

用堆集掩模技术制造变厚超导微桥*

时贤庆 杨彩炳 祁宜芝 曹效能 马金娣 黄继章

(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文介绍了一种制作变厚超导微桥的新方法。用此方法变厚超导微桥通过一次光刻、用三个坩埚、不必打开镀膜机就能制成。利用普通接触式紫外曝光设备和斜蒸发技术,使桥区达到亚微米尺寸,并获得了无迟滞的直流 I - V 特性。

1. 引言

超导桥是约瑟夫逊结的一个重要类型。它通常是在两部分超导薄膜之间由一个很窄的收缩区互相连接而成。我们知道,只有当桥区(收缩区)尺寸能与所使用的超导材料相干长度相比拟时,才有可能获得较为理想的约瑟夫逊特性。而一般超导膜的相干长度在几百埃到几千埃之间,这就给制桥工艺带来很多困难。根据理论分析和实验证明,如果采用桥区很薄而岸区加厚的变厚桥,由于可以大大减弱自热效应,对桥区尺寸限制就可以放宽。但是也要求桥区尺寸达到微米或亚微米数量级。用普通光刻方法制造仍然十分困难,甚至是不可能的。利用 X -射线或电子束曝光能得到亚微米线条,但是这些技术要求复杂、精密的设备和严格的工艺条件。用普通光刻和镀膜设备制作 GaAs MESFET 亚微米栅,国内外有较多报道^[1-3]。我们发现这种技术或稍加改变用于制作变厚超导微桥是非常合适的。它充分地利用了斜蒸发技术的优点。在制作堆集掩模的同时制作了变厚超导微桥的岸区。利用一块光刻掩模板,不需要打开镀膜机真空室就能制作出岸区厚、桥区薄的变厚超导微桥。

2. 工艺原理

图1示出了利用斜蒸发技术在光刻胶图形上制作堆集掩模的示意图。一般真空镀膜工艺蒸发金属蒸气流正对着衬底平面,也就是蒸发源垂直于衬底。制作堆集掩模时,蒸发源偏离衬底,使蒸发金属蒸气流对衬底有一小的入射角 θ 。适当调整 θ 角,使金属膜不淀积在衬底上而仅淀积在光刻胶上,并在光刻胶窄缝两边堆集,形成堆集在光刻胶上的金属膜,使原来大约1微米的光刻胶线宽缩小到亚微米尺寸。堆集在光刻胶上的金属膜将在剥离工艺中被去掉,它只起掩模作用,所以我们把它叫作堆集掩模。

图2是利用堆集掩模制造变厚超导微桥的示意图。图中 t 为光刻胶厚度, W 为光刻胶图形窄缝,也就是将要制作的桥的宽度。 L 为光刻胶窄缝长度,也就是将要制作的桥的长度。数字 I 和 II 分别表示相对于衬底为 θ 角的蒸发源。数字 III 表示垂直于衬底的

* 1986年1月8日收到,1987年3月17日修改定稿。

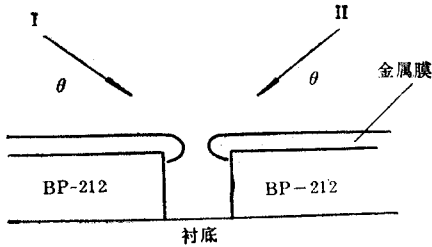


图 1

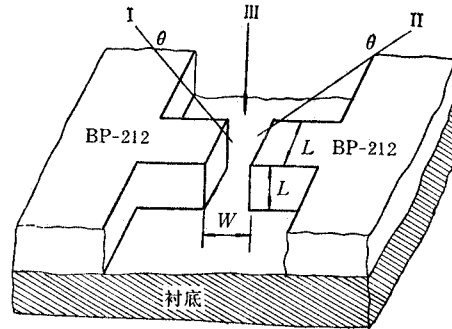


图 2

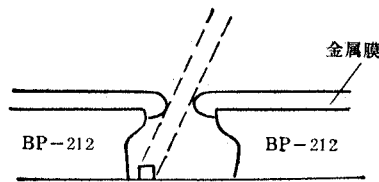


图 3

蒸发源。对蒸发源 I 和 II 选择适当的人射角, 既使金属膜的淀积效率最高, 又使金属膜仅在桥区光刻胶边缘堆集而不会淀积在衬底上。在窄缝(桥区)以外的区域, 金属膜将直接淀积在衬底上, 形成变厚微桥的岸。这是制造变厚微桥不可缺少的, 也正是用这种方法制造变厚微桥的独特之处。然后再以垂直于衬底的方向(蒸发源 III) 蒸发金属膜。金属蒸气分子将穿过已经缩小的窄缝 W 淀积在衬底上, 形成变厚微桥的桥区。同时也淀积在岸区, 使岸桥连通。这样就在衬底上制成了桥区薄、岸区厚的金属膜。剥离掉光刻胶上的金属膜后就在衬底上得到了变厚微桥。

我们知道, 正性胶的光刻剥离工艺比较容易产生过显影, 也就是会使图 2 所示的 L 变小和 W 增大。 L 变小就使桥的长度减短, 这正是我们所需要的。 W 增大可以用堆集掩模弥补。这就有可能使桥的长度和宽度都达到亚微米尺寸。

如果图 2 所示的蒸发源 III 的蒸气不是垂直入射, 而是倾斜入射, 如图 3 所示, 就可获得小于图 1 所示的堆集掩模窄缝的金属膜线条。用这种办法可以获得更小的桥区宽度, 但是这种办法容易使衬底上的金属膜连同光刻胶一起被剥离掉。为了使光刻剥离更加容易, 在显影之前把基片用氯苯浸泡^[4], 使光刻胶边缘在刻蚀时形成如图 3 所示的下凹。这样淀积在衬底上的金属膜和淀积在光刻胶上的金属膜不连续。就能方便地剥离掉不需要的金属膜。

3. 工艺步骤和结果

用通常的工艺方法对经过氧化的硅片进行清洁处理。采用国产 BP-212 正性光刻胶。以 5000rpm 的速率匀胶。前烘温度 85°C , 保温半小时。用接触式紫外曝光机曝光 1min。为了使光刻胶形成如图 3 所示的下凹, 显影前在氯苯中浸泡 5 分钟。显影液采用 BP-212 胶的配套显影液, 与水的比例为 1:1。显影后经过充分水洗、烘干。

薄膜淀积是在普通的高真空镀膜机内完成的。蒸镀时的真空度为 $6 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$ 。三

个蒸发源都采用钽蒸发舟。舟内装入同样比例的高纯铅和铟。首先制造堆集掩膜。衬底和蒸发源之间的装配关系如图 2 所示。 θ 角为 20° 。膜的厚度用干涉显微镜测量,并用加入的铅、铟量来控制。铅铟膜对图 2 所示的光刻胶窄缝的缩小程度用显微镜测量。堆集掩模制造好以后,可以立即加热蒸发源 III 制造桥区。也可以把衬底从真空室中取出来观察堆集掩模的质量。再放入真空室内制作桥区。蒸发源 I、II 和 III 的铅、铟量决定了岸区的厚度。蒸发源 III 的铅、铟量决定了桥区的厚度。为了维持铅、铟的比例不变,我们把钽舟里的铅、铟一次蒸发完。衬底与蒸发源之间不加挡板。因此可以用铅、铟的重量来控制膜的厚度。把蒸镀好的样品放入丙酮中对淀积在光刻胶上的铅、铟膜进行剥离。然后均匀上保护胶,制作变厚超导微桥的工艺即告完成。



图 4

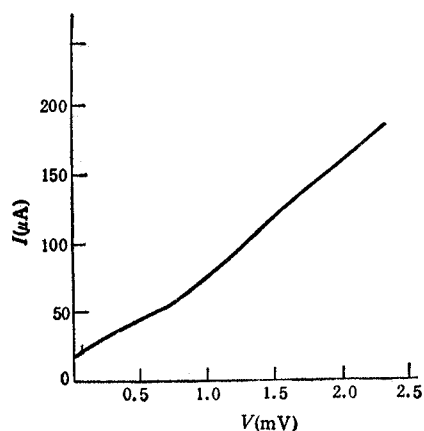


图 5

图 4 为用这种技术制作的变厚超导微桥的扫描电镜照片。可以明显的看到岸区的两层膜。它是由于蒸发源 I 和 II 对衬底斜蒸发时光刻胶挡住了靠近它的金属蒸气分子,形成中间厚两边薄的岸区。图 5 为在 4.2K 条件下测得的直流 I-V 特性。该曲线无迴滞。

4. 结束语

本文描述了一种制造变厚超导微桥的新方法。图 4 所示的扫描电镜照片和图 5 所示的 I-V 特性曲线是我们第一次实验获得的结果。第一次试验就获得了无迴滞直流 I-V 特性,这表明这种方法简便易行。它不需要通常制作变厚超导微桥的两次光刻工艺。还避免了对桥区进行阳极化等减薄工艺。用本方法制作具有亚微米桥区的变厚超导桥比较容易,制成的桥维持了膜的自然表面。

参 考 文 献

- [1] P. C. Chao et al., *IEEE Trans. on EDL*, **EDL-3**(1982), 286.
- [2] L. B. Holdeman et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, **4**(1985), 956.
- [3] 时贤庆等, 中国真空学会第 5 届真空应用学术会议论文集, 1986, 133.
- [4] M. Hatzakis et al., *IBM J. Res. Develop.*, **24**(1980), 452.

FABRICATION OF VARIABLE THICKNESS SUPERCONDUCTING MICROBRIDGES WITH THE PILE-UP MASKING TECHNIQUE

Shi Xiangqing, Yang Caibing, Qi Yizhi Cao Xiaoneng,

Ma Jindi, Huang Jizhang

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

A pile-up masking technique using the conventional optical lithography and a two-step or three-step evaporation process is developed to fabricate the variable thickness superconducting microbridges of submicron. The I - V characteristic of the microbridges made by the technique is measured at 4.2 K.