



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106972080 A

(43)申请公布日 2017. 07. 21

(21)申请号 201710278501.X

H01L 31/0224(2006.01)

(22)申请日 2017.04.25

(71)申请人 中国工程物理研究院流体物理研究所

地址 621000 四川省绵阳市游仙区绵山路64号

申请人 李博婷

(72)发明人 赵娟 李博婷 李洪涛 李波
黄宇鹏 张信

(74)专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理有限公司 51214

代理人 徐静

(51)Int.Cl.

H01L 31/18(2006.01)

H01L 31/11(2006.01)

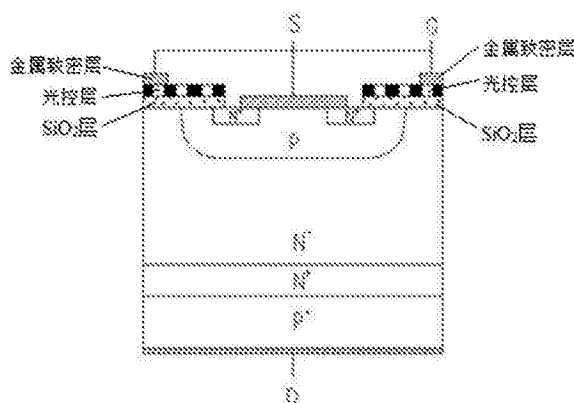
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法及结构

(57)摘要

本发明涉及半导体器件设计领域,针对现有技术存在的问题,本发明提供一种光控IGBT实现方法及装置。采用激光脉冲控制栅极下方半导体材料中导电沟道的形成,控制IGBT的通断,用于解决IGBT的绝缘隔离及状态转换时间长的问题。本发明在IGBT的栅极区底面SiO₂层上方制备一层用于导电透光的光控层;栅极外圈层顶层生成致密金属层并在其上连接引线连接到IGBT封装壳体栅极外电极;内圈层通过所述导电的光控层与外圈层连接;当激光脉冲辐照IGBT栅极,即激光脉冲辐照光控层的内圈层时,使栅极下方P区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使N⁺、N区载流子能够渡越通过P区,从而使IGBT导通。



1. 一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于包括:

步骤1:在IGBT的栅极区底面SiO₂层正上方制备一层用于导电透光的光控层;栅极区除内圈层外的部分为外圈层;栅极外圈层部分在光控层上制备致密金属层;致密金属层通过引线连接到IGBT封装壳体栅极引出电极;内圈层区表面涂覆对800nm-1300nm波长的光透过率大于等于90%的保护层;

步骤2:在IGBT栅极与IGBT漏、源极之间设置限流电阻和稳压模块;IGBT栅极与输出电压为-5V至-15V的负极性输出稳压模块连接,通过稳压模块输出的负极性电压限定IGBT栅极电位,使稳态条件下IGBT栅极电位保持在阻断电位;限流电阻一端与IGBT漏极连接,另一端与稳压模块输入端连接;稳压模块输出端与IGBT栅极连接,稳压模块地线端与IGBT源极连接;当IGBT栅极与源极直接短接且IGBT栅极与漏级之间无限流电阻时,IGBT栅极与源极同电位;

步骤3:当激光脉冲辐照IGBT栅极,即激光脉冲辐照光控层的内圈层时,在栅极下方的N⁺、P、N⁻区产生大量光生载流子,使P区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使N⁺、N⁻区载流子能够渡越通过P区,从而使IGBT导通;当IGBT栅极区内圈层未接收激光脉冲辐照时,IGBT关断;

其中外圈层区域指的是仅覆盖IGBT栅极下方的部分N⁻区的区域;内圈层指的是覆盖IGBT栅极区下方的P区及其两侧的部分N⁻及N⁺型半导体区的区域;外圈层与内圈层面积之和应小于等于栅极区底层SiO₂面积,即栅极区外圈层和内圈层应确保其与Si层之间有可靠的SiO₂绝缘。

2. 根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述光控层是低电阻率硅层或者金属栅网层;

所述低电阻率硅层制备过程是:通过使IGBT源极侧栅极区的Si层氧化生成约1μm-3μm厚度的SiO₂层后,采用脱氧还原工艺在SiO₂层上端面形成100nm到500nm厚度的硅层,再对形成的硅层进行掺杂,从而在SiO₂层上生长一层电阻率低于10⁴欧姆/厘米的低电阻率硅层;然后在外圈层区沉淀金属使其形成致密金属层连接引出电极;

所述金属栅网层制备过程是:通过使IGBT源极侧栅极区的Si层氧化生成约1μm-3μm厚度的SiO₂层后,在SiO₂层上首先采用磁控溅射或丝网印刷工艺生成大于等于1μm厚度的金属栅网,然后在外圈层区淀积金属使其形成致密金属层连接引出电极。

3. 根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述IGBT为圆形胞元结构时,源极侧栅极设计为圆形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为圆形,外圈层为环形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄环形结构;源极为与栅极区同心的环形结构,源极区下方为半导体材料层,源极为致密金属结构,推荐采用成熟的金属-半导体欧姆接触工艺制备;源极区与栅极区之间为宽度大于等于1μm的隔离间隙,该隔离间隙采用SiO₂覆盖。

4. 根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述金属栅网厚度为2μm-5μm;所述隔离间隙宽度为10μm-200μm。

5. 根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述IGBT为矩形胞元结构;源极侧栅极设计为矩形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为矩形结构,外圈层为方框形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭

窄方形结构;源极为与栅极区中心对称的环形结构;源极区与栅极区之间为宽度大于等于 $1\mu\text{m}$ (推荐值为 $10\mu\text{m}$ – $200\mu\text{m}$)的隔离间隙,推荐该间隙采用 SiO_2 覆盖。

6.根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述输出电压为 -5V 至 -15V 的负极性输出稳压模块采用单独的硅片加工,或与IGBT在同一硅片上加工。

7.根据权利要求1所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法,其特征在于所述限流电阻与稳压模块在同一硅片上加工,或采用外置分立器件。

8.一种基于权利要求1至6之一所述基于隧穿效应的光控IGBT实现方法的光控IGBT结构,其特征在于包括:

部分区域可透射激光的IGBT栅极结构,用于使栅极区电极下方 N^- 、 P 、 N^+ 半导体材料在激光辐照时形成隧穿区,进而形成导电通道;在IGBT的栅极区底面 SiO_2 层上制备一层用于导电透光的光控层;栅极区边缘部分为外圈层;栅极外圈层光控层上制备致密金属层;在致密金属层焊接引线连接到IGBT封装壳体的栅极外电极;

在IGBT栅极与IGBT漏、源极之间设置限流电阻和稳压模块;IGBT栅极与输出电压为 -5V 至 -15V 的负极性输出稳压模块连接,通过稳压模块输出的负极性电压限定IGBT栅极电位,使稳态条件下IGBT栅极电位保持在阻断电位;限流电阻一端与IGBT漏极连接,另一端与稳压模块输入端连接;稳压模块输出端与IGBT栅极连接,稳压模块地线端与IGBT源极连接;当IGBT栅极与源极直接短接且IGBT栅极与漏极之间无限流电阻时,IGBT栅极与源极同电位;

其中外圈层区域指的是仅覆盖IGBT栅极下方的部分 N^- 区域;内圈层指的是覆盖IGBT栅极区下方的 P 区及其两侧的部分 N^- 、 N^+ 型半导体区的区域;外圈层与内圈层面积之和应小于等于栅极区底层 SiO_2 面积,即栅极区外圈层和内圈层应确保其与 Si 层之间有可靠的 SiO_2 绝缘。

9.根据权利要求8所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT结构,其特征在于当激光脉冲辐照IGBT栅极,即激光脉冲辐照光控层的内圈层时,在栅极下方的 N^+ 、 P 、 N^- 区产生大量光生载流子,使 P 区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使 N^+ 、 N^- 区载流子能够渡越通过 P 区,从而使IGBT导通;在未使用激光脉冲辐照IGBT栅极时,当IGBT加电时,源极、漏极之间存在电压差,通过限流电阻和稳压模块构成的组件输出的负极性电压信号钳制栅极电位使其低于源极电位,栅极区下方 P 型层将邻近的 N 型层隔离,IGBT处于关断状态;当栅极直接与源极短接,则当IGBT加电且未使用激光脉冲辐照IGBT栅极时,IGBT栅极与源极同电位,IGBT也能够处于关断状态。

10.根据权利要求8所述的一种基于隧穿效应的光控IGBT结构,其特征在于所述IGBT为圆形胞元结构时,源极侧栅极设计为圆形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的 SiO_2 层、光控层为圆形,外圈层为环形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄环形结构;源极为与栅极区同心的环形结构;所述IGBT为矩形胞元结构,源极侧栅极电极区为矩形结构,中心区为内圈层,栅极的 SiO_2 层、光控层为矩形结构,外圈层为方框形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄方框形结构;源极为与栅极区中心对称的环形结构;源极区与栅极区之间为宽度大于等于 $1\mu\text{m}$ 的隔离间隙,推荐该间隙采用 SiO_2 覆盖;IGBT封装壳体对应栅极区的部分应采用透光性良好对 800nm – 1300nm 波长的光透过率大于等于90%的材料制备成窗口。

一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法及结构

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体器件设计领域,尤其是一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法及结构。

背景技术

[0002] 目前,IGBT均设计为电压控制器件(图1),栅极为金属电极,在栅极和源极之间施加足够高的正向驱动电压信号,在栅极下方的P区形成一个反型层,即N型导通沟道,经由这个通道,电子从源极区的N⁺区流向N⁻漂移区,直至邻近漏极的N区,使IGBT进入导通状态。当栅极与源极之间的正向驱动电压消失,栅极与源极同电位或低于源极电位时,IGBT截止。因此,目前IGBT的导通是由栅极驱动电压信号在栅极下方的P区形成N型导通沟道控制的,需要通过外部控制电路为栅极馈送正向电压信号。IGBT由截止状态向导通状态转换的时间受到驱动电路输出电流和IGBT栅极结构电容的制约,由于IGBT结构的限制,对额定工作电流数百安培以上的大功率IGBT而言,栅极结构电容较大,IGBT的状态转换时间通常在数十纳秒甚至数百纳秒以上。通过对IGBT栅极结构进行特殊设计并采用激光辐照方法触发,可以解决IGBT的绝缘隔离及状态转换时间慢的问题。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是:针对现有技术存在的问题,提供一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法及结构。通过设计特殊的栅极结构(增加光控层,并将栅极用于电极引出连接的致密金属层面积缩小至外圈层的范围)并使其通过限流电阻和稳压模块与IGBT源极、IGBT漏极连通,采用激光脉冲控制栅极下方导电沟道的形成,控制IGBT的通断,用于解决IGBT的绝缘隔离及状态转换时间长的问题。

[0004] 本发明采用的技术方案如下:

[0005] 一种基于隧穿效应的光控IGBT实现方法包括:

[0006] 步骤1:在IGBT的栅极区底面SiO₂层正上方制备一层用于导电透光的光控层;栅极区除过内圈层外的部分为外圈层;栅极外圈层部分在光控层上制备致密金属层;致密金属层通过引线连接到IGBT封装壳体栅极引出电极;内圈层区表面涂覆对800nm-1300nm波长的光透过率大于等于90%的保护层;

[0007] 步骤2:在IGBT栅极与IGBT漏、源极之间设置限流电阻和稳压模块;IGBT栅极与输出电压为-5V至-15V的负极性输出稳压模块连接,通过稳压模块输出的负极性电压限定IGBT栅极电位,使稳态条件下IGBT栅极电位保持在阻断电位;限流电阻一端与IGBT漏极连接,另一端与稳压模块输入端连接;稳压模块输出端与IGBT栅极连接,稳压模块地线端与IGBT源极连接;当IGBT栅极与源极直接短接且IGBT栅极与漏极之间无限流电阻时,IGBT栅极与源极同电位;

[0008] 步骤3:当激光脉冲辐照IGBT栅极,即激光脉冲辐照光控层的内圈层时,在栅极下方的N⁺、P、N⁻区产生大量光生载流子,使P区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使N⁺、

N⁻区载流子能够渡越通过P区,从而使IGBT导通;当IGBT栅极区内圈层未接收激光脉冲辐照时,IGBT关断;

[0009] 其中外圈层区域指的是仅覆盖IGBT栅极下方的部分N⁻区的区域;内圈层指的是覆盖IGBT栅极区下方的P区及其两侧的部分N⁻及N⁺型半导体区的区域;外圈层与内圈层面积之和应小于等于栅极区底层SiO₂面积,即栅极区外圈层和内圈层应确保其与Si层之间有可靠的SiO₂绝缘。

[0010] 进一步的,所述光控层是低电阻率硅层或者金属栅网层;

[0011] 所述低电阻率硅层制备过程是:通过使IGBT源极侧栅极区的Si层氧化生成约1μm-3μm厚度的SiO₂层后,采用脱氧还原工艺在SiO₂层上端面形成100nm到500nm厚度的硅层,再对形成的硅层进行掺杂,从而在SiO₂层上生长一层电阻率低于10⁴欧姆/厘米的低电阻率硅层;然后在外圈层区沉淀金属使其形成致密金属层连接引出电极;

[0012] 所述金属栅网层制备过程是:通过使IGBT源极侧栅极区的Si层氧化生成约1μm-3μm厚度的SiO₂层后,在SiO₂层上首先采用磁控溅射或丝网印刷工艺生成大于等于1μm(推荐值为2μm-5μm)厚度的金属栅网,然后在外圈层区淀积金属使其形成致密金属层连接引出电极。

[0013] 进一步的,所述IGBT为圆形胞元结构时,源极侧栅极设计为圆形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为圆形,致密金属层为环形结构,外圈层在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄环形结构;源极为与栅极区同心的环形结构,源极区下方为半导体材料层(通常为Si层),源极为致密金属结构,推荐采用成熟的金属-半导体欧姆接触工艺制备。源极区与栅极区之间为宽度大于等于1μm(推荐值为10μm-200μm)的隔离间隙,推荐该隔离间隙采用SiO₂覆盖。

[0014] 进一步的,所述IGBT为矩形胞元结构;源极侧栅极设计为矩形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为矩形结构;外圈层(致密金属层)为方框形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄方框形结构。源极为与栅极区中心对称的环形结构。源极区与栅极区之间为宽度大于等于1μm(推荐值为10μm-200μm)的隔离间隙,推荐该间隙采用SiO₂覆盖。

[0015] 进一步的,所述输出电压为-5V至-15V的负极性输出稳压模块采用单独的硅片加工,或与IGBT在同一硅片上加工。

[0016] 进一步的,所述限流电阻与稳压模块在同一硅片上加工,或采用外置分立器件。

[0017] 进一步的,所述基于隧穿效应的光控IGBT实现方法的光控IGBT结构包括:

[0018] 部分区域可透射激光的IGBT栅极结构,用于使栅极区电极下方N⁻、P、N⁺半导体材料在激光辐照时形成隧穿区,进而形成导电通道;在IGBT的栅极区底面SiO₂层上制备一层用于导电透光的光控层;栅极区边缘部分为外圈层;栅极外圈层光控层上制备致密金属层;在致密金属层焊接引线连接到IGBT封装壳体的栅极外电极;

[0019] 在IGBT栅极与IGBT漏、源极之间设置限流电阻和稳压模块;IGBT栅极与输出电压为-5V至-15V的负极性输出稳压模块连接,通过稳压模块输出的负极性电压限定IGBT栅极电位,使稳态条件下IGBT栅极电位保持在阻断电位;限流电阻一端与IGBT漏极连接,另一端与稳压模块输入端连接;稳压模块输出端与IGBT栅极连接,稳压模块地线端与IGBT源极连接;当IGBT栅极与源极直接短接且IGBT栅极与漏极之间无限流电阻时,IGBT栅极与源极同

电位;

[0020] 其中外圈层区域指的是仅覆盖IGBT栅极下方的部分N⁻区区域;内圈层指的是覆盖IGBT栅极区下方的P区及其两侧的部分N⁻、N⁺型半导体区的区域;外圈层与内圈层面积之和应小于等于栅极区底层SiO₂面积,即栅极区外圈层和内圈层应确保其与Si层之间有可靠的SiO₂绝缘。

[0021] 进一步的,当激光脉冲辐照IGBT栅极,即激光脉冲辐照光控层的内圈层时,在栅极下方的N⁺、P、N⁻区产生大量光生载流子,使P区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使N⁺、N⁻区载流子能够渡越通过P区,从而使IGBT导通;在未使用激光脉冲辐照IGBT栅极时,当IGBT加电时,源极、漏极之间存在电压差,通过限流电阻和稳压模块构成的组件输出的负极性电压信号钳制栅极电位使其低于源极电位,栅极区下方P型层将邻近的N型层隔离,IGBT处于关断状态;当栅极直接与源极短接,则当IGBT加电且栅极未受光照时,IGBT栅极与源极同电位,IGBT也能够处于关断状态。

[0022] 进一步的,所述IGBT为圆形胞元结构时,源极侧栅极设计为圆形结构,栅极电极区中心部分为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为圆形;外圈层(致密金属层)为环形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄环形结构;源极为与栅极区同心的环形结构;所述IGBT为矩形胞元结构,源极侧栅极电极区为矩形结构,中心区为内圈层,栅极的SiO₂层、光控层为矩形结构,外圈层(致密金属层)为方框形结构,在栅极外边缘,是沿栅极边界的一个狭窄方框形结构;源极为与栅极区中心对称的环形结构。源极区与栅极区之间为宽度大于等于1 μm(推荐值为10 μm-200 μm)的隔离间隙,推荐该间隙采用SiO₂覆盖;IGBT封装壳体对应栅极区的部分应采用透光性良好对800nm-1300nm波长的光透过率大于等于90%的材料制备成窗口。

[0023] 综上所述,由于采用了上述技术方案,本发明的有益效果是:

[0024] 由于激光脉冲的瞬时功率较高、光子能量较大,在激光脉冲通过光控层辐照Si等半导体材料时,能够在极短时间内产生大量光生载流子,使IGBT栅极区P区宽度受到极大地压缩,在隧穿效应作用下,使N⁺、N⁻区载流子能够渡越通过P区,从而使IGBT快速导通,能有效解决IGBT关断与导通的时间长的问题。同时由于是通过激光脉冲控制IGBT的通断,使得IGBT栅极无需与触发控制电路连接,能够实现有效光电隔离,解决触发控制电路与IGBT主电路之间的绝缘隔离问题。

[0025] 栅极设计为透光性良好的栅网电极或半导体导电层,替代部分致密金属电极膜层。栅极设计为圈层结构:栅极区中心部分为内圈层,占栅极区较大部分面积,设计为透光性良好的栅网电极或低电阻率硅导电层,内圈层覆盖栅极区下方的P区及其两侧的部分N⁻、N⁺型半导体区,用于在栅极区形成使载流子可通过P区使N⁻、N⁺型半导体区连通的导电层,并构成透光性良好的栅极区,用于解决光脉冲馈入问题;外圈层在栅极区边缘,是沿栅极边界的一个狭窄环形结构,外圈层在栅网电极或低电阻率硅层上覆盖致密金属膜层,并与通过限流电阻与漏极连通、地电极与源极连通的稳压模块的输出极连通,或直接与源极连通,用于解决栅极负偏置电位钳制问题。

[0026] 在栅极与通过限流电阻与IGBT漏极相连接、地电极与源极相连接的输出电压为-5V至-15V的负极性输出稳压模块相连接,使稳态条件下栅极电位保持在阻断电位(一般是较源极电位低5-15V)。稳压模块及其与漏极之间连接的电阻可以采用分立元件,也可以在

IGBT硅片上一体化设计或采用独立硅片加工。用于解决栅极电位控制问题。

[0027] 本发明的IGBT无需外接栅极驱动电路,其栅极与IGBT外部可无需电连接,其触发控制由激光脉冲完成,其触发控制系统与IGBT之间自然形成良好的光电隔离,因此,其栅极与其触发控制系统、外电路及邻近部件/系统的绝缘问题可以较为容易地解决。同时,由于半导体材料的光电效应响应时间极短,故隧穿通道的形成时间也极短,且不存在采用外置触发控制电路时存在的栅极注入电流极限和寄生参数引起的振荡等制约,因此,采用本发明提出的IGBT结构及其触发控制方法可以极大地缩短IGBT的状态转换时间及延迟时间,使其触发控制抖动也得到较大降低。

附图说明

[0028] 本发明将通过例子并参照附图的方式说明,其中:

[0029] 图1是现有技术中IGBT典型结构示意图

[0030] 图2本发明的IGBT电路原理图;

[0031] 图3本发明的IGBT结构示意图;

[0032] 图4本发明的IGBT圆形胞元结构俯视图;

[0033] 图5本发明的IGBT矩形胞元结构俯视图;

具体实施方式

[0034] 本说明书中公开的所有特征,或公开的所有方法或过程中的步骤,除了互相排斥的特征和/或步骤以外,均可以以任何方式组合。

[0035] 本说明书中公开的任一特征,除非特别叙述,均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换。即,除非特别叙述,每个特征只是一系列等效或类似特征中的一个例子而已。

[0036] 本发明相关说明:

[0037] 1、低电阻率硅层指的是电阻率低于 10^4 欧姆/厘米的硅构成的层状结构。

[0038] 2、栅极区下方的P区指的是图2中栅极下方, N^- 区和 N^+ 区之间的区域。

[0039] 3、栅极阻断电位是较源极电位低5-15V的电位。

[0040] 设计过程:现有技术的IGBT典型结构如图1所示,IGBT漏极、源极区设计为在硅层上采用金属-半导体欧姆接触工艺制备致密金属膜层,栅极区设计为在硅层上制备 SiO_2 层后再在 SiO_2 层上制备致密金属膜层,源极和栅极之间有绝缘隔离间隙;源极、漏极、栅极均通过引出线与IGBT封装壳体上的对应块状金属电极连接。本发明中对IGBT的栅极结构进行改进,为了能够尽量沿用现有工艺,Si层结构不变,源极、漏极、栅极相对位置亦保持不变,源极、漏极结构也沿用现有设计和制备工艺,栅极区仍采用现有氧化工艺制备 SiO_2 层,但厚度增厚至 $1\mu m-3\mu m$,然后在 SiO_2 层上制备导电性、透光性良好的光控层。可采用两种类型的光控层:1)低电阻率硅层:采用脱氧还原工艺在制备好的 SiO_2 层上端面形成100nm到500nm厚度的硅层,再对形成的硅层进行掺杂,从而在 SiO_2 层上生长一层电阻率低于 10^4 欧姆/厘米的低电阻率硅层;2)在 SiO_2 层上首先采用磁控溅射或丝网印刷等工艺生成大于等于 $1\mu m$ (推荐 $2\mu m-5\mu m$)厚度的金属栅网。然后在外圈层区淀积金属使其形成致密金属层连接引出电极。其中栅极区 SiO_2 层、光控层为圆形结构或矩形结构,致密金属层为圆环形或方框形结

构;本发明提出的新型IGBT结构如图2、图3所示。本发明的技术要点是:如图3、4、5所示栅极区内圈层部分设计为透光性良好的导电层(光控层),替代部分金属电极;外圈层设计为在光控层外边缘部分制备圆环形或方框形致密金属膜层的部分,并通过引线将其与IGBT封装壳体上的块状金属电极连接。栅极与稳压模块输出端相连接,稳压模块与漏极通过限流电阻相连接,稳压模块地电极与源极相连接,使稳态条件下栅极电位保持在阻断电位(一般是较源极电位低5-15V),并使用激光脉冲控制IGBT的导通和关断。连接在栅极与漏极、源极之间的限流电阻和稳压模块可以采用分立元件,也可以在IGBT硅片上一体化设计或采用独立硅片加工。其中沿垂直方向栅极分为三层,从上到下依次是金属致密层、光控层以及SiO₂层;从水平方向栅极分为两部分,即内圈层和外圈层

[0041] 首先,对圆形胞元结构的IGBT,本发明提出的结构如图3、4所示,与现有IGBT结构一致,栅极也设计在IGBT源极侧,栅极仍为圆形结构,源极电极区面积、与栅极区之间的绝缘隔离间隙和栅极区面积均采用现用设计参数。栅极设计为圈层结构:栅极区靠近中心的内圆部分为内圈层,占栅极区较大部分面积(推荐比例4/5);栅极区剩余部分为外圈层;栅极区的SiO₂绝缘层上制备导电且透光性良好的金属栅网结构或低电阻率硅层(简称光控层);内圈层电极不采用致密金属层,其电极仅为金属栅网结构或低电阻率硅层,用于导电且可透过激光,内圈层覆盖栅极区下方的P型半导体区及其两侧的部分N型半导体区,使得内圈层栅极能够在其下方的半导体材料中形成良好的控制电场构型,同时,也使激光可以穿透栅极内圈层电极进入栅极区下方的硅材料中;外圈层在栅极区外边缘,是沿栅极边缘的一个狭窄环形结构,外圈层在光控层上制备致密金属层。致密金属层可以直接与源极连通或通过引出线连接到稳压模块的输出极,稳压模块的地电极与源极连通、输入端通过限流电阻与漏极相连接,使栅极与源极同电位或低于源极电位。推荐栅极外圈层(致密金属层)连接到可输出-5V至-15V负极性电压的稳压模块的输出极,以确保IGBT可靠关断。栅极区光控层推荐采用低电阻率硅层,可通过在生成栅极区的SiO₂层时增加SiO₂厚度1μm到3μm,然后再采用脱氧还原工艺形成100nm到500nm厚度的硅层,再对形成的硅层进行掺杂,从而在SiO₂层上生长一层低电阻率硅层。再在该低电阻率硅层上对应外圈层区域制备致密金属层连接引出电极,对应内圈层区涂覆透光性良好的保护层(对800nm-1300nm波长的光透光率大于等于90%)即可。如内圈层采用金属栅网电极,则是在栅极区的SiO₂层上首先生成金属栅网,然后,再在外圈层区淀积金属使其形成致密金属层连接引出电极。本发明提出的新型IGBT无需外接栅极驱动电路。

[0042] IGBT栅极可以直接与源极连通或通过引出线连接稳压模块输出极,使栅极区与源极同电位或低于源极电位。在IGBT栅极通过引出线连接稳压模块输出极时,由于稳压模块可为栅极提供相对源极电位为负极性的钳位电压,可减小IGBT漏电流并提高IGBT关断的可靠性。稳压模块可采用现有成熟工艺与限流电阻一起采用单独的硅片加工,也可以与IGBT在同一硅片上加工,推荐与IGBT在同一硅片上加工。稳压模块和限流电阻也可以采用分立元件。

[0043] 在未对栅极区内圈层进行激光辐照时,栅极区下方P型层将邻近的N⁻、N⁺型层隔离,使IGBT处于关断状态。

[0044] 采用激光脉冲辐照栅极区时,由于半导体材料的光电效应,在栅极下方的半导体材料中产生大量的光生载流子,这些载流子使IGBT栅极下方的P型半导体和N⁺、N⁻型半导体

构成的PN结宽度收到压缩,产生强烈的隧穿效应,进而使栅极下方的N⁺、N-型半导体之间形成导电通道,载流子从源极下的N⁺区向邻近漏极的N-区注入,该载流子电流为IGBT中的PNP型晶体管结构提供基极电流,IGBT导通。

[0045] 激光脉冲辐照结束,半导体材料中不再发生激光诱发的光电效应,IGBT栅极下方的P型半导体和N⁺、N-型半导体中的载流子迅速耗尽,IGBT栅极下方的P型半导体和N⁺、N-型半导体构成的两个PN结恢复截止状态,IGBT关断。

[0046] 本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合,以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。

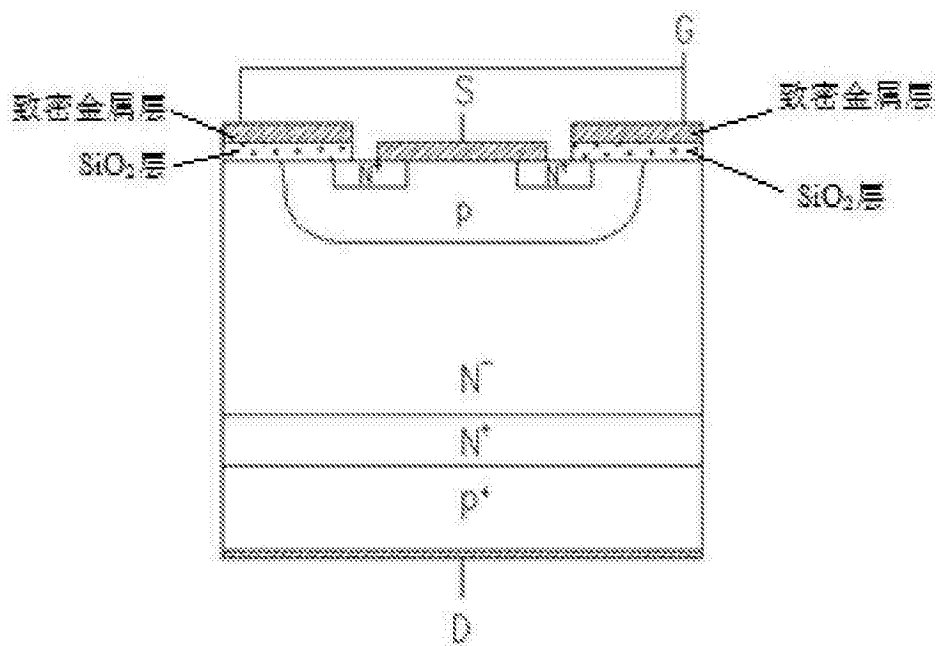


图1

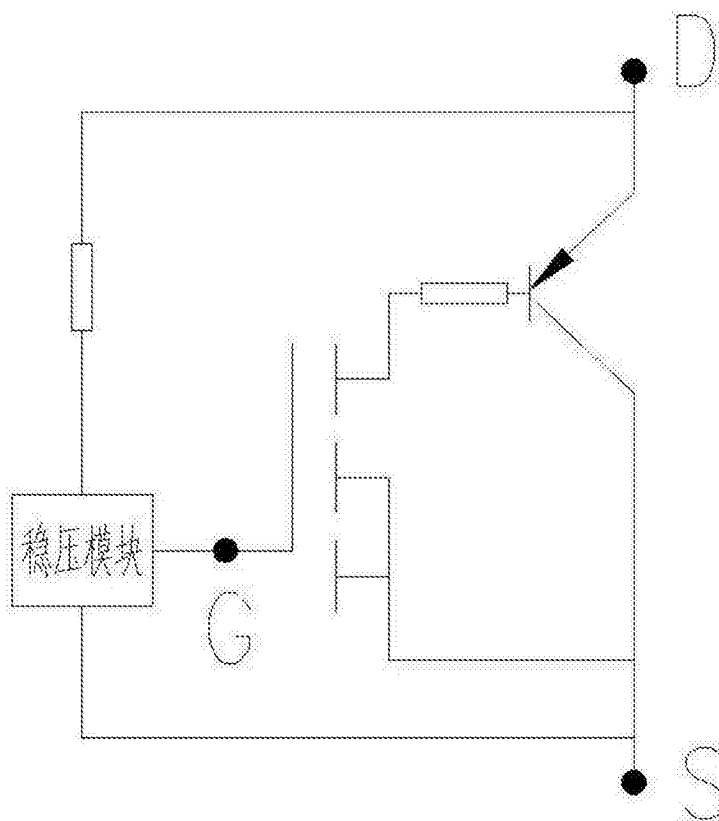


图2

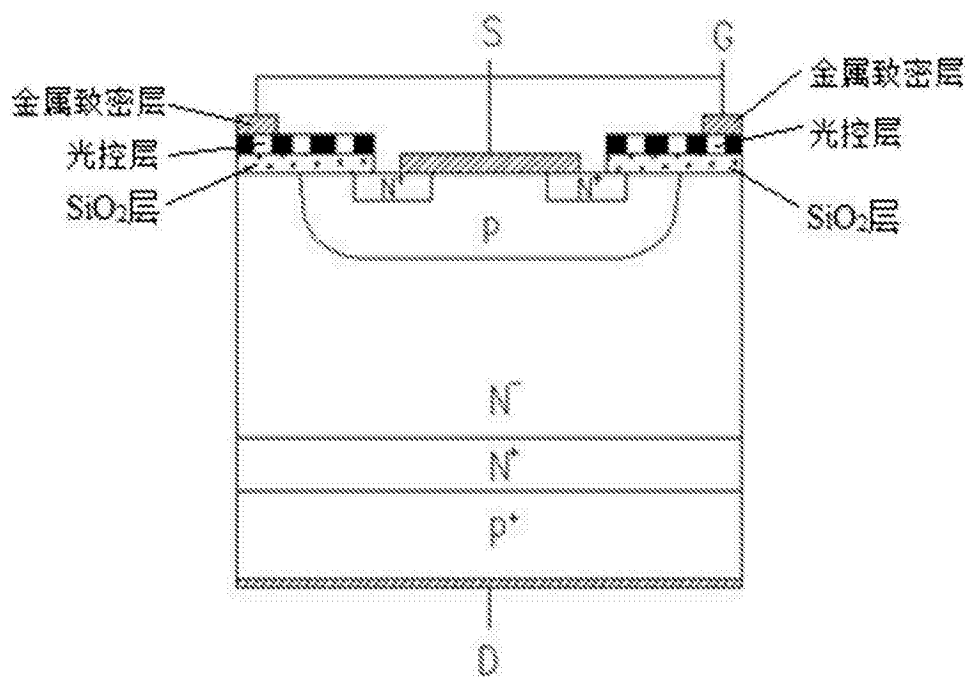


图3

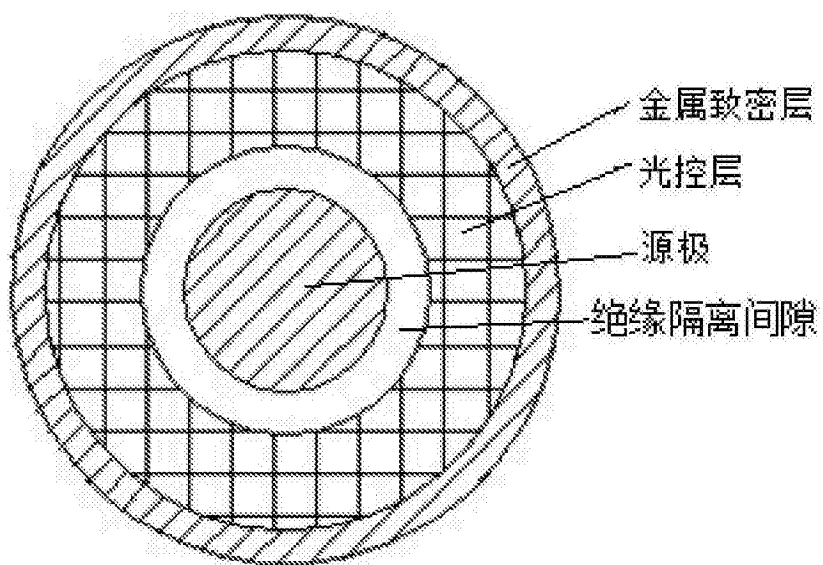


图4

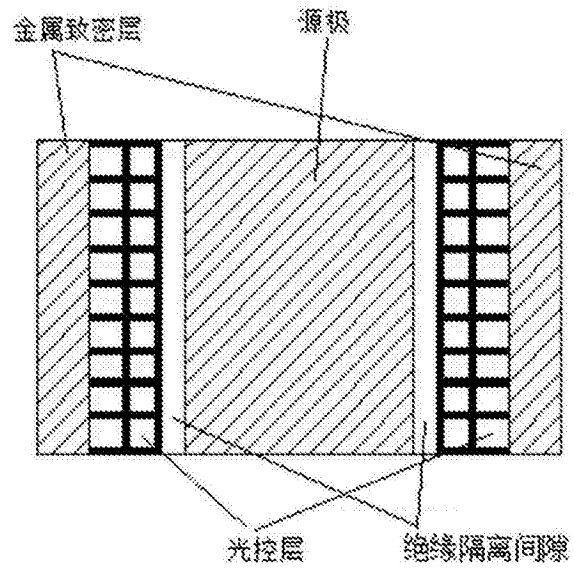


图5