

GaAs 探测器与放大电路的单片集成*

杨沁清 高俊华

(中国科学院半导体研究所, 北京)

1989年4月6日收到

本文介绍一种结构简单且与 GaAs MESFET 的制备工艺相容的 GaAs MSM-PD 器件, 它可用作探测短波长激光. 文中介绍了 MSM-PD 的特性, 还叙述了它与 MESFET 放大电路的单片集成工艺. 最后给出了集成芯片测试的初步结果.

主题词 单片集成, 金属-半导体-金属光二极管 (MSM-PD), 金属肖特基栅场效应晶体管 (MESFET), 硅化钨

近年来, 光电集成器件 (OEIC) 已经引起人们的普遍重视, 在将来的高速大容量光通讯和数据处理中具有潜在的应用前景. 它的主要优点是在集成后可以减少限制速度、产生噪音的寄生阻抗, 还能缩小体积和提高可靠性. 已经有人研制出了激光器-驱动电路, 探测器 (如 PIN 或 APD)-放大电路的单片集成器件. 在光电集成器件中, 如激光器、PIN 探测器等这类光学器件是纵向结构器件, 而 MESFET 和由它组成的驱动电路或放大电路是横向结构器件. 两类器件在结构上和制造工艺上都非常不匹配, 这就给光电器件的单片集成带来较大的困难. 本文报道的是一种叫做金属-半导体-金属光二极管 (MSM-PD) 与由 GaAs MESFET 组成的放大电路的单片集成. MSM-PD 是作探测器用, 它与 MESFET 在结构上和制造工艺上都相容, 使单片集成变得非常容易.

一、MSM-PD 的结构与性能

MSM-PD 在结构上非常简单, 在半绝缘 GaAs 衬底表面或在外延结构中的 GaAs 缓冲层表面做出两组相交插的梳状电极就形成了一个 MSM-PD 器件. 这两组电极与高阻的 GaAs 表面均形成肖特基接触, 构成背对背的肖特基二极管, 如图 1 所示. 当用一定波长的光照射电极之间的 GaAs 材料时, 就会产生光生载流子, 这些载流子受电极之间的外加电场的作用向电极漂移形成光电流. 这一光电流 I_p 是外加偏压 V_b 和输入光功率 W_L 的函数. 在制备 GaAs 电路时, 如采用离子注入工艺, 那么将 MSM-PD 制备在半绝缘 GaAs 表面是很方便的. 在本研究工作中, 曾在半绝缘 GaAs 片的表面上直接做上 WS_x 电极制备出 MSM-PD, 电极的宽度和间隔均为 $4\mu\text{m}$, 光敏面积为 $140\mu\text{m} \times 140\mu\text{m}$.

* 国家自然科学基金资助课题.

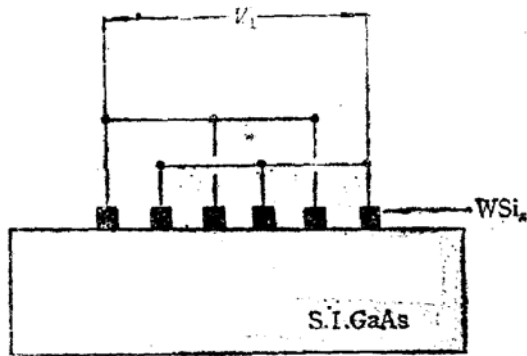
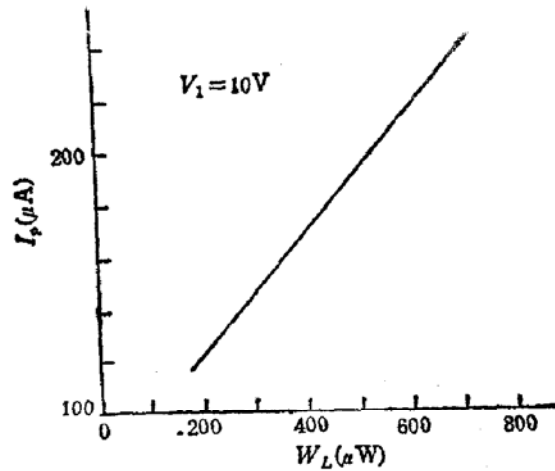


图1 MSM-PD 的结构

图2 MSM-PD 的光电流 I_p 与输入光功率 W_L 的关系

这样制备出来的 MSM-PD, 通常情况下击穿电压大于 50 伏, $V_1 = 5-20$ 伏时的暗电流一般在 $10-20\text{nA}$ 之间. 图 2 是测到的光电流 I_p 与输入光功率 W_L 之间的关系曲线. 这是一个线性关系. 由曲线可以计算出 MSM-PD 的灵敏度为 0.22A/W , 因为有一部分光被电极挡住, 灵敏度的实际值应为 0.44A/W . 测量 I_p 时, $0.83\mu\text{m}$ 波长的激光束是通过 $\phi 50\mu\text{m}$ 的光纤引照到 MSM-PD 上的. 这一光束未全部覆盖光敏面积. 封装出的 MSM-PD 单管测到的电容值为 0.2pF , 与外加偏压无关. 测到的电容值包含管壳电容在内, 实际 MSM-PD 器件的电容值比 0.2pF 小, MSM-PD 是能高速工作的器件.

二、单片集成的实现

从上面的讨论可以看出, MSM-PD 是一种结构简单易于制备的探测器件. 我们采用半绝缘 GaAs 为衬底, 以离子注入 Si 来形成 MESFET 的沟道区, 以 WSi_x 为栅电极来制备放大电路, MSM-PD 就可以制备在同一芯片的半绝缘 GaAs 表面上. MSM-PD 与 MESFET 在结构上的相互关系如图 3 所示. 单片集成电路的制备工艺主要有两种: 一种是台面化结构; 一种是平面化结构. 对于前一种结构来说, 主要的工艺步骤如下:

(一) 对半绝缘 GaAs 片进行表面制备; (二) 对 GaAs 表面进行 Si 离子注入; (三) 用扩散炉在 N_2 气氛下、Si 片覆盖进行非稳态退火, 退火条件为 $750-900^\circ\text{C}$, $1-2$ 分钟; (四) 腐蚀出 MESFET 区的台面, 实现 MESFET 之间的电学隔离; (五) 溅射和 RIE 腐蚀 WSi_x , 形成 MSM-PD 的电极和 MESFET 的栅电极; (六) 制备 MESFET 的欧姆接触电极和互连线. 对于平面化结构来说, 制备工艺有些不同. 在表面制备好以后, 进行 AlN_x 膜的溅射淀积, 接着腐蚀掉 MESFET 区内的 AlN_x 膜, 并进行选择性离子注入 Si. 在溅射淀积 WSi_x 之前, 先把 MSM-PD 区内的 AlN_x 膜腐蚀掉露出半绝缘 GaAs 的表面, 然后进行 WSi_x 膜的溅射和腐蚀. 由于采用选择性离子注入, MESFET 之间就自然地形成电学隔离. 在平面化的结构中, 对 MESFET 也可以采用自对准离子注入工艺以改善 MESFET 的性能, 这样工艺上还需作一些相应的调整.

图 4 给出了单片集成所用的电路结构。由图可以看出,它是由一个探测器,一个放大级和一个跟随器组成。MSM-PD 电极宽度和间隔仍为 $4\mu\text{m}$, 光敏面积为 $100\mu\text{m} \times 100$

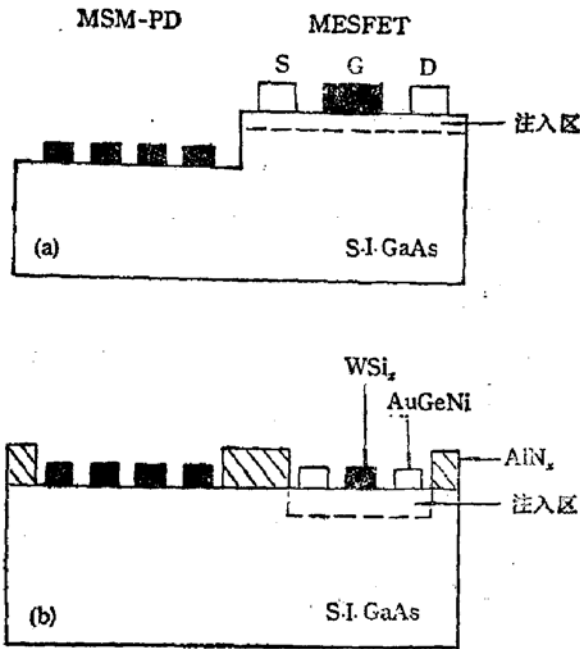


图 3 MSM-PD 与 MESFET 的结构关系
(a) 台面化结构 (b) 平面化结构

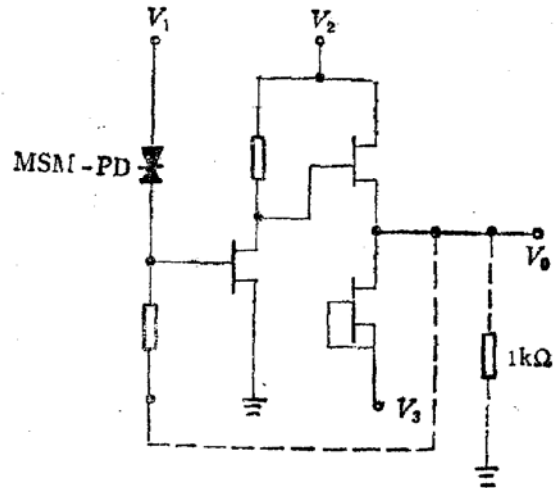


图 4 单片集成用的电路结构
(虚线为外接)

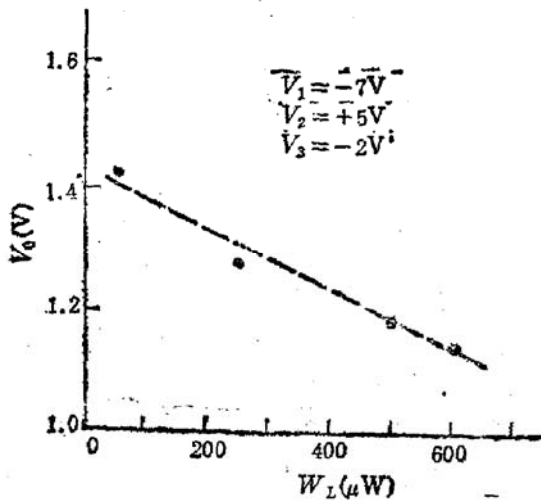


图 5 输出电平 V_0 与输入光功率 W_L 之间的关系

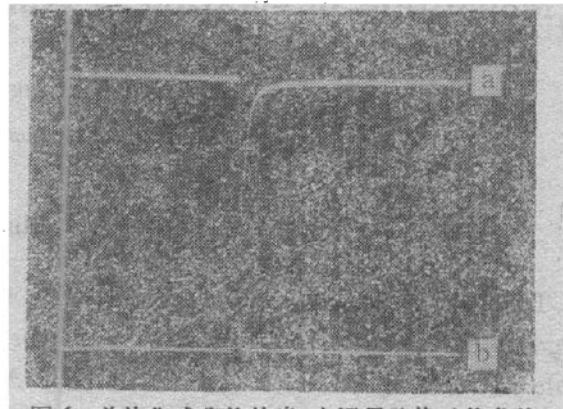


图 6 单片集成芯片的光-电讯号转换功能曲线。
曲线 a: 图 4 中电路的输出电平 V_0 的波形; 曲线 b: 引照到图 4 中 MSM-PD 上的激光束波形。由流过激光器的电流表示

μm ; MESFET 的 $L_g = 4\mu\text{m}$, $W_g = 120\mu\text{m}$, 源-漏之间的间隔 $L_{DS} = 12\mu\text{m}$ 。图 5 给出了测得的输出电平 V_0 与输入光功率 W_L 之间的关系。图中还给出了测量时的偏置条件。从 V_0-W_L 的关系可以计算出电路的电压灵敏度为 $40\text{mV}/100\mu\text{W}$ 。测量时, 输出端跨接了一个 $1\text{k}\Omega$ 的电阻, 实际应用中是不能接一个那么大的电阻的, 它将影响电路的工作速度。图 6 给出了测到的集成芯片对输入光讯号产生的电讯号响应输出, 具有光讯号对电讯号的转换功能。测量时, 由一个调制电源给一个 GaAlAs/GaAs 激光器供电, 由激光器发出的受调制的光束通过 $\phi 50\mu\text{m}$ 的光纤引照到中测台上所测芯片的 MSM-PD 上, 从所测芯片电路的输出端测量其输出的电讯号响应。图 6 中激光束的调制情况用流过激光器的调制电流来表示。由于条件的限制, 目前尚不能对制备出的电路进行高速测

量。

三、结 语

在 GaAs 材料上制备 MSM-PD 具有结构简单、易于制备又与 GaAs MESFET 的制备工艺相容的特点,使得在 GaAs 片上短波长探测器与放大电路的单片集成变得非常容易,已经从我们的工作中得到证实。我们用两种不同的工艺结构制备出了这种单片集成电路,初步测定了它的一些性能与功能。下面将要创造一些条件改进工艺提高电路性能并测量它的高速工作的性能指标。

作者愿借此机会向半导体所七室工艺线的部分同志以及公共工艺研究室的程美乔、周帆同志表示我们的谢意,感谢他们对我们工作上的支持和帮助。

参 考 文 献

- [1] T. Sugeta *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **19**, 459 (1980).
- [2] M. ITQ *et al.*, *IEEE Electron Device Letters*, **EDL-5**, 531 (1984).

Monolithic Integration of Amplifier with MSM-PD on GaAs

Yang Qinqing and Gao Junhua

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

Abstract

The monolithic integration of amplifier with MSM-PD is described. The amplifier is composed of three MESFETs and two resistors. The MSM-PD, as a detector, is formed by a couple of interdigital electrodes on S. I. GaAs substrate. Ion implantation of Si is used [to form the channels of MESFETs and WSi_x is used] for gate electrodes of MESFETs and electrodes of MSM-PD. Sensitivities of MSM-PD and amplifier are measured to be 0.44A/W and 40mV/100 μ W, respectively.

Key words monolithic integration, MSM-PD, MESFET, WSi_x