



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110942990 A

(43)申请公布日 2020.03.31

(21)申请号 201911294276.4

(22)申请日 2019.12.16

(71)申请人 成都大学

地址 610000 四川省成都市外东十陵镇

(72)发明人 王阿署 曾令艳

(74)专利代理机构 成都行之专利代理事务所

(普通合伙) 51220

代理人 宋辉

(51)Int.Cl.

H01L 21/335(2006.01)

H01L 23/373(2006.01)

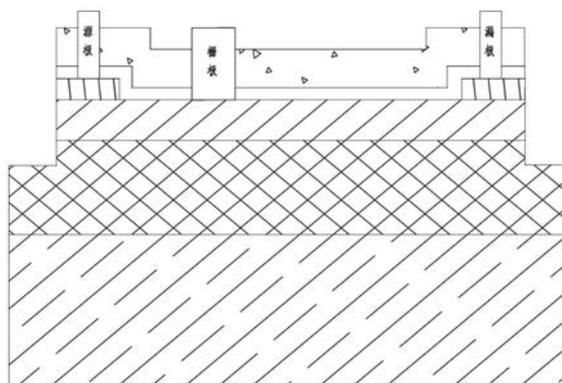
权利要求书1页 说明书4页 附图7页

(54)发明名称

一种AlGaN/GaN HEMT的热管理方法

(57)摘要

本发明公开了一种AlGaN/GaN HEMT的热管理方法,在AlGaN/GaN/Si衬底上,使用ICP方法在AlGaN和GaN层上刻蚀深槽用于器件之间的绝缘;使用电子束蒸发方法淀积欧姆接触电极;采用PECVD的方法生长钝化层;刻蚀源极和漏极处的钝化层;采用PECVD的方法生长金刚石热分散层;使用SiN作为保护层,采用ICP方法刻蚀金刚石层以形成源极、漏极及栅极窗口;刻蚀栅极处的钝化层;电子束蒸发淀积栅极电极。本发明能有效的降低器件的沟道温度,增加器件的漏电流输出,使其得到更好的散热效果。



1. 一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 在AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>/Si衬底上,使用ICP方法在AlGa<sub>N</sub>和Ga<sub>N</sub>层上刻蚀深槽用于器件之间的绝缘;

(2) 使用电子束蒸发方法淀积欧姆接触电极;

(3) 采用PECVD的方法生长钝化层;

(4) 刻蚀源极和漏极处的钝化层;

(5) 采用PECVD的方法生长金刚石热分散层;

(6) 使用Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>作为保护层,采用ICP方法刻蚀金刚石层以形成源极、漏极及栅极窗口;

(7) 刻蚀栅极处的钝化层;

(8) 电子束蒸发淀积栅极电极。

2. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,欧姆接触为Ti/Al/Ni/Au多层结构。

3. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,钝化层为SiO<sub>2</sub>或Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>材料。

4. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,钝化层的厚度为10-30nm。

5. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,金刚石热分散层的厚度为500-1000nm。

6. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,步骤(8)中栅极电极为Ni/Au。

7. 根据权利要求1所述的一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,其特征在于,淀积栅极电极后,通过电子束蒸发淀积一层金属层。

## 一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及半导体领域,具体涉及一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法。

### 背景技术

[0002] 第三代半导体材料Ga<sub>N</sub>及其合金AlGa<sub>N</sub>具有较大的自发和压电极化电荷。当这两种材料形成异质结时,在AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>界面处会产生较高的极化电荷密度,导致在靠近界面处的Ga<sub>N</sub>沟道中形成高密度的二维电子气(2DEG)。在此异质结上制备出源极、漏极及栅极即可形成场效应晶体管,通常称为AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT(高电子迁移率晶体管)。由于该器件的高载流子浓度和Ga<sub>N</sub>材料的宽禁带宽度,使得AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT表现出许多优良的特性,例如,能输出较高的功率、能承受较高的击穿电压、作为开关时其开关速度快和损耗小、能工作在高温和高辐射等恶劣环境中,在军民领域中均有较大的应用潜力。

[0003] 当AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT工作在高功率的条件下时,其沟道温度也会相应地升高,从而使载流子的迁移率降低,导致器件的漏电流减小,即自加热效应。所以,需要对器件使用恰当的热管理方法以减小其沟道温度,提高漏电流的输出。目前已报道采用的热管理方法如下:

[0004] 1) 通过刻蚀移除器件的衬底,再原子级的键合高热导的热沉,主要使用的热沉材料有金刚石和Al<sub>N</sub>。但是这种方法存在制作工艺复杂、成本高、稳定性差的问题;并且,新焊接的热沉和沟道间隔着约2微米的Ga<sub>N</sub>缓冲层,距离比较远,影响散热的效果;同时,在缓冲层Ga<sub>N</sub>和新焊接的热沉之间存在有高热阻的界面层,这也影响了散热的效果。

[0005] 2) 在衬底上刻蚀出一些洞穴,深度约为衬底的厚度,之后再在这些洞穴里淀积高热导的金刚石薄膜充当热沉的作用。对于这种方法,由于所要淀积的金刚石比较多,所以生长速度比较缓慢,影响其实用性。另一方面,高热导的金刚石距离沟道也间隔着Ga<sub>N</sub>的缓冲层,影响其散热的效果。

[0006] 3) 在器件表面上直接钝化Al<sub>N</sub>或者是键合Al<sub>N</sub>作为热沉,该方法中不足够高的Al<sub>N</sub>热导(约320W/mK)一定程度上限制了其热管理的效果。

### 发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题是现有的器件的沟道温度较高,漏电流的输出小,导致散热效率较低,目的在于提供一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,解决AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT器件的散热问题。

[0008] 本发明通过下述技术方案实现:

[0009] 一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,包括以下步骤:

[0010] (1) 在AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>/Si衬底上,使用ICP方法在AlGa<sub>N</sub>和Ga<sub>N</sub>层上刻蚀深槽用于器件之间的绝缘;

[0011] (2) 使用电子束蒸发方法淀积欧姆接触电极;

[0012] (3) 采用PECVD的方法生长钝化层;

- [0013] (4) 刻蚀源极和漏极处的钝化层；
- [0014] (5) 采用PECVD的方法生长金刚石热分散层；
- [0015] (6) 使用SiN作为保护层,采用ICP方法刻蚀金刚石层以形成源极、漏极及栅极窗口；
- [0016] (7) 刻蚀栅极处的钝化层；
- [0017] (8) 电子束蒸发淀积栅极电极。
- [0018] 具体的,欧姆接触为Ti/Al/Ni/Au多层结构;钝化层为SiO<sub>2</sub>或SiN材料。
- [0019] 其中,钝化层的厚度为10-30nm。金刚石热分散层的厚度为500-1000nm。步骤(8)中栅极电极为Ni/Au。
- [0020] 由于器件的热源集中在靠近漏极的栅极边缘处,所以本发明中集成的金刚石热分散层离热源非常近(中间只间隔了约20nm的AlGa<sub>0.3</sub>N势垒层),同时金刚石的热导比较大(约1000-2000W/mK),这两个有利因素使本发明的热管理方法比其它方法更好。例如,在相同的功率耗散下,使用AlN(热导约为320W/mK)作为热分散层时,漏电流增加8%,最大沟道温度降低13%,低于使用本发明的热管理方法得到的漏电流增加14%,沟道最大温度降低28%。
- [0021] 与现有的结构相比,本器件的结构能有效的提高漏电流,并且还能减少沟道的最大温度,有效的提高了散热效率。
- [0022] 并且,淀积栅极电极后,通过电子束蒸发淀积一层金属层。沉积一层金属层能更有利于本器件和外部连接使用。
- [0023] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:
- [0024] 本发明一种AlGa<sub>0.3</sub>N/GaN HEMT的热管理方法,通过在AlGa<sub>0.3</sub>N/GaN HEMT的表面集成一层金刚石作为热分散层,能有效的降低器件的沟道温度,增加器件的漏电流输出,使其得到更好的散热效果;
- [0025] 同时,本方法工艺简单,稳定性好,成本较低,更便于长期使用。

## 附图说明

- [0026] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:
- [0027] 图1为本发明AlGa<sub>0.3</sub>N/GaN/Si衬底结构示意图;
- [0028] 图2为刻蚀深槽结构示意图;
- [0029] 图3为淀积欧姆结构示意图;
- [0030] 图4为钝化层示意图;
- [0031] 图5为刻蚀源极和漏极处的钝化层结构示意图;
- [0032] 图6为高热导金刚石热分散层结构示意图;
- [0033] 图7为刻蚀金刚石层结构示意图;
- [0034] 图8为刻蚀栅极处电介质结构示意图;
- [0035] 图9为淀积栅极电极结构示意图;
- [0036] 图10为漏电流和沟道最大温度随漏电压变化情况示意图;
- [0037] 图11为从源极到漏极的沟道温度(T)变化示意图;
- [0038] 图12为有无金刚石热分散层时的漏电流和沟道最大温度随时间的变化示意图。

## 具体实施方式

[0039] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

### [0040] 实施例1

[0041] 本发明一种AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的热管理方法,晶片的基本结构为AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>/Si衬底,其结构如图1所示,图1中从上到下依次为AlGa<sub>N</sub>层、Ga<sub>N</sub>层、Si衬底;

[0042] (2) 使用ICP方法刻蚀深槽,如图2所示,用于器件之间的绝缘;

[0043] (3) 使用电子束蒸发方法淀积Ti/Al/Ni/Au欧姆接触电极,如图3所示;

[0044] (4) 采用PECVD的方法生长20nm的SiO<sub>2</sub>或Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>钝化层,如图4所示,以消除表面态,抑制电流的崩塌效应;

[0045] (5) 如图5,刻蚀源极和漏极处的钝化层;

[0046] (6) 如图6,采用PECVD的方法生长500nm的高热导金刚石热分散层;

[0047] (7) 如图7所示,使用Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>作为保护层,采用ICP方法刻蚀金刚石层以形成源极、漏极及栅极窗口;

[0048] (8) 如图8所示,刻蚀栅极处电介质SiO<sub>2</sub>或Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>;

[0049] (9) 如图9所示,电子束蒸发淀积Ni/Au栅极电极;

[0050] (10) 电子束蒸发淀积一层金属以利于和外部连接。

[0051] 通过本技术方案,可以减小AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT的自加热效应,增加器件的漏电流输出。

### [0052] 实施例2

[0053] 将AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT在有和无表面集成的金刚石热分散层时漏电流(IDS)和沟道最大温度(T<sub>max</sub>)随漏电压(VDS)变化情况进行检测,得到如图10所示的结果。

[0054] 图10描述了AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT在有和无表面集成的金刚石热分散层时漏电流(IDS)和沟道最大温度(T<sub>max</sub>)随漏电压(VDS)变化情况对比的仿真结果。从图10中可以看出,器件在有表面集成的金刚石时,漏电流会有明显的增加,而沟道的最大温度会有明显的减少,例如,在漏电压为15V时,漏电流增加了14%,沟道最大温度减小了28%。随着器件漏电压的增加,即功率越大的时候,这种热分散的效果越明显。

### [0055] 实施例3

[0056] 对器件从源极到漏极的沟道温度(T)变化情况进行检测,得到图11。

[0057] 图11描述了从源极到漏极器件的沟道温度(T)沿着AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>界面的分布情况的仿真结果。从图中可以看出,器件有金刚石热分散层时其沟道温度会有明显的降低,特别是在靠近漏极的栅极边缘处,即沟道中温度最高的位置,温度的降低最为明显。

### [0058] 实施例4

[0059] 对器件在有金刚石热分散层和无金刚石热分散层时的漏电流和沟道最大温度随时间(t)的变化进行对比检测,得到图12。

[0060] 图12描述了器件工作在瞬态的条件下,即器件的漏电压VDS=15V保持不变,栅极电压从关态跳变到开态(即栅极电压为0V)时,在器件有和无金刚石热分散层时漏电流和沟道最大温度随时间(t)的变化对比的仿真结果。从图中可以看出,在器件跳变到开态的最初

始阶段,器件的自加热效应不明显,因此热分散层还未起作用。随着时间的增加,沟道温度也逐渐增加,自加热效应开始变得明显,这时,热分散层也开始起作用,它使得漏电流和沟道温度受自加热效应的影响更小。

[0061] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

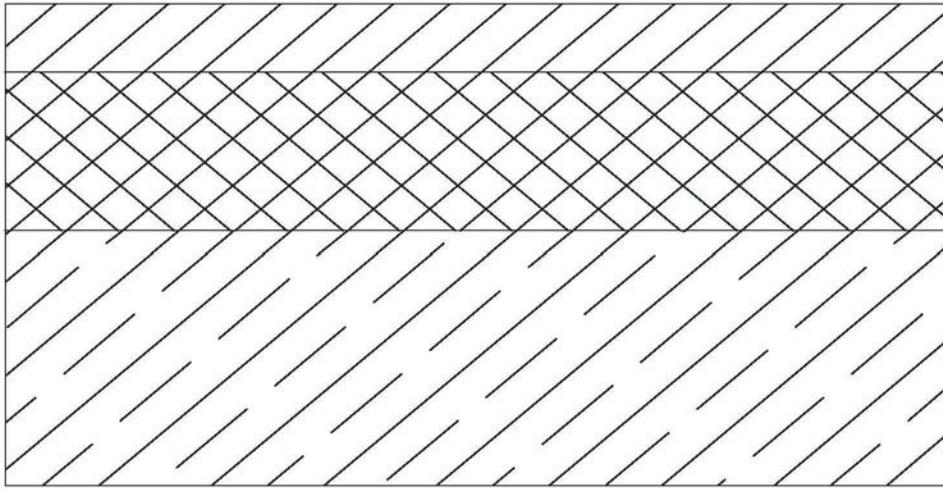


图1

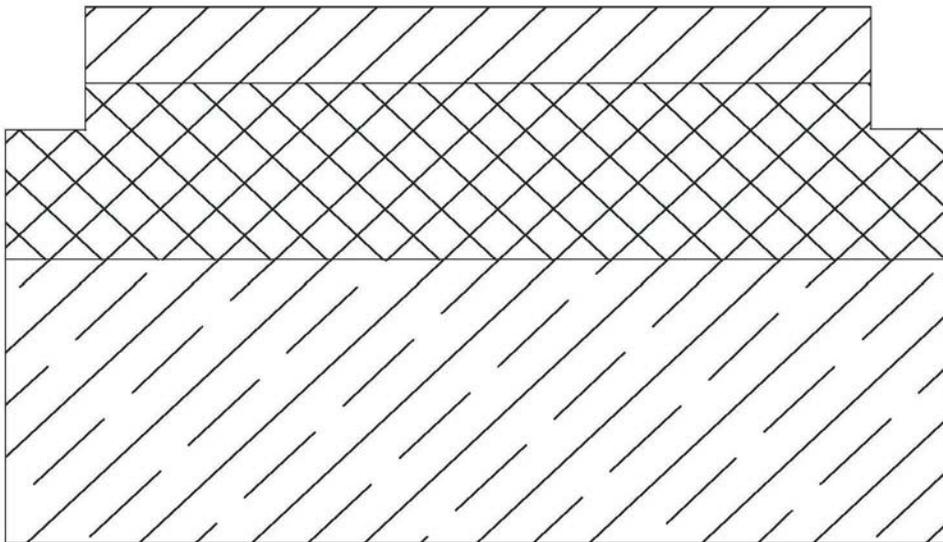


图2

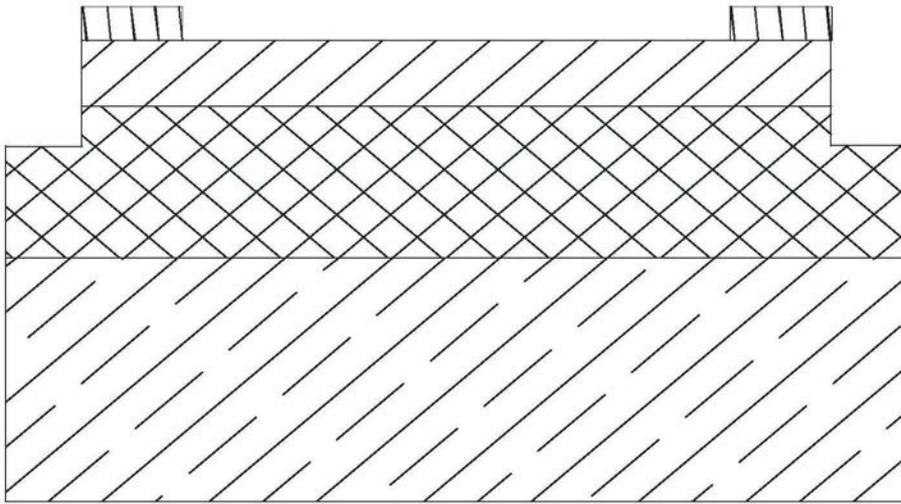


图3

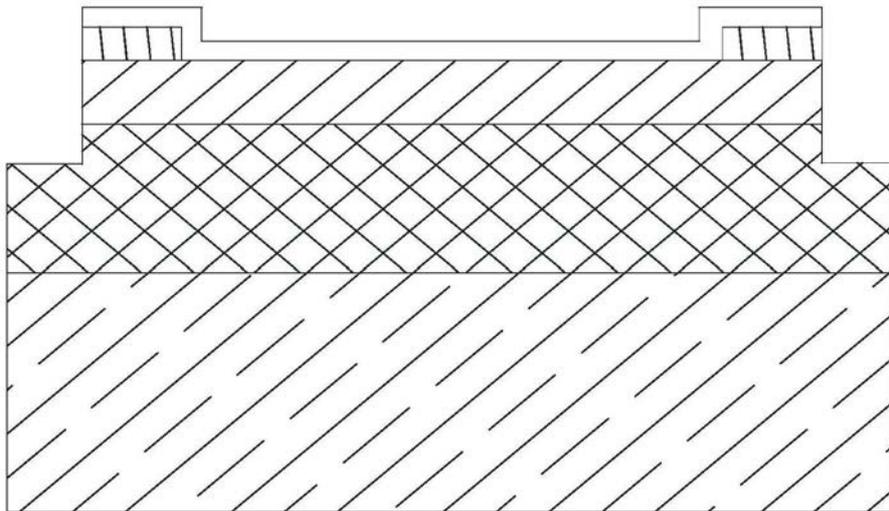


图4

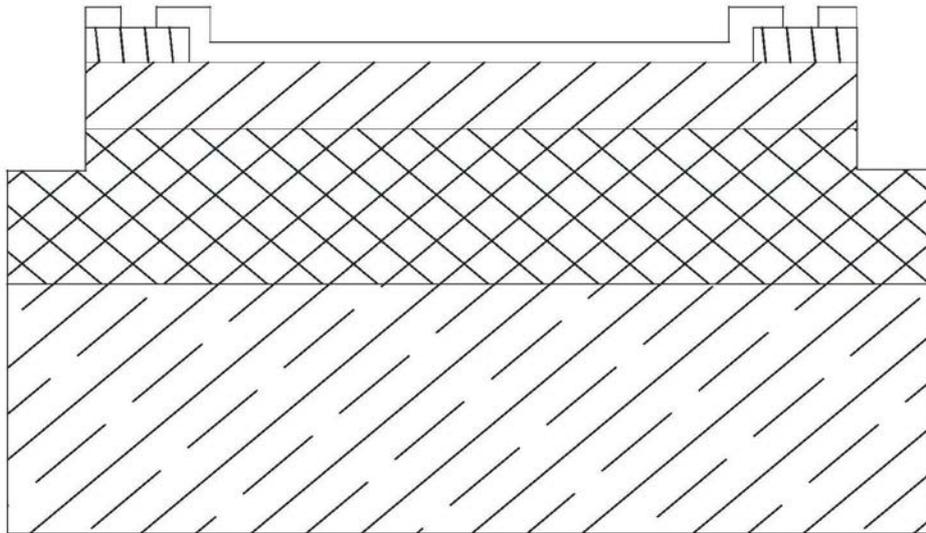


图5

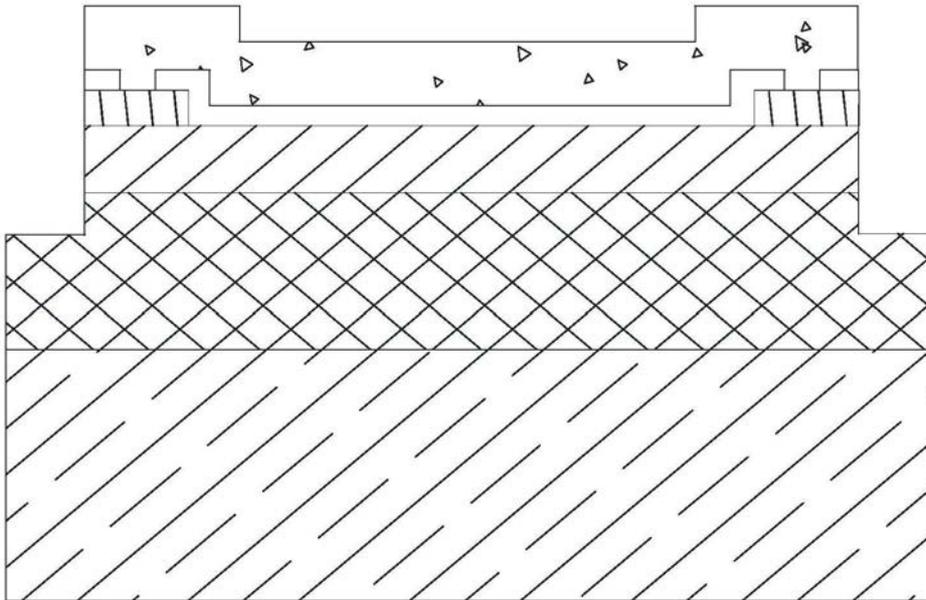


图6

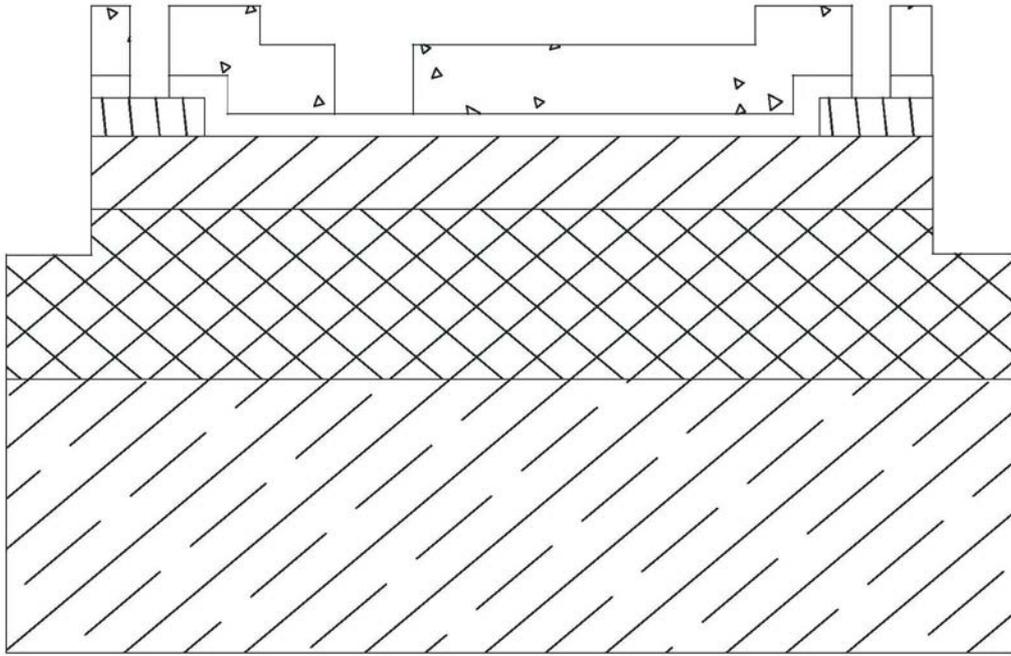


图7

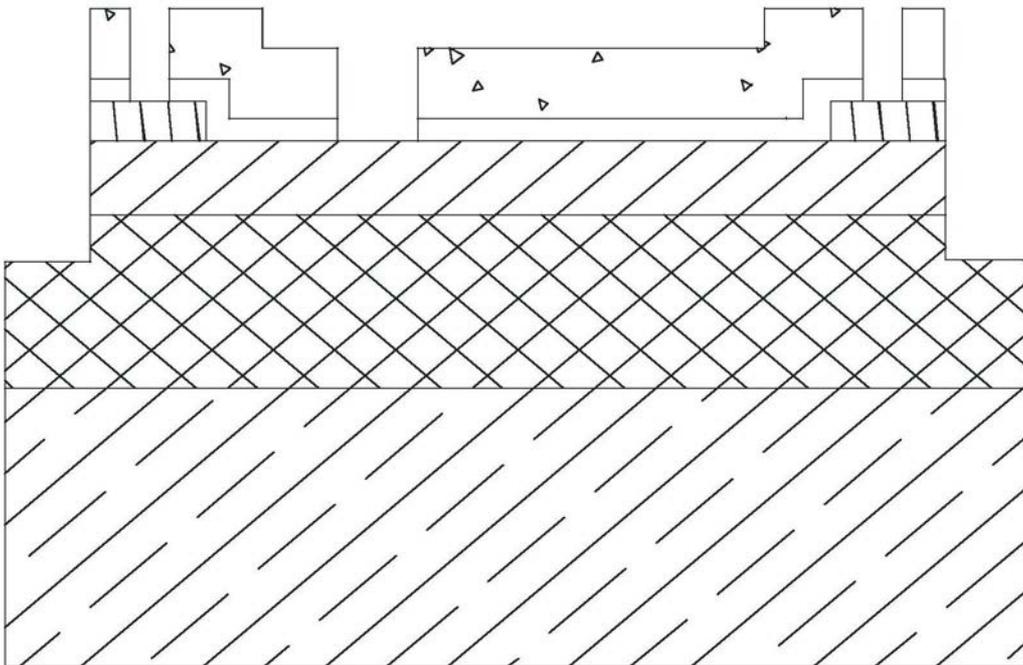


图8

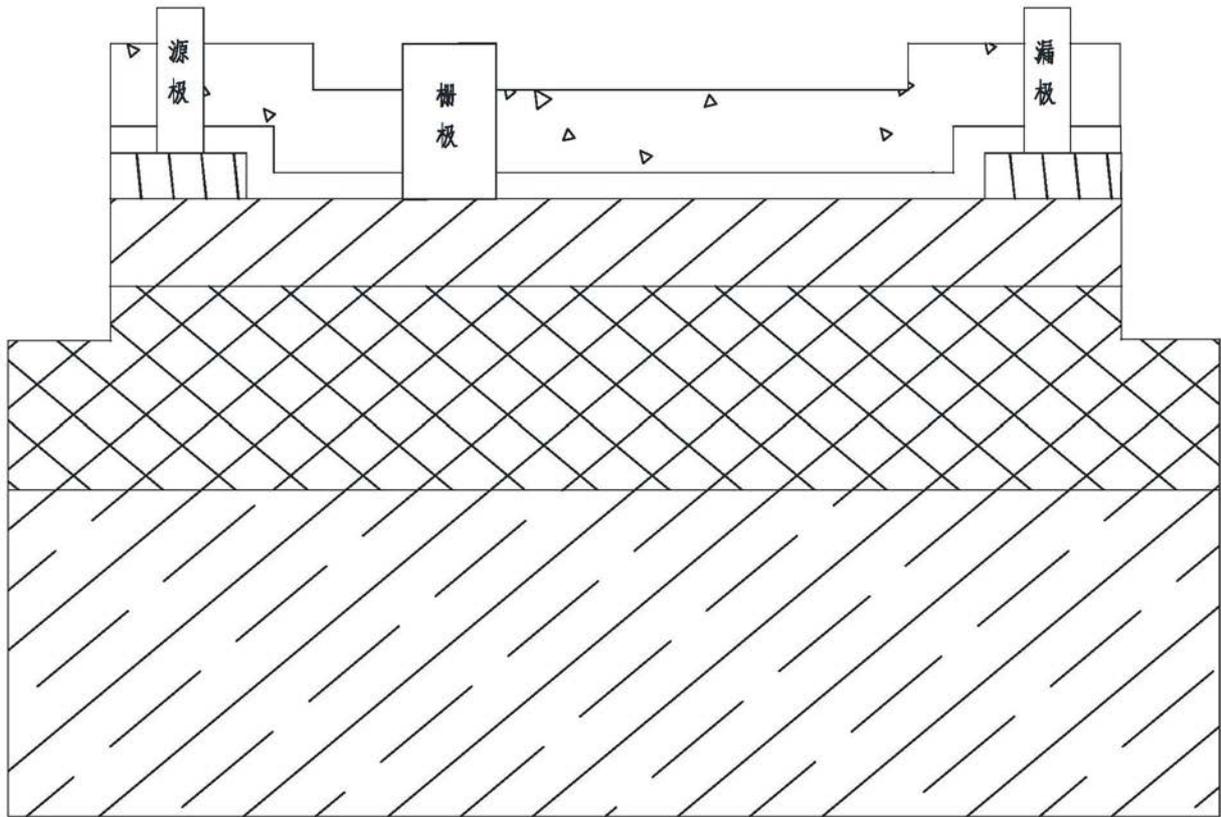


图9

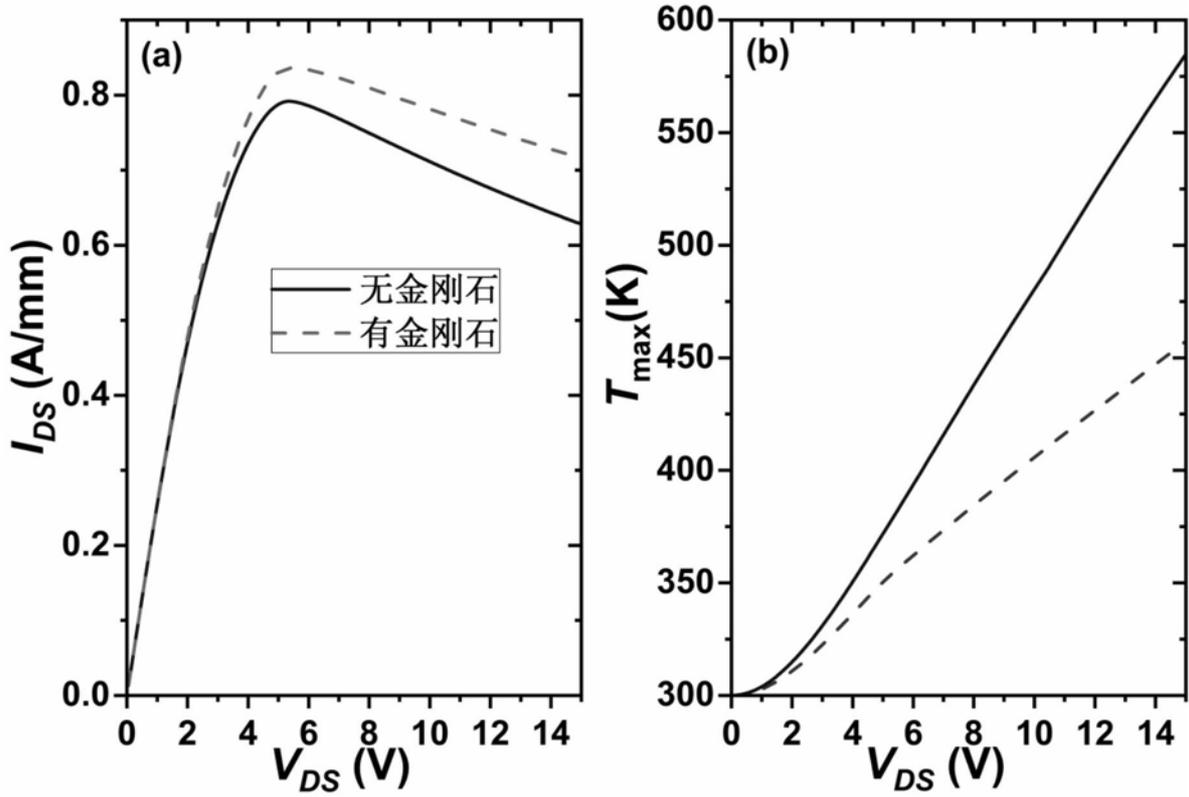


图10

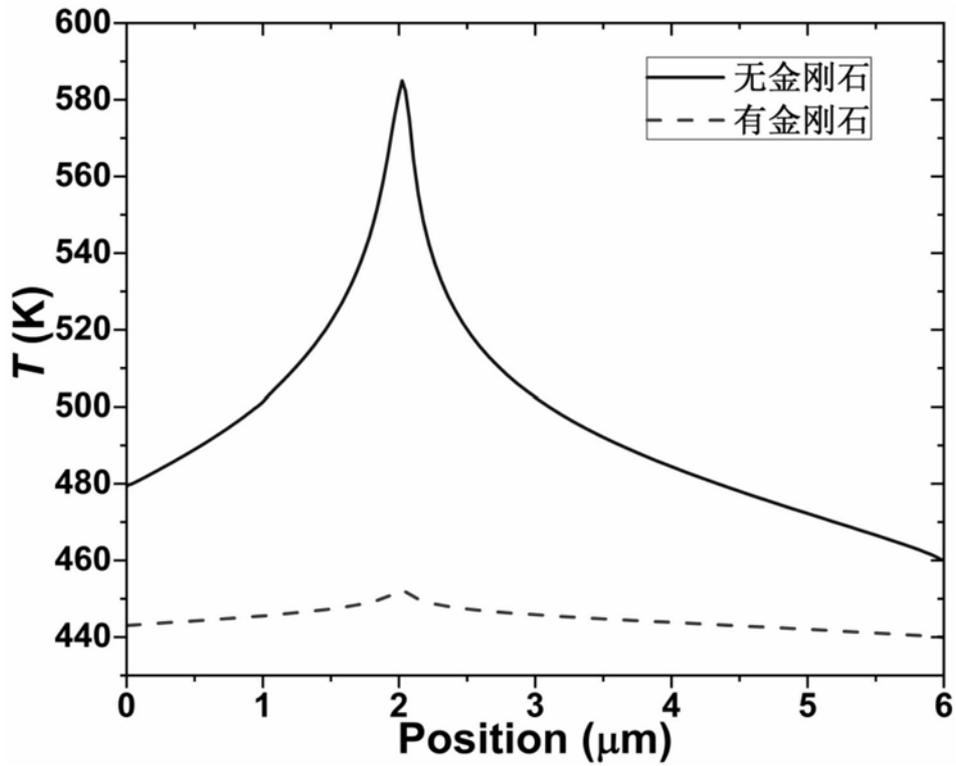


图11

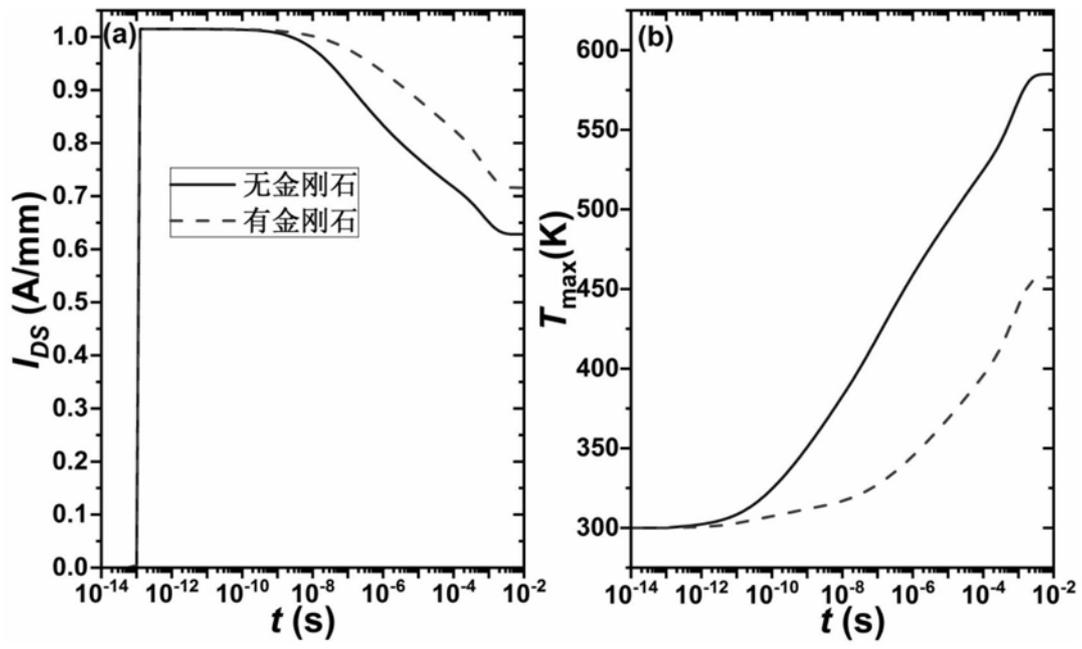


图12