

M-I-M 隧道结发光器件的研究

郁 苹

(东南大学电子工程系, 南京)

摘要: 金属-绝缘层-金属隧道结在低直流偏压下可发光。我们从三种结构研究了这种隧道结的发光效应, 验证了表面粗糙度对隧道结的光辐射所起的显著作用, 得出了快模式是光辐射的主要来源的初步设想。我们还在这种隧道结结构中引入了LB膜, 构成了一种室温性能较好、很有前景的发光隧道结新结构。

Study of light-emission device of M-I-M tunnel junctions

Yu Ping

(Department of Electronic Engineering, Southeast University)

Abstract: Metal-insulator-metal tunnel junctions is found to emit light under low applied bias. We have studied three structures of tunnel junctions. It has been shown experimently that surface roughness plays a notable role in light emission. We have suggested that light emission from tunnel junctions is predominantly fast mode mediated. We introduce LB film into such structure to form a new hopeful tunnel junction with good room temperature light-emission stability.

引 言

金属-氧化物-金属薄膜隧道结的发光现象最初是由Lambe和McCathy^[1]在1976年发现的。由于这种可发光隧道结工作于低直流偏压, 发光颜色可随外加电压改变, 而且成本低廉, 可望作为一种新型光源, 用于可寻址薄膜显示列阵(如平面电视屏或计算机显示终端)等, 因此, 自那以后, 研究人员进行了大量理论^[2~6]和实验^[6~8]研究。

一般认为隧道结的发光机理是, 非弹性隧道电子激发束缚于结中界面上的表面等离-极化激元, 表面等离-极化激元在一定条件下耦合产生光辐射。表面等离-极化激元是一种表面电磁波。在隧道结中, 有两类电磁振荡^[9], 其一是结模(慢模), 场主要分布在氧化物势垒区, 另一种电磁波的场主要位于外电极-空气界面, 称之为快模。这两种模式都是非辐射的,

只有当隧道结存在表面粗糙度时,表面等离-极化激元才能通过粗糙度的散射与自由光子之间在沿界面方向的能量和动量守恒得到满足从而向外辐射出光子。

实 验

我们已经制作了下列结构的隧道结发光器件:

- a. $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Au}$
- b. $\text{MgF}_2 + \text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Au}$
- c. $\text{MgF}_2 + \text{Al} + \text{LB膜} + \text{Au}$

上述结构中的各层薄膜分别依序淀积在经光学清洁处理后的载玻片上。载玻片先用红粉抛光,然后用去离子水冲洗干净置无水乙醇中片刻再在丙酮溶液中超声15min去除表面油污,取出后再用无水乙醇超声清洗,最后用脱脂纱布蘸清洁液擦拭干净置入真空室内。

纯度为99.999%的铝丝挂在真空室内的钨螺旋上,在真空度为 2×10^{-5} 时加热蒸发至载波片衬底上形成宽为2~5mm,厚约1000 Å左右的铝条,然后,样品从真空室内取出进行氧化,形成厚为20~30 Å的薄氧化层(Al_2O_3),氧化后样品又重新放真空室内,在Al条的边缘上覆盖一层 MgF_2 层,以防止边缘效应^[10]。最后,纯度为99.999%的金丝由钼舟中以一定角度蒸发在铝条上,金条宽度与铝相近,厚度 < 1000 Å。电极接触点直接由铝条及金条引出。图1为完成的隧道结的剖面图。

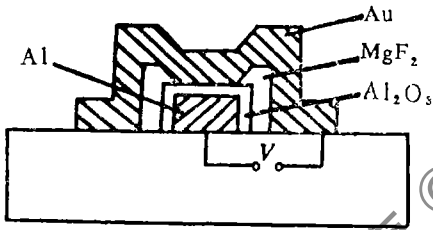


图1 隧道结剖面图

结果和讨论

1. 引入粗糙度对发光的影响

除了直接在玻璃衬底上作出Al- Al_2O_3 -Au隧道结外,我们还在玻璃表面蒸发了一层厚约1500 Å的 MgF_2 作为基层来观察Al- Al_2O_3 -Au隧道结的发光现象。对这二种情况进行比较,我们发现在其它条件相同的情况下,有 MgF_2 作为基层的隧道结的发光强度大于直接以载玻片为基层的隧道结。

用上述的发光机理很容易理解这一结果。我们的 MgF_2 基层,实际上为隧道结人为地提供了表面粗糙度,从而促使表面等离-极化激元经粗糙度散射与光子的耦合得到动量守恒,因此,有较强的光辐射出来。而对于无 MgF_2 基层的隧道结,其发光仅是由于表面残余的或淀积薄膜内在的粗糙度的存在,相对必然较弱。

2. 外加直流电压极性的影响

外加电压正极接金,负极接铝时,在4V直流电压下,肉眼即可在较暗的环境下看到来自整个隧道结表面的发光,但对同一隧道结,加上反偏压,即铝正金负,尽管在4V左右回路电流与正偏压时相近,却不能观察到结的发光现象。

按LM^[4]的理论,隧道电流的随机起伏使非弹性隧道电子主要激发了势垒区的慢模,慢模在光辐射隧道结中起主要作用。稍后Davis也从理论上说明隧道结辐射是以慢模为主。而Kirtley等人^[5]通过在光栅上制作的隧道结表明快模是隧道结发光的重要机构;另一方面Usholda等^[11,12]通过观察置于棱镜上的平滑Al- Al_2O_3 -Au结的发光提出是快模式导致光

发射。

迄今为止，对于隧道结在外加反压的实验情况少有说明，上述理论也不能与我们的实验结果相符合。从实验结果方可以作出这种推论：我们制作的隧道结的光辐射主要是由于快模。因为，在正偏压下，电子从铝向金电极隧穿，使场主要分布在金-空气界面的快模得到有效的激发。在反偏压下，电子反方向隧穿，由金电极向铝电极隧穿，主要激发慢模，而在光辐射中起主要作用的快模得不到有效激发，所以在反偏压下观察不到或仅有比正偏压下弱得多的光辐射。

3. 以LB膜作为绝缘层的一种新隧道结结构

LB膜即Langmuir-Blodgett单分子膜的简称，它是人为地利用分子间相互作用而建立的特殊分子聚集体系。在LB膜中，分子是有序准晶体排列，其显著优点是膜层厚度可以精确控制。我们拉了单层LB膜作为隧道结的中间绝缘层，发现，这种隧道结的发光具有较好的室温稳定性和重复性。

室温下工作和较好的稳定性一直是研究人员予以关注的两大问题，我们在观察a、b两种结构的隧道结发光情况时发现这两种结在室温下的发光很不稳定而且寿命较短。国外对发光隧道结的实验研究也大都是在低温下进行的。而这里，c种结构的隧道结却具有较好的室温稳定性和重复性，我们估计这可能归因于LB膜的有序分子结构和较好的均匀性。

结 束 语

我们已经制作了大批可发光的隧道结，从我们的实验结果看，表面粗糙度以及绝缘层的性能对隧道结的发光都起重要的作用。将LB膜引入隧道结可望构成一种新结构的很有前景的发光器件，对其理论机制以及实验研究还有待于进一步深入。

参 考 文 献

- [1] Lambe J, McCathy S L, Phys.Rev.Lett., 1976; 37: 923
- [2] Davis L C, Phys.Rev. (B), 1977; 16: 2482
- [3] Laks B, Mills D L, Phys.Rev. (B), 1977; 20: 4962
- [4] Laks B, Mills D L, Phys.Rev. (B), 1980; 21: 5175
- [5] Kirtley J R, Theis T N, Tsang J C, Phys.Rev.(B), 1983; 27: 4601
- [6] McCathy S L, Lambe J, A.P.L., 1977; 30: 427
- [7] Jain R K, Wagner S, Olson D H, A.P.L., 1978; 32: 62
- [8] Parvin K, Parkev W, Solid State Comm., 1981; 37: 629
- [9] Economou E N, Phys. Rev., 1969; 182: 539
- [10] Donohue J F, Wang E Y, J.A.P., 1986; 59: 3137
- [11] Giergiel J, Ushioda S, Hemmiuger J G, B.A.P.S., 1986; 31: 634
- [12] Glass N E, Mills D L, Weber M G, Phys.Rev.(B), 1985; 32: 4919

收到修改稿日期：1990年3月29日。