

小面积 PN 结的光电特性

尹长松

黄黎蓉

(武汉大学物理系 武汉 430072)

(中国地质大学物理部 武汉 430074)

摘要 用 P 型硅材料制作了小面积 NP 结光电二极管, 测试了二极管的光电特性。若按杂质扩散区的受光面积计算, 在同样的光照下, 小面积光电二极管的光电流密度是常规面积光电二极管光电流密度的 100 倍以上。究其原因, 在于杂质扩散区周边一个少数载流子扩散长度范围内, 光生载流子对光电流的贡献。因此, 当杂质扩散区为一个点时, 光敏感区的面积趋于恒定值 πL_a^2 , 有效光吸收区体积趋于 $(2\pi L_a^3)/3$ 。

PACC: 0762, 8630J

1 前言

硅光电二极管已有甚多的工作, 作为光探测器件, PN 结杂质扩散区的面积, 在通常情况下都为平方毫米级或以上。随着硅光探测器件向着高速与超高速发展^[1,2], PN 结杂质扩散区的面积越作越小, 扩散区图形的边长达 $10\mu\text{m}$ 级。由于很薄的金属化布线层都有强的光吸收, 例如, 25nm 厚度的铝层, 其光透射率仅为 1.5%, 25nm 厚度的金层, 其光透射率仅 10%^[3]。作为半导体器件引线用的金属化层, Al 的厚度一般在 $1\mu\text{m}$ 左右, 光透射率趋近于零。因此, 对于小面积 NP 结, 在表面制作金属引线层后, 杂质扩散区的受光面积就非常小了。这时, 作为感光的探测器件, 其光探测能力与光探测机制是值得探讨的。

2 小面积光电二极管结构

小面积光电二极管试验器件采用 P 型硅单晶, $1.5\Omega \cdot \text{cm}$ 电阻率, 扩散 N 型掺杂层, 背面作 P⁺层杂质扩散, 形成为 N⁺PP⁺结构。器件图形及尺寸设计如图 1(a)所示, 其结构剖面如图 1(b)。在图中, 杂质扩散区的光敏区仅为直径 $10\mu\text{m}$ 的圆形区与宽度为 $5\mu\text{m}$ 的缺环形区(图 1(a)外圆环中有斜线的区域)。在图 1(b)中的光照箭头符号表示平面结内有效的受光范围。

在图 1(b)的结构中, N⁺区掺磷杂质, 深结环区结深度为 $1\mu\text{m}$, 表面浓度为 10^{20}cm^{-3} 。

尹长松 男, 副教授, 从事半导体器件教学与光探测器、传感器的研制及其应用工作

黄黎蓉 女, 助教、理学硕士, 从事物理基础课教学工作

1995 年 5 月 27 日收到初稿, 1995 年 7 月 18 日收到修改稿

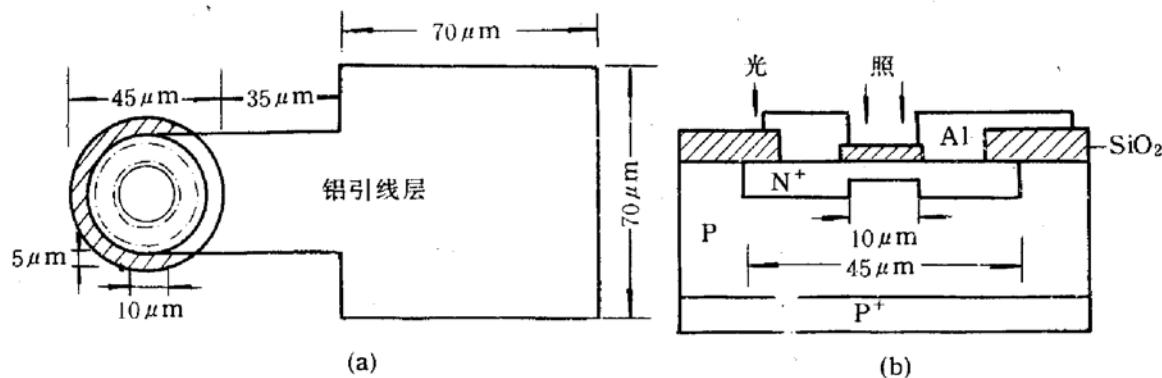


图 1 小面积 NP 结光电二极管的图形及剖面结构

浅结 N^+ 区结深度为 $0.5\mu m$, 表面浓度为 $10^{19}cm^{-3}$. 场区 SiO_2 层的厚度为 $245nm$.

3 测试与分析

对小面积 NP 结光电二极管进行了光谱响应的测量. 测量工作在均匀单色光照下进行, 光源为溴钨灯, 经恒流源稳定电流, 用干涉滤光片获得均匀单色光. 干涉滤光片为美国 IL 公司 NBS 系列, 透射中心波长分别为 500、600、700、800、900nm, 透射半宽度为 $2\sim 3nm$, 有效光斑直径为 15mm. 光功率密度用标准探头探测, 标准探头用 RS-5900 型电校准热释电辐射计(美国 Laser Precision Corp.)标定. 光电流由数字电压表测量标准电阻上的电压得到. 二极管的工作电压为 5V.

为对比分析, 将光敏面积为 $1mm^2$ 的硅光电二极管作参考管在同样的条件下进行测试. 该参考管经多次测量, 其光谱响应具有代表性, 有好的比较效果.

对本文工作制得的小面积光电二极管与参考光电二极管测得的光电流强度, 分别以 I_{LS} 与 I_{LR} 表示, 有代表性的结果列于表 1 中. 上述光电流强度分别以各自的有效受光面积(杂质扩散区内扣除铝引线层后的受光面积)折算为光电流密度, 分别以 J_{LS} 与 J_{LR} 表示. 参考二极管的受光面积为 $1mm^2$, 因此 $J_{LR}(\mu A/mm^2)$ 的数值就是表 1 中 $I_{LR}(\mu A)$ 的数值. 对于本文工作的小面积器件, 在杂质扩散区内的受光面积 $A_s=410\mu m^2$. 光电流密度之比 $\xi=J_{LS}/J_{LR}$. J_{LS} 与 ξ 的值均列于表 1 中.

表 1 在不同的光波长光照下, 两种二极管的光电流及其比较

波长/nm	500	600	700	800	900
$I_{LR}/\mu A$	0.19	0.62	1.18	0.98	0.89
I_{LS}/nA	10	32	61	48	45
$J_{LS}/(\mu A \cdot mm^{-2})$	24.4	78.0	148.8	117.0	109.8
$\xi(J_{LS}/J_{LR})$	127	126	126	120	123

半导体 PN 结的光电效应来源于 PN 结势垒区内的电场对光生电子与光生空穴的收集与分离作用. 势垒区的电场将冶金结线两边 P 区的光生少子——电子扫向 N 区一边, 将 N 区的光生少子——空穴扫向 P 区一边, 形成光电流. 在这一运动过程中, 中性的 P 区与中性的 N 区内, 均限于距离势垒区边界一个少子扩散长度内的光生少数载流子. 这些运动的载

流子不仅包括平面结两边的区域,也包括表面结周边、衬底材料中距离势垒区边界一个少子扩散长度范围的区域。这说明对于 PN 结光电二极管,在均匀光照下,不仅要考虑杂质扩散区内平面结的光吸收,还必需考虑表面结外、衬底材料区距离势垒区边界一个少子扩散长度内的光吸收。当杂质扩散区面积较大,即平面结面积较大时,上述后者的光吸收处于次要地位,甚至可以忽略。当杂质扩散区面积极小时,上述后者的光吸收将是主要的,而平面结部分的光吸收几乎可以忽略。本文工作中的 NP 结就属于平面结极小的范围,光吸收区主要在平面结周边外一个少子扩散长度范围内的衬底材料区。

当平面结的面积极小,达到一个极限,平面结成为一个点时,光敏感区的面积并不为零,而趋于一个极限。对于 P 型衬底,光敏区的极限表面积是以平面结中心为圆心、以衬底中光生少子(电子)的扩散长度为半径的圆面积,即 πL_n^2 。对于 N 型衬底则为 πL_p^2 , L_p 为衬底中光生少子(空穴)的扩散长度。器件的有效光吸收区也趋于一个极限值,即以平面结中心为原点、以光生少子扩散长度为半径的半球体,对于 P 型与 N 型衬底材料分别为 $(2\pi L_n^3)/3$ 与 $(2\pi L_p^3)/3$ 。从概念上说,在半球形体内光吸收产生的少数载流子都对光电流有贡献,也就是说在一定的均匀光照下,结型光电二极管的光电流有一个极小值。

参 考 文 献

- [1] S. Cova *et al.*, Rev. Sci. Instrum., 1989, **60**: 1104.
- [2] 尹长松, 黄黎蓉, 等, 第八届全国半导体集成电路与硅材料学术会议论文集, 杭州, 1993: 481.
- [3] W. L. Bond, J. Opt. Soc. Amer., 1954, **44**: 429.

Photoelectric Character of Small Area PN Junction

Yin Changsong

(Physics Department, Wuhan University, Wuhan 430072)

Huang Lirong

(Physics Sector, Chinese Geoscience University, Wuhan 430074)

Received 27 May 1995, revised manuscript received 18 July 1995

Abstract The photoelectric character of the small area NP junction of silicon has been investigated. We measured the photocurrent of the device and found that the photocurrent density J_{LS} of the small area NP junction photodiode is much higher than that J_{LR} of the usual area photodiode according to the sensitive area within the dopant diffused region. The super high photocurrent density J_{LS} is due to the contribution of photogenerated minority carriers in the area around the edges of the diffused dopant range to the photocurrent. When the diffused area is a point, the light sensitive area tends to πL_n^2 .