸收层与电极接触的位置将形成肖特基势垒接触,在这些位置上对于电势将有以下的边界条件<sup>[14]</sup>:

$$\phi = V + E_g/2 - \phi_B \quad (9)$$

其中  $V$  为施加于电极的电压;  $E_g$  为半导体吸收层的禁带宽度;  $\phi_B$  是肖特基势垒高度, 这三个变量的单位都为  $V$ .

在所分析区域的侧面, 因为对称性, 满足诺依曼边界条件, 即电势的法向分量为 0. 对于分析区域的下表面的浮动边界, 对电势同样施加诺依曼边界条件, 它的物理意义是没有电流流过此表面. 对于分析区域上表面两电极之间的边界部分, 半导体吸收层与空气直接接触, 在这里我们采用以下的处理, 将空气用半导体吸收层代替, 这种方法已经被文献 [13] 证明模拟结果的有效性, 这样由于对称性, 在这段边界上对电势也同样施加诺依曼边界条件.

### 2.2.2 载流子密度的边界条件<sup>[12, 13]</sup>

在半导体吸收层与电极接触的位置上, 对于电子密度将被施以固定边界条件, 具体表达式如下:

$$n = n_0 \exp(q(E_g/2 - \phi_B)/kT) \quad (10)$$

而空穴密度在上述位置上的边界条件可由平衡关系得到:

$$p = n_i^2/n \quad (11)$$

在分析区域的两个侧面, 因为对称性, 诺依曼边界条件将被施加, 即电子移动产生的电流密度的法向分量为 0, 空穴移动产生的电流密度的法向分量为 0.

由此推出:

$$\frac{\partial n}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

而对于分析区域的下表面浮动边界, 对载流子密度同样施加诺依曼边界条件, 它的物理意义是没有电流流过此表面. 如同在电势边界条件分析中所述, 对于分析区域上表面两电极之间的边界部分, 用半导体吸收层取代空气, 这样由于对称性, 在这段边界上载流子密度也同样满足诺依曼边界条件.

### 2.3 基本方程的离散化与求解

我们使用正方形网格对计算区域进行划分, 步距为  $h$ . 用  $i$  ( $0 \leq i \leq m$ ) 表示格点在  $x$  方向的位置,

用  $j$  ( $0 \leq j \leq n$ ) 表示格点在  $y$  方向的位置. 由于计算区域为规则的矩形, 所以采用正方形网格进行划分是合适的.

采用有限差分法用五点差分格式<sup>[15]</sup> (见图 3) 对 Poisson 方程进行离散化, 则(1)式可以写成以下形式:

$$\begin{aligned} \phi(i, j) = & \frac{\phi(i+1, j) + \phi(i-1, j) + \phi(i, j+1) + \phi(i, j-1)}{4} \\ & - \left(\frac{ha}{2}\right)^2 \times [n(i, j) - p(i, j) - 1] \quad (13) \end{aligned}$$

其中  $h$  是正方形网格边长,  $2 \leq i \leq (m-1)$ ,  $2 \leq j \leq (n-1)$ ,  $a = a \sqrt{q^2 N/kT}$ .

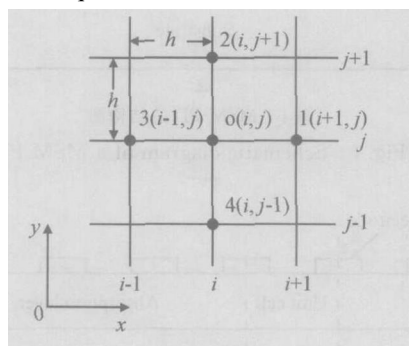


图 3 五点差分离散化网格示意图

Fig. 3 Grid notation when using the five-point discretization formula

当对基本方程组中载流子连续性方程进行离散化时, 首先把电流密度表达式(4)和(5)带入载流子连续性方程(2)和(3)中, 得到仅含未知量  $n$  和  $p$  的方程; 本文中分析的是 MSM-PD 的直流特性, 只考虑稳态时的情况, 则连续性方程(2)和(3)式左侧部分都为 0. 我们仍然采用了五点差分的格式, 如图 3 所示的格点表示方法, 将稳态时载流子连续性方程离散化后可以得到以下形式:

$$n(i, j) = \frac{\left(\frac{ha}{2}\right)^2 (G - U) + B_n(i, j)}{C(i, j)} \quad (14)$$

$$p(i, j) = \frac{\left(\frac{ha}{2}\right)^2 \left(\frac{\mu_n}{\mu_p}\right) (G - U) + B_p(i, j)}{D(i, j)} \quad (15)$$

其中:

$$\begin{aligned} B_n(i, j) = & \frac{n(i+1, j) \exp\left(\frac{\phi(i, j) - \phi(i+1, j)}{2}\right) + n(i-1, j) \exp\left(\frac{\phi(i, j) - \phi(i-1, j)}{2}\right)}{4} + \\ & \frac{n(i, j+1) \exp\left(\frac{\phi(i, j) - \phi(i, j+1)}{2}\right) + n(i, j-1) \exp\left(\frac{\phi(i, j) - \phi(i, j-1)}{2}\right)}{4} \quad (16) \end{aligned}$$

$$B_p(i, j) = \frac{p(i+1, j) \exp\left(\frac{-(i+1, j) - (i, j)}{2}\right) + p(i-1, j) \exp\left(\frac{-(i-1, j) - (i, j)}{2}\right)}{4} + \frac{p(i, j+1) \exp\left(\frac{-(i, j+1) - (i, j)}{2}\right) + p(i, j-1) \exp\left(\frac{-(i, j-1) - (i, j)}{2}\right)}{4} \quad (17)$$

$$C(i, j) = \frac{\exp\left(\frac{-(i+1, j) - (i, j)}{2}\right) + \exp\left(\frac{-(i-1, j) - (i, j)}{2}\right)}{4} + \frac{\exp\left(\frac{-(i, j+1) - (i, j)}{2}\right) + \exp\left(\frac{-(i, j-1) - (i, j)}{2}\right)}{4} \quad (18)$$

$$D(i, j) = \frac{\exp\left(\frac{-(i, j) - (i+1, j)}{2}\right) + \exp\left(\frac{-(i, j) - (i-1, j)}{2}\right)}{4} + \frac{\exp\left(\frac{-(i, j) - (i, j+1)}{2}\right) + \exp\left(\frac{-(i, j) - (i, j-1)}{2}\right)}{4} \quad (19)$$

### 3 模拟结果及直流特性分析

我们以 n 型掺杂的硅材料 (Si) 为有源区材料, 掺杂浓度  $N_d = 2.78 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ , 电子迁移率  $\mu_n = 1500 \text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ , 空穴迁移率  $\mu_p = 600 \text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ . 室温下的本征载流子浓度为  $n_i = 1.48 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ , 硅材料吸收层的禁带宽度  $E_g$  为 1.16eV, 金属与硅材料之间的肖特基势垒  $\phi_B$  是 0.8V, 入射光波长为 0.6 $\mu\text{m}$ , 有源区材料对此波长的光的吸收系数为 0.4/ $\mu\text{m}$ , MSM 探测器受光面的长和宽均为 1mm.

MSM 探测器的电极间透光区的间隔为  $2a = 2\mu\text{m}$ ; 叉指电极宽度为  $2a = 2\mu\text{m}$ . 计算时步长为  $h = 0.01\mu\text{m}$ . 图 4(a) 所示为入射光功率为 20mW, 两极电压差为 5V 时静电势的二维分布图. 从图中可见, 在均匀光照下有源区内静电势的分布与图 4(b) 所示的无光照时有源区的静电势的分布并没有显著的差别. 可见有源区内因光生载流子的出现而对直流偏置下有源区内的电势分布影响很小, 它们的贡献可以看作是对静电场分布产生微小的扰动.

图 5 给出了两极电压差为 5V, 入射光功率为 20mW 时, 有源区内载流子的分布图. 由图中可以看出, 光照产生的电子和空穴在有源区内电场的作用下由产生的位置 (MSM 结构中的透光区) 分别向叉指电极的正极和负极做漂移-扩散运动, 在正负电极下进行表面复合, 形成光电流, 并在电极下形成载流子的耗尽区. 这一点与通过半导体器件物理学<sup>[16, 17]</sup>

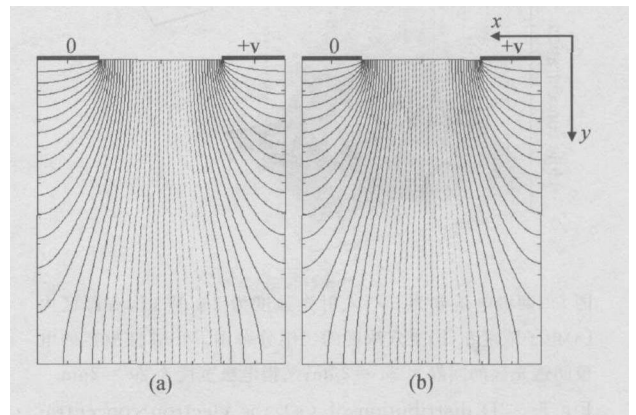


图 4 有源区内静电势分布图, 两极电压差为 5V (a) 入射光功率为 20mW; (b) 入射光强度为 0mW. MSM 探测器的电极间透光区的间隔为  $2a = 2\mu\text{m}$ ; 叉指电极宽度为  $2a = 2\mu\text{m}$ .

Fig. 4 Distribution of electrical potential in the active layer when 5V static-state voltage is applied (a) the input optical power is 20mW and (b) the input optical power is 0mW. The air space between the electrodes is  $2a = 2\mu\text{m}$  and the width of the electrode stripe is  $2\mu\text{m}$ .

对半导体-金属结构的分析和预计相一致. 沿入射光方向 (y 方向), 从探测器表面位置向有源区内不断深入, 随着入射光被 Si 材料不断地吸收, 载流子浓度呈指数衰减, 这与 Si 材料对相应波段光吸收的理论分析相吻合.

图 6 给出了如图 5 所示的载流子分布所对应的有源区内电流密度幅值的二维分布图. 在 MSM 探测器的上表面, 入射光从此处的透光区射入器件, 从而接近此表面的地方光生载流子比较多, 受光生载流子影响在这些位置上电场的变化比较大, 与之相

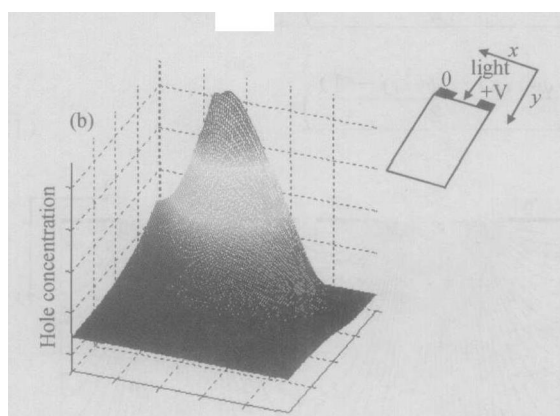
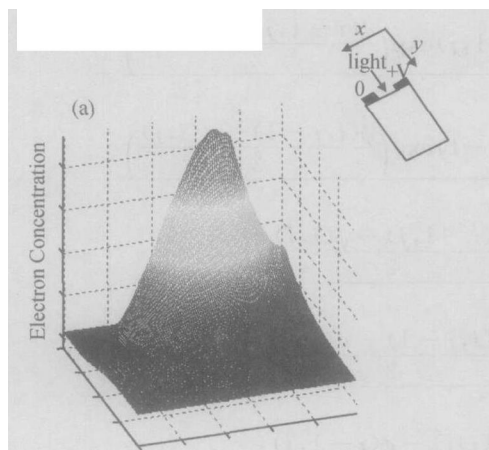


图5 两极电压差为 5V、入射光强度为 20mW 时,有源区内 (a)电子浓度和(b)空穴浓度的二维分布图。MSM 探测器的电极间透光区的间隔为  $2a = 2\mu\text{m}$ ;又指电极宽度为  $2a = 2\mu\text{m}$ 。

Fig.5 2D distribution of (a) the electron concentration and (b) the hole concentration in the active layer when the applied bias voltage is 5V and the input optical power is 20mW. The air space between the electrodes is  $2a = 2\mu\text{m}$  and the width of the electrode stripe is  $2\mu\text{m}$ .

对应,电流密度的大小也体现出相应的分布规律。而对于模拟结果中在电极边缘处出现的尖峰,我们分析了其产生的原因。计算中把电极的厚度视为零,在模拟区域中电极与透光区的交界处出现了边界条件的突变,在相应位置上电场不连续<sup>[18]</sup>,从而影响到电流密度分布。我们认为如果改进网格划分方法,对边界突变的位置作单独的网格细化处理,计算结果应该可以改善,这个问题将在以后的工作中设法解决。

图7给出了在恒定光照条件下(即静态时)MSM光探测器的电压-电流关系曲线。每条曲线对应的均匀恒定的光照强度分别为0,30,60,90mW。模拟得到的电压-电流关系曲线与参考文献[19]中

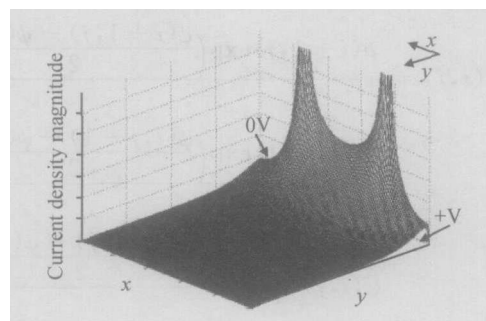


图6 两极电压差为 5V、入射光强度为 20mW 时,有源区内电流密度幅值的二维分布图。MSM 探测器的电极间透光区的间隔为  $2a = 2\mu\text{m}$ ;又指电极宽度为  $2a = 2\mu\text{m}$ 。

Fig.6 2D distribution of current density in the active layer when the applied bias voltage is 5V and the input optical power is 20mW. The air space between the electrodes is  $2a = 2\mu\text{m}$  and the width of the electrode stripe is  $2\mu\text{m}$ .

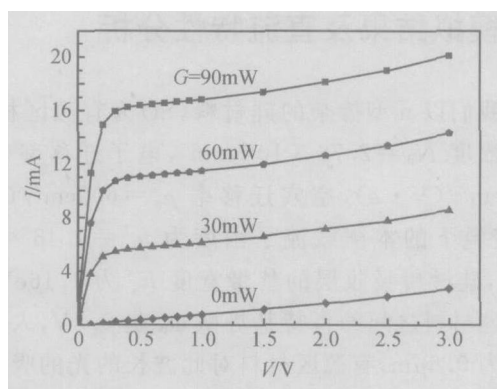


图7 静态时的 MSM 光探测器的电压-电流关系曲线。光照强度为 0mW 时的电压-电流关系曲线反映出光探测器的暗电流特性。MSM 探测器的电极间透光区的间隔为  $2a = 2\mu\text{m}$ ;又指电极宽度为  $2a = 2\mu\text{m}$ 。

Fig.7 Steady-state current-voltage relations when the input optical power is 0,30,60, and 90mW, respectively. In the case when the optical power is 0mW, the curve gives the dark current. The air space between the electrodes is  $2a = 2\mu\text{m}$  and the width of the electrode stripe is  $2\mu\text{m}$ .

的实验结果相符合,显示出先陡峭上升后缓慢上升的趋势<sup>[10,17]</sup>。在饱和和工作状态下电流随电压的增大而缓慢增加,这是由肖特基结上电荷堆积和电极边缘象力降低使得肖特基势垒降低而造成的<sup>[20]</sup>。图7中的0mW时的电压-电流关系曲线反映出光探测器的暗电流特性,暗电流特性也是反映光探测器性能指标的一个重要参数。MSM结构光探测器的暗电流主要是由肖特基电极的漏电流形成,而漏电流

又主要与金属-半导体表面的势垒高度有关. 为了提高光探测器的暗电流特性, 可以在有源吸收层与电极之间引入肖特基势垒增强层<sup>[21,22]</sup>, 这样便有效地限制了肖特基电极的漏电流, 从而使暗电流有了显著降低.

图8给出了在一定的外加偏置电压下, MSM光探测器的输入-光照强度与光探测器的输出-光电流之间的关系. 由图可见, 在一定的偏置电压下, 光探测器的输入与输出之间基本呈线性关系. 图中的直线为对离散的数值模拟结果应用最小二乘法进行线性拟合得到的结果, 由线性拟合的直线可以得到本文所分析的 Si 基 MSM 探测器在入射光波长为  $0.6\mu\text{m}$  时的响应率为  $0.18\text{A/W}$ . 这样在实际的光探测器的应用中, 根据探测器的响应率由输出电流大小可以计算得到入射光强的测量.

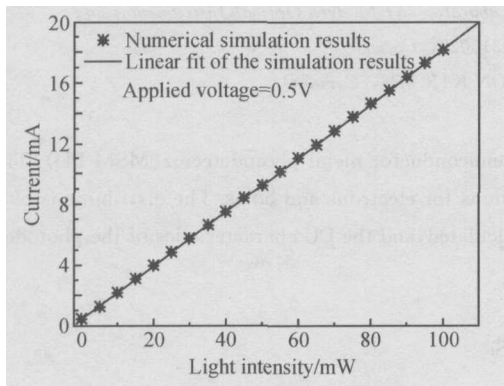


图8 外加偏置电压为  $0.5\text{V}$  时, 光照强度与光电流关系图

Fig. 8 Relation between illuminated light intensity and output current density when  $5\text{V}$  bias voltage is applied

## 4 结论

本文基于有限差分方法对 MSM-PD 进行二维分析, 得到与理论分析相符合的模拟曲线和结论, 并结合模拟结果对 MSM 光探测器的光电直流特性进行了分析, 证明此方法对于模拟 MSM 光电探测器是非常有效的. 因为全部模拟都是基于半导体物理的基本微分方程, 在计算过程中并没有进行人为的简化, 这样对于未来优化设计探测器的性能和结构有很大的意义.

## 参考文献

[1] Das M B. Optoelectronics detectors and receivers: speed and

sensitivity limits. 1998 Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials Devices, 1998: 15

- [2] Cho S Y, Seo S W, Brooke M A, et al. Integrated detectors for embedded optical interconnections on electrical boards, modules, and integrated circuits. IEEE J Sel Topics Quantum Electron, 2002, 8(6): 1427
- [3] Droge E, Böttcher E H, Kollakowski S, et al. 78 GHz distributed InGaAs MSM photodetector. Electron Lett, 1998, 34(23): 2241
- [4] Soole J B D, Schumacher H. InGaAs metal-semiconductor-metal photodetectors for long wavelength optical communications. IEEE J Quantum Electron, 1991, 27(3): 737
- [5] Kollakowski S, Böttcher E H, Lemm C, et al. Waveguide-integrated InP-InGaAs-InAlGaAs MSM photodetector with very-high vertical-coupling efficiency. IEEE Photonics Technol Lett, 1997, 9(4): 496
- [6] Aliberti K, Shen H, Stead M, et al. Frequency-dependent rectification current in metal-semiconductor-metal detectors. IEEE Photonics Technol Lett, 2002, 14(3): 381
- [7] Liou L C, Nabet B. Simple analytical model of bias dependence of the photocurrent of metal-semiconductor-metal photodetectors. Appl Opt, 1996, 35(1): 15
- [8] Sarto A W, van Zeghbrock B J. Photocurrents in a metal-semiconductor-metal photodetector. IEEE J Quantum Electron, 1997, 33(12): 2188
- [9] Xiang A, Wohlmuth W, Fay P, et al. Modeling of InGaAs MSM photodetector for circuit-level simulation. IEEE J Lightwave Technol, 1996, 14(5): 716
- [10] Wu Shu, Lin Shiming, Liu Wenkai. DC characteristics of metal-semiconductor-metal photodetector. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(11): 1462 (in Chinese) [武术, 林世鸣, 刘文楷. MSM 光探测器的直流特性. 半导体学报, 2001, 22(11): 1462]
- [11] Wang Qingkang, Shi Changxin, Bettermann W. Two dimensional simulation of characteristics of MSM photodetectors. Research and Progress of Solid-State Electronics, 1992, 12(4): 321 (in Chinese) [王庆康, 史常忻, Bettermann W. MSM 光电探测器特性二维数值模拟. 固体电子学研究进展, 1992, 12(4): 321]
- [12] Kurata M. Numerical analysis for semiconductor devices. Lexington, MA: Heath, 1982
- [13] Selberherr S. Analysis and simulation of semiconductor devices. New York: Springer-Verlag, 1984
- [14] Yoshii A, Kitazawa H, Tomizawa M, et al. A three-dimensional analysis of semiconductor devices. IEEE Trans Electron Devices, 1982, ED-29(2): 184
- [15] Ni Guangzheng, Qian Xiuying, et al. Numerical simulation of electromagnetic field. Beijing: Higher Education Press, 1996: 139 (in Chinese) [倪光正, 钱秀英, 等. 电磁场数值计算. 高等教育出版社, 1996: 139]
- [16] Sze S M. Physics of semiconductor devices. 2nd ed. New

- York:Wiley,1981
- [17] Nalwa H S. Photodetectors and fiber optics. Academic Press, 2001
- [18] Achour I S, Kadi H E, Sherif K, et al. Cutoff frequency and responsivity limitation of AlInAs/ GaInAs MSM PD using a two dimensional bipolar physical model. IEEE Trans Eletron Devices, 1995, 42(2) :231
- [19] Soole J B D, Schumacher H, LeBlanc H P, et al. High performance In<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>As/ In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As metal-semiconductor-metal photodetectors, 1989 Technical Digest of Electron Devices Meeting, 1989
- [20] Burm J, Eastman L F. Low-frequency gain in MSM photodiodes due to charge accumulation and image force lowering. IEEE Photonics Technol Lett, 1996, 8(1) :113
- [21] Lee H Y, Lee C T. Effect of wide band gap enhancement-capping layer on MSM-PDs. The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, 2003, 1 :111
- [22] Zhu Hongwei, Shi Changxin, Chen Yixin, et al. Investigation on characteristics of very low dark current InGaAs MSM-PD. Chinese Journal of Semiconductors, 1997, 18(1) :22 (in Chinese) [朱红卫, 史常忻, 陈益新, 等. 极低暗电流 InGaAs MSM-PD 的光电特性研究. 半导体学报, 1997, 18(1) :22]

## Analysis of MSM-PD's DC Characteristics Using a Two Dimensional Numerical Method

Yu Yichuan<sup>1</sup>, He Jianjun<sup>2</sup>, He Sailing<sup>1</sup>, and Zou Yongzhuo<sup>1</sup>

(1 Centre for Optical and Electromagnetic Research, State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

(2 Lightip Technologies, Inc, Ottawa, ON K1K4R8, Canada)

**Abstract:** A 2D finite-difference method is developed to study a metal-semiconductor-metal photodetector (MSM-PD). The numerical simulation is based on the Poisson equation and continuity equations for electrons and holes. The distributions of the electrical field, the carriers and the current density in the MSM-PD are calculated, and the DC characteristics of the photodetector are analyzed.

**Key words:** MSM photodetector; finite difference method; 2D; DC; Si

**EEACC:** 8220B

**Article ID:** 0253-4177(2005)04-0798-07

\* Project supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. 20044131095)

Yu Yichuan male, was born in 1980, PhD candidate. His research interests focus on semiconductor optoelectronic devices. Email :yuyich@coer.zju.edu.cn

He Jianjun male, was born in 1964, professor, senior member of IEEE Lasers and Electro-Optics Society. His current research interest is multifunctional photonic integrated circuits for optical communications.

He Sailing male, was born in 1966, professor, senior member of IEEE. His current research interest is planar lightwave circuits for optical communications.

Received 19 May 2004, revised manuscript received 12 October 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics