

# 一种新的非均匀减薄法——选择阳极氧化法

高凤升 龚秀英 葛永才  
(中国科学院半导体研究所,北京)

**摘要** 提出了一种新的非均匀减薄法,即选择阳极氧化法。用于  $n^+-n-n^{++}$  GaAs 高低结雪崩二极管的  $n^+$  层厚度的控制,使器件的效率达到理论值。

**关键词** 半导体工艺;减薄技术;选择阳极氧化

## 1. 引言

大功率、高效率  $n^+-n-n^{++}$  GaAs 高低结雪崩二极管对  $n^+$  层的厚度要求极为苛刻,当  $n^+$  层厚度厚于耗尽层宽度时,管子就不起振;而等于雪崩区宽度时,管子就可达最高效率。通常要求  $n^+$  层厚度在零点几个微米的范围内,这样的精度一般的外延法是难以达到的,所以只好在器件加工过程中进行减薄。众所周知,一般的化学腐蚀法是无法达到这样的精度的。它和阳极氧化法、离子剥离法一样,皆为均匀剥离。也就是说,如果外延生长的  $n^+$  层厚度不均匀,那么经过这种方法剥离后,最终得到的  $n^+$  层厚度仍将是 不均匀的,因而大大影响管芯的成品率。为解决这一问题,我们依据阳极氧化的氧化电压差、氧化物颜色与  $n^+$  层厚度的对应关系提出了非均匀减薄法,即选择阳极氧化法。这一方法可将原始厚度不均匀的  $n^+$  层,经减薄最终达到基本均匀。从而大大提高了高效率管子的成品率。在采用这一工艺以前,绝大多数管子不起振,连续波输出功率在一瓦以上的管芯极少。增加这一工序后,一瓦以上的管芯显著增加。最佳结果是,一瓦以上的管芯,有一个片子出了430多个,另一片出了170多个。此外,这一方法应用于毫米波 GaAs 混频管,也获得了很好的结果。可见选择阳极氧化法是很吸引人的。

## 2. 基本原理

通常的阳极氧化法是均匀剥离法。采用后面给出的实验装置(见图4)及实验条件,在反向恒流下,阳极氧化  $n^+-n-n^{++}$  高低结 GaAs 片子。其氧化电压随时间变化的特性曲线如图1所示。A、B和C这3条起始电压相同的平行直线是在  $n^+$  层内氧化时绘出的。由于  $n^+$  的浓度固定,则A、B、C3点的电压相等。由三探针核实表明,它恰好是  $n^+$  浓度所对应的击穿电压。D线的起始电压升高表明,经减薄后,反向偏压已耗尽到  $n$  区,由于  $n$  层浓度低、电阻高,故起始电压升高。直线斜率也有变化。利用A、B、C、D、E这族直线系即可对  $n^+$  层进行控制氧化剥离。这种均匀阳极氧化法仅对  $n^+$  层厚度均匀的片子才有实用意义。我们在实验中发现,氧化电压差(氧化终止电压与氧化起始电压之差)、氧化物厚度和氧化物颜色之间的对应关系如表1所示。依据这种简单关系,我们提出了一

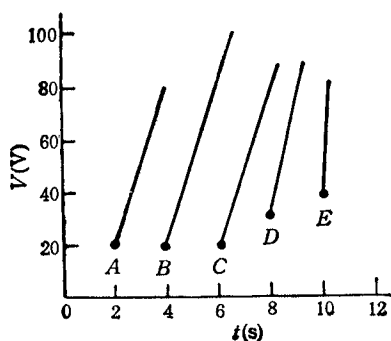
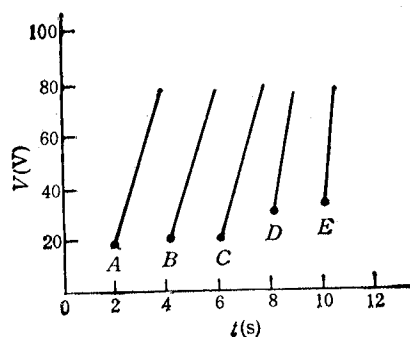
图1 均匀阳极氧化的  $V-t$  特性曲线图2 选择阳极氧化的  $V-t$  特性曲线

表 1

氧化电压差 (V)	氧化物厚度 ( $\text{\AA}$ )	氧化物颜色
10		无色
20—40	300—400	金黄色
40—50	600—700	粉色
60—70	800—900	蓝色
80—90	900—1000	紫色
100	12000	绿色

种新的非均匀减薄法,即选择阳极氧化法。这种方法的氧化电压与时间的关系曲线如图2所示。它的前题是假设  $n^+$  层的厚度不均匀。它与前边描述的均匀阳极氧化法的差别在于将氧化终止电压人为地加以固定。做法如下:将高低结 GaAs 片加反向恒流,并固定氧化终止电压,开始先在  $n^+$  层内进行阳极氧化,当反向偏压耗尽到耗尽层厚度以后,随电压的升高,氧化物长厚,整个片子表面的氧化物呈现的颜色较深,如图3(I)所示。当氧化减薄至  $D$  线时,起始电压升高,直线斜率也有明显变化。片子表面的氧化物呈现出深浅不同的颜色(如图3(II))这表明已有局部区域耗尽至  $n$  区。由于  $n$  区浓度低,电阻高,因而氧化起始电压升高,氧化电压差变小,生成的氧化物薄,所以呈现的颜色浅。为了最终获得  $n^+$  层厚度均匀的片子,这时需要选择去除深颜色的氧化膜,保留浅色的氧化膜。继续进行阳极氧化,由于氧化终止电压是固定的,前次保留下来的浅颜色氧化物的区域就不会再被氧化。随着阳极氧化的进行,所呈现的浅颜色的区域逐渐扩大(如图3(III)所示),最终可达到整个片子表面上氧化物厚度基本上一致,并呈现出单一的浅颜色,如图3(IV)所示。此时,留下的  $n^+$  层厚度即达到均匀一致。此后再根据需要按均匀阳极氧化,进行控制阳极氧化。便可获得所需要的  $n^+$  层厚度的片子。

### 3. 实验

实验装置示于图4。将片子的  $n^+$  面朝外粘在中心带有小孔的微晶玻璃片上,正极的引线由小孔引入与  $n^{++}$  层接触。片子背面和侧面用腊保护以防氧化引起干扰。将 150ml  $H_2O_2$  倒入烧杯,加入磷酸和氨水调节 pH 值。当 pH 值达 2—3 时,在搅拌的条件下,即可进行阳极氧化。对于生成的氧化物,用修相笔蘸酸选择去除深色氧化膜,保留浅色的氧化

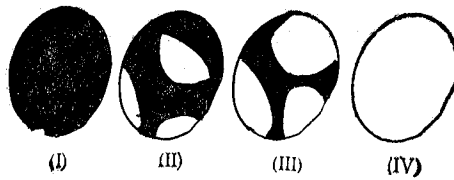


图3 选择阳极氧化过程示意图

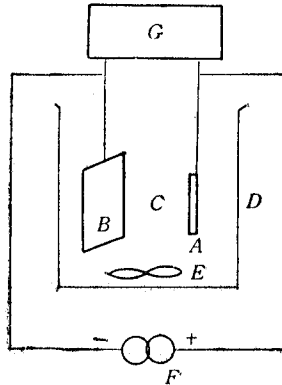


图4 阳极氧化的实验装置

A: 高低结 GaAs 片, B: 铂片, C: 30%  $H_2O_2$ , D: 石英烧杯,  
E: 电磁搅拌器, F: 恒流源, G: X-Y 记录仪

膜,然后用去离子水冲洗干净后,再继续进行氧化。

#### 4. 结果与讨论

(1) 由 Ho-Chung Huang<sup>[1]</sup>的理论设计得知,对高低结 GaAs 雪崩二极管来说,当  $n^+$  层的厚度等于雪崩区宽度时,管子的输出可达最高理论效率

$$\eta = 1 / \{ \pi [1 + 2(m+1) / [m^2(n^+/n) - 1]] \} \quad (1)$$

式中  $m$  为幂指数,  $n^+/n$  为掺杂比。设  $n^+ = 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ , 取  $n^+/n = 100$ , 由  $m$ 、 $n^+$  和  $E_c$  的关系曲线<sup>[1]</sup>得  $m = 2.5$ 。代入上式,算得  $\eta = 31.75\%$ 。我们用选择阳极氧化法,控制减薄  $n^+$  层厚度,最终使  $n^+$  层厚度达雪崩区宽度。获得在 12.8GHz 时,连续波输出功率为 2.84W,效率达 30.9%。选择阳极氧化法起了关键作用。

(2) 为了更好的控制减薄,可按下式进行简单计算,将  $n^+$  层厚度 ( $L_{n^+}$ ) 控制在  $L_A \leq L_{n^+} \leq w$  范围内,以便获得高效率输出。耗尽层宽度为

$$w = E_c / [n^+(e/\epsilon)] \quad (2)$$

雪崩区宽度  $L_A$  为

$$L_A = w / (m + 1) \quad (3)$$

式中,  $n^+$  为  $n^+$  层的载流子浓度,  $e$  为电子电荷,  $\epsilon$  为 GaAs 的介电常数,  $E_c$  为  $n^+$  浓度对应的临界击穿电场。当  $n^+$  浓度确定后,  $E_c$  和  $m$  可由文献[1]查得。

(3) 本方法的前提是假设  $n^+$  的掺杂浓度沿纵向或横向都要分布比较均匀。目前掺硫的气相外延片和掺锡的液相外延片均达到了要求。虽然升高  $n^+$  浓度,可提高输出效

率,但当浓度高于  $10^{17}\text{cm}^{-3}$  时,由于产生隧道效应,反而使  $\eta$  下降,故  $10^{17}\text{cm}^{-3}$  是  $n^+$  的上限。目前,我们采用手工操作,可较精确的去氧化膜。至于本方法的自动化,尚有待今后探索。

### 参 考 文 献

- [1] Ho-Chung Huang, *IEEE Trans. on ED*, ED-20(1973), 482.

## A NEW TECHNIQUE FOR THINNING THE THICKNESS OF UNUNIFORM EPILAYERS —SELECTIVE ANODIC OXIDATION

Gao Fongseng   Gong Xiuying   Ge Yongcai

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing*)

**Abstract**      A new technique called selective anodic oxidation, by which the ununiform epilayers can be thinned, is presented. The thickness of  $n^+$ -layers of GaAs IMPATT diodes with  $n^+-n-n^{++}$  structure has been strictly controlled by the use of this technique. This results in the efficiency of IMPATT diodes up to its theoretical value.

**Key words**    Semiconductor technology; Thinning technique; Selective anodic oxidation