

采用悬挂金属掩模制作约瑟夫逊隧道结*

时贤庆 杨彩炳 曹效能 马金娣 李羲之 黄继章 李小莉

(中国科学院电子学研究所)

1. 引言 近几年来由于约瑟夫逊隧道结在许多方面得到应用,特别是在新一代超级电子计算机上得到了应用,所以人们对制作小面积隧道结的技术产生了浓厚的兴趣.制作软金属超导隧道结,以IBM为代表已形成一套完整的工艺^[1].但要用他们的办法重复地制作出实用的隧道结,必须有高级的专用设备和丰富的技术积累.一般单位在短期内是难以达到这样的技术水平的.1982年 Gundlach (西德马克斯-普朗克学会)发表的文章^[2]仍在用刀片制作的金属掩模.我们也曾经使用过这种掩模^[3].但是用一般形式的金属掩模制作隧道结时,在氧化层势垒形成以后,必须打开镀膜机的钟罩,以便转换掩模制作上电极.这样氧化层势垒就容易受到大气污染.

为了克服这一缺点,我们用刀片拼装成的悬挂金属掩模来制作隧道结.这一技术具有以下特点:(1)与文献[2]给出的金属掩模法相比,我们在制结过程中无需打开钟罩,势垒层不致被大气污染,因而易于控制它的质量.这一点与文献[4]以及其它的悬挂掩模法相同.(2)与其它悬挂掩模法相比,本方法不需要昂贵的仪器设备和烦琐的工艺步骤.这一点又与文献[2]以及其它的金属掩模法相同.

2. 掩模的制作 在制作约瑟夫逊隧道结时,要求在基电极和上电极之间生成一层稳定、均匀、致密的氧化层势垒,其厚度约为 $10-30 \text{ \AA}$.氧化层势垒对隧道结性能的影响是很大的.为了形成优质的氧化层势垒,近几年来相继出现了几种悬挂掩模,如纤维掩模^[5]、悬挂光刻胶掩模^[6]以及用电子束光刻法制作的悬挂金属掩模等^[4].

我们用的悬挂金属掩模是用拼装刀片的方法制作的.图1是这种掩模的示意图.它

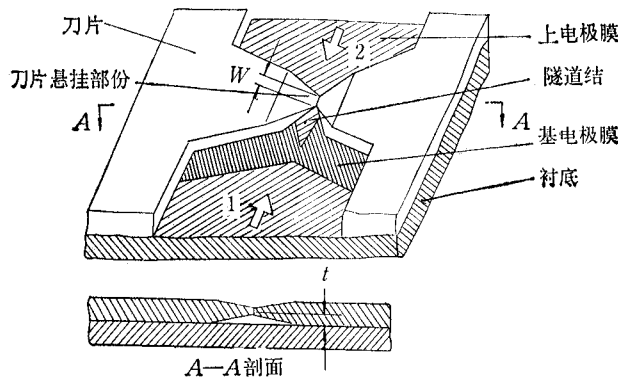


图1 悬挂金属掩模的示意图

* 1984年2月13日收到,1985年1月14日修改定稿.

是用两块加工好的刀片拼装成的。装配过程是在显微镜下完成的。刀片加工好以后，刀片的狭窄部份到衬底的距离(t)就确定了(见图1)。适当的调整狭窄部份的宽度(w)和蒸发金属蒸汽流的人射角就能获得所需面积的隧道结。当蒸汽流的人射角为 45° 时，隧道结的面积 $A \approx 1/2(2t - w)^2$ 。

图1中箭头所示的数字表示斜蒸积基电极和上电极的次序。它与图4所表示的蒸积次序是相同的。影线部份分别表示基电极膜和上电极膜。影线尖端的重叠部份即为制成的隧道结(见图1)。

刀片一般不宜用机械的方法加工,因为机械加工产生的应力较大,而且加工精度也难以保证。所以我们采用电火花加工法。图2是电火花加工好的刀片的照片。然后还需研

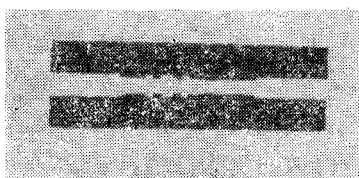


图2 电火花切割成的刀片

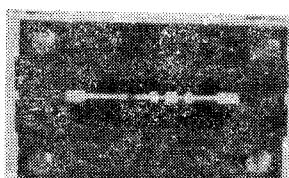


图3 装配好的掩模

磨和清洁处理。最后在显微镜下拼装成所需的掩模。图3是装配好的掩模照片。

3. 隧道结的制作 把清洗好的衬底(玻璃片或硅片)放在如图3所示的掩模上,再把掩模安装到镀膜机的真空室内,二个蒸发源和掩模的装配关系如图4所示,然后用电阻加热的方法蒸积基电极膜、上电极膜。具体步骤是:在真空度优于 7×10^{-6} 托以后,蒸积厚约 2000 \AA 的铅铟膜作基电极(图1中1和图4中的蒸发源1)。蒸汽流的人射角为 45° 。然后进行热氧化,氧气的压强约为500托。氧化温度缓慢升到 60°C ,升温时间约半小时,保温半小时,然后再缓慢降到室温。接着再次抽真空到 7×10^{-6} 托,蒸积厚约 3000 \AA 的铅

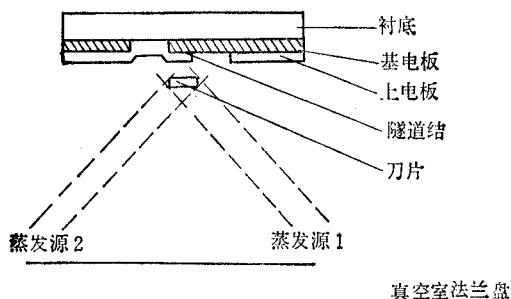


图4 真空室内成膜次序示意图

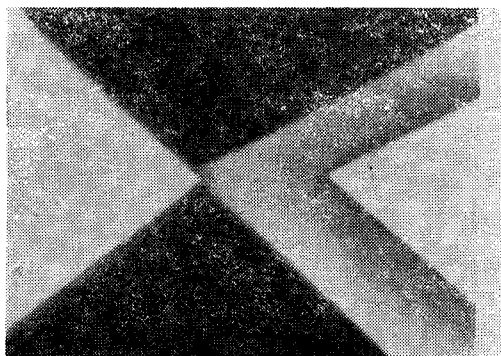


图5 结区的显微照片($\times 300$)

膜作为上电极(图4蒸发源2),蒸汽流入射角亦约为 45° 。

这里需要注意的是,所用钽蒸发舟应尽量做得小些,两个蒸发流和掩模在真空室的法兰盘上的投影应在一条直线上。

把制好的隧道结从掩模上取下来,在匀胶台上涂上保护胶,制作过程即告结束。图5

为所制成隧道结的显微照片($\times 300$)。用这种方法可以制作几列几百平方微米的超导隧道结。这种掩模可以重复使用。如果经多次使用后,由于蒸积的金属使掩模尺寸发生变化,可适当调整蒸汽流的人射角,也可用机械或化学的方法把蒸积的金属去掉,以保证得到所需面积的隧道结。

4. 结果和讨论 电火花加工可以制作各种几何图形的电极,而且便于改变尺寸,而用光刻方法时,变换尺寸就得变换光刻母板,既费事又费钱。用电火花加工的图形尺寸的误差由电火花加工的精度决定,一般可以控制在 0.02mm 以内。图 6 为带有低通滤波器的约瑟夫逊隧道结的照片。该图形是用图 2 所示的掩模制作的。

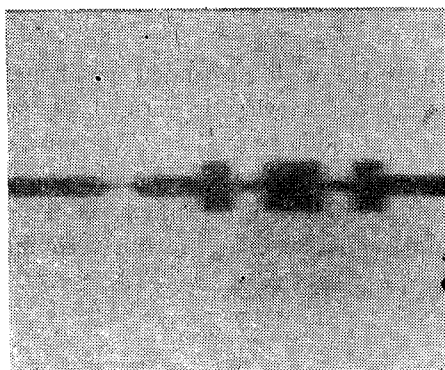


图 6 带有低通滤波器的隧道结

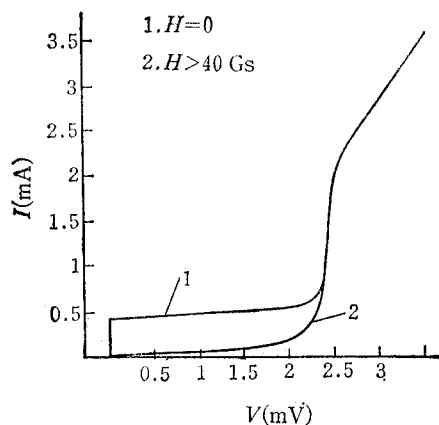


图 7 隧道结的 $I-V$ 特性

在 4.2K 温度下,用四端子法^[3]测量了用本文工艺方法制作的隧道结的直流 $I-V$ 特性。图 7 为用 $x-y$ 记录仪测得的 $I-V$ 特性曲线。曲线 2 是在平行于结平面的方向加一高于 40Gs 磁场测得的单粒子隧道特性。结的面积为 $32\mu\text{m}^2$ 。临界电流密度为 $1250\text{A}/\text{cm}^2$ 。电压在 3mV 和 2mV 处的直流电阻的比值为 $R_3/R_2 = 0.18$ (见曲线 2)。

综上所述,用本文工艺可以制成微米级的约瑟夫逊隧道结。工艺简单、适用,不需要昂贵的精密设备。隧道结的制作在镀膜机内一次完成,避免了大气的污染。本文设计制作的掩模可以多次使用,经得起高温烘烤,也可用于制作硬超导材料隧道结。但该掩模尺寸比较大,限制了一次制结的数量。目前我们设计了一种半圆形掩模架,一次可制作 5 个隧道结。再考虑到工艺简单,因此总的生产效率还是比较高的。

本项工作中,电火花加工是宋英芬同志完成的、显微照片是金如良和张俊启同志摄制的,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. H. Greiner et al., *IBM J. Res. Develop.*, **24**(1980), 195.
- [2] K. H. Gundlach et al., *Appl. Phys. Lett.*, **41**(1982), 294.
- [3] 杨彩炳等, Pb-In 合金 SIS 结的初步研究, 第三次超导隧道效应全国学术会议, 1982.
- [4] G. M. Daalmans, Proc. of Second International Conference on Superconducting Quantum Interference Devices and their Applications, Berlin (West), May 6—9, 1980, p. 399, ed. by H.

D. Hahlbohm and H. Lübbig.

[5] J. T. C. Yeh, *J. Appl. Phys.* **45**(1974), 4617.

[6] G. J. Dolan, *Appl. Phys. Lett.*, **31**(1977), 337.

FABRICATION OF JOSEPHSON TUNNEL JUNCTION WITH SUSPENDED METAL MASK

Shi Xianqing, Yang Caibing, Cao Xiaoneng,
Ma Jindi, Li Xizhi, Huang Jizhang, Li Xiaoli
(*Institute of Electronics, Academia Sinica*)

A small area Josephson tunnel junction is fabricated with suspended metal mask which is made from ordinary razor blades. The junction overlap is formed by two succeeding evaporations of superconductor materials at oblique angles. The advantages of this technique are that the fabrication processes can be performed continuously without opening the evaporation chamber and also it is suitable for making a small area tunnel junction. The I - V characteristic of a tunnel junction made by this technique has been taken at 4.2 K.