

表面多结 MOM 的发光及对 激光的快速响应

廖世强

(中国科学院上海光机所)

提要: 提出并研制了一种集成式表面多结 MOM, 经过特殊的电形成过程以后, 在室温下直接观察到发光现象。发现 $I-V$ 特性曲线在高真空中呈现负阻特征, 在大气中表现为记忆特征。实验中观察到激光和微波相互作用时的快速响应讯号。

Luminescence of integrated surface multi-junction MOM and its fast response to laser beam

Liao Shiqiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: We have proposed and developed an integrated surface multi-junction MOM (metal-oxide-metal). After being treated by a special electro-forming process, light emission from MOM at room temperature has been observed. The $I-V$ characteristic curve of MOM presents a negative resistance feature at low atmospheric pressure, and a memory effect in air. When multi-junction MOM interacts with a laser or a microwave beam, it shows good performances in producing fast responsive signals. The device has the potential application of producing electro-magnetic oscillation in the region from microwave to light.

一、引言

在非超导状态下, 利用夹层式 MOM (金属-氧化绝缘层-金属) 研究了许多物理现象, Hickmott^[1] 发现了电形成效应, Sutherland^[2] 的实验表明只有 Au、Ag、Cu 三种金属做电极时夹层 MOM 才能够电形成, 并具有记忆特性。Chen^[3] 报道了夹层 MOM 中弱

光子发射。对于电形成效应后 MOM 产生记忆的机理, Hickmott^[4], Simmons^[5] 和 Dearnely^[6] 分别提出了两种模型, 都不能完善地解释为什么仅有三种金属具有这种特性的原因。我们研究一种可以与外界辐射场大面积相互作用的集成式表面多结 MOM, 用 Ni、Fe、Sn、Zn、Mg、Ag、Au、Cu、Al 等金属制成的各种表面多结 MOM, 在实验

收稿日期: 1984年4月16日。

中都具有电形成效应,同时观察到它们都对激光与微波有快速响应讯号。感兴趣的是在室温下,直接观察到表面多结 MOM 的发光现象,以及在不同真空度的环境中,它的伏安特性曲线具有迥然不同的特征。

二、MOM 的结构和伏安特性

这里介绍的表面多结 MOM,实质是一种多势垒 MOM 的串接和并联。结构如图 1 所示。制备 MOM 的实验装置见图 2,制备是在真空度为 $3\sim 5\times 10^{-5}$ Torr 的高真空系统内进行。在一块清洁的玻璃或聚四氟乙烯基板上,用真空镀膜技术喷镀两个相同金属做的电极,中间留有一个大面积窗口。用 Hill^[7] 发展的超薄镀膜技术,在窗口喷镀一层极薄的金属层,用电导法测量,当电阻在 $3\sim 4\text{ k}\Omega/\text{mm}^2$ 量级时,得到连续的超薄金属层。然后在 10^{-2} Torr 的纯氧中用 1kV 离子放电,

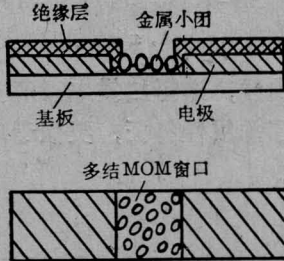


图 1 表面多结 MOM 结构示意图

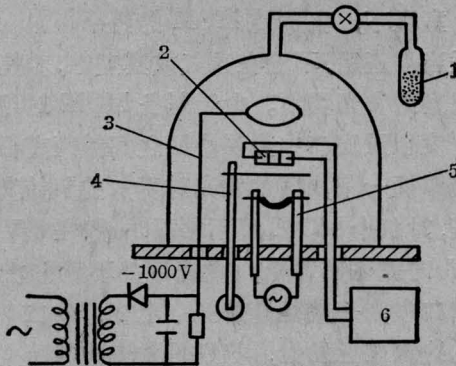


图 2 真空喷镀及离子氧化装置图

1— KMnO_4 加热瓶; 2—MOM 架; 3—离子氧化线路;
4—挡板; 5—钨加热皿; 6—电形成及测量电路

持续时间 10 s, 将窗口中的金属层完全氧化。纯氧是在真空系统中加热 KMnO_4 产生,也可用热氧化法在大气中将金属层氧化,再用 Hill 的方法在绝缘窗口上喷镀一层不易氧化的金属小团。用玻璃基板时,金和银的小团尺寸在 $50\sim 1000\text{ \AA}$ 之间,小团间距离在 $40\sim 100\text{ \AA}$ 以内,形成了多结 MOM 结构。

电形成在高真空中进行,在两个电极上加上一适当量的偏压,将金属小团中的金属离子注入到绝缘层中,我们用自动平衡记录仪测到了电形成的全过程曲线,见图 3。电形成曲线类似矩形,从(a)点到(b)点这一段电流快速上升,显示了金属离子大量注入到绝缘层中的过程;曲线中(b)点到(c)点段电流大致保持恒定,注入离子达到了饱和状态;从(c)点到(d)点段电流陡然降落到一个稳定值,只有当出现这一过程以后,多结 MOM 才具有发光性能,并与激光相互作用时产生快速响应,也正是这一过程的机理至今未能得到解释。

实验中发现表面多结 MOM 的 $I-V$ 曲线,在高真空中表现为典型的负阻特征,而且偏压不论是从零电压端上升到高电压端,或者从高电压下降回到零电压,两者的曲线形

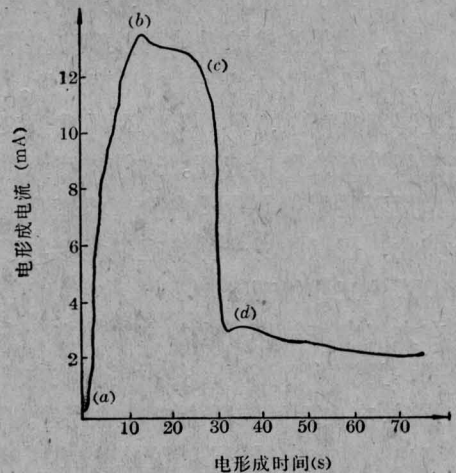


图 3 $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3\text{-Ag-Al}_2\text{O}_3\text{-Ni}$ 的电形成过程
(偏压 10 V, 窗口宽 0.3 mm)

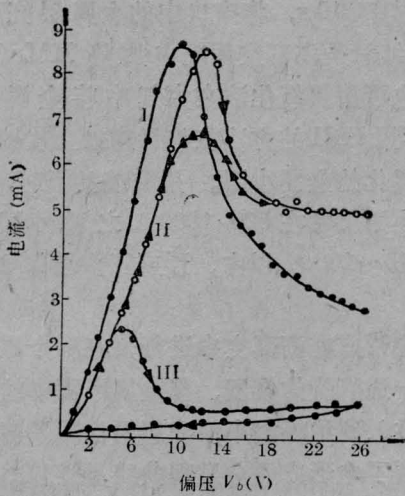


图4 Ni-Al₂O₃-Ag-Al₂O₃-Ni
的直流伏安特性曲线

曲线 I 在 4×10^{-5} Torr 内; 曲线 II 在
 8×10^{-2} Torr 内; 曲线 III 在大气中

状是一致的, 见图 4 中的曲线 I。当真空度下降后, 曲线仍保持着负阻特征。但是曲线形状随着偏压的变化方向而有不同, 见图 4 中曲线 II。当表面多结 MOM 放置在大气中时, 就不再呈现负阻特征。而表现具有记忆特性, 见曲线 III。在阈值电压 V_T 上, 表面多结 MOM 从低阻状态转换为高阻。此后, 不论升高或降低偏压, 多结 MOM 始终处于高阻状态。显然这是由于大气中某种成份的分子参与了 MOM 的工作机理, 是一种表面物理过程。值得注意的是这种从高真空降到大气时, 曲线形状的变化过程是可逆的。当真空度再度升高时, MOM 的 $I-V$ 曲线又从记忆特征恢复为负阻特征。这就表明大气成份的作用不是引起 MOM 内金属或氧化层的化学变化, 仅仅是以一种物理过程参与了多结 MOM 的工作机理。

在大气中多结 MOM 的交流动态伏安特性曲线, 见图 5 和图 6。是用锯齿波电压进行扫描时, 在定标示波器上拍摄的照片。图 5 是记忆出现前的曲线, 选择的扫描电压峰值低于记忆的阈值电压, $V_P < V_T$, 清楚地呈现为线性, 类似于金属性导电。图 6 是记忆出

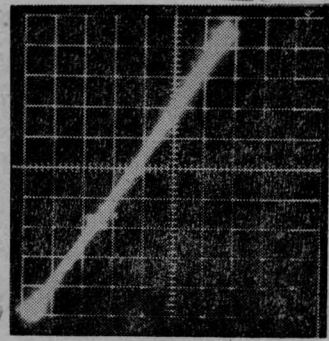


图5 扫描来记忆时的 Ag-Al₂O₃-Au-Al₂O₃-Ag
y 轴为电流每格 0.2mA, x 轴为扫描电压每格为 0.2V

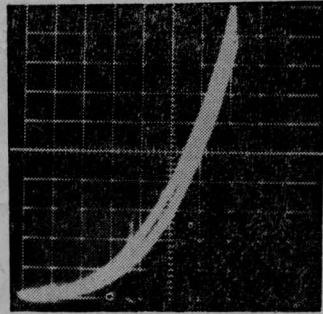


图6 扫描已发生记忆后的
Ag-Al₂O₃-Au-Al₂O₃-Ag

y 轴为电流每格 0.01mA, x 轴为扫描电压每格为 10V

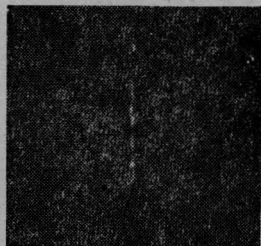
现以后的曲线, 选择扫描电压满足于 $V_P > V_T$, 出现了非线性特征, 类似于电子隧道效应的结果。

三、表面多结 MOM 发光

室温下, 在多结 MOM 的两个电极上加适当偏压后, 不论在大气或真空中, 都能直接观察到发光现象。由于制备 MOM 时绝缘层厚度以及窗口中金属小团之间的距离很难严格掌握一致, 因此发光时所加的起始发光偏压, 对每个 MOM 都不相同, 一般在 8 V 至 15 V 时即可见发光。发光区并不满布在整个窗口中, 一般是沿着一个电极, 或二个电极的边缘区上发光, 特别是发光时与两个电极上的偏压的极性无关。图 7 是在真空度为 8×10^{-2} Torr 时 MOM 的发光照片。一张是沿着一个电极边缘区发光, 另一张是用三个多



(a)



(b)

图7 表面多结 MOM 发光

- (a) Cu-Al₂O₃-Ag-Al₂O₃-Cu, 发光沿两电极边缘;
- (b) Zn-Al₂O₃-Ag-Al₂O₃-Zn, 沿着一个电极边缘发光

结 MOM 并联, 在所有电极的边缘区全都发光。发光是颗粒状的, 这和预见的相符, 它与 MOM 的多结结构有关。发光是闪烁的, 在低偏压时为红光及橙色光, 当偏压加高时, 个别闪烁为绿光及蓝白光。当用交流讯号源调制偏压时, 闪光亦随着讯号频率闪烁, 实验中注意到表面多结 MOM 只在已发生了电形成效应后才发光, 这就表明势垒绝缘层中注入的金属离子必定是发光的一种元激发。这也预示着在更宽的波段范围内, 从低频到光频波段内产生电磁振荡有潜在的可能性。

四、表面多结 MOM 对激光的响应

表面多结 MOM 与微波及激光相互作用时, 得到了快速响应讯号, 实验装置如图 8 所示。观测毫米波时用速调管 47V11 作讯号源, 调制讯号频率为 10kHz 的大幅值正弦波, 加在速调管的反射极上, 产生毫米波的脉冲输出, 输出讯号功率在 100mW 以内。通过开口波导对准特殊设计的表面多结 MOM, 它的窗口尺寸与波导截面一致。一个可变极

性的偏压电源, 经过一个可调电阻串接在 MOM 上。检测到的讯号用锁相放大器测量, 从锁相放大器的交流讯号输出端直接观察快速响应的正弦讯号的幅值。在检相输出端, 能测得快速响应讯号的幅度及位相, 与偏压的幅值及极性之间的关系。

实验时表面多结 MOM 应处于未产生记忆的状态下。改变偏压值时, 不能超过记忆的阈值电压 V_T 。

图 9 是响应讯号, 经过放大 1×10^3 倍以后, 直接测量得到的响应效率。所得曲线表明, 响应讯号的幅度明显与偏压值呈线性关系, 即在记忆的阈值 V_T 时有最大响应输出, 当偏压超过 V_T 后, 响应讯号反而消失。图 10 为快速响应讯号表现出的极性反转效

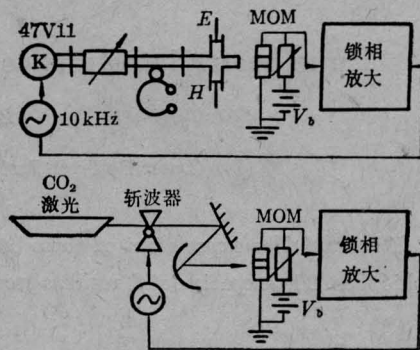


图8 测量快速响应讯号的实验方框图

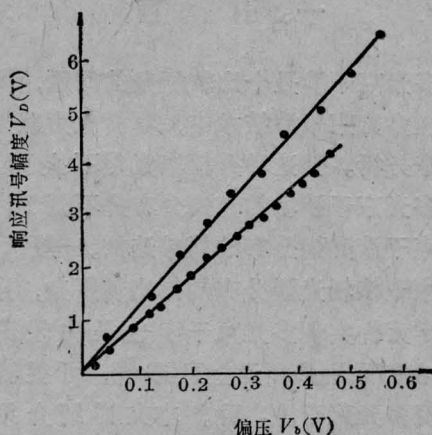


图9 Ni-NiO-Au-NiO-Ni 的响应效率
y 轴 V_D 为响应讯号电压, x 轴 V_b 为偏置电压
(下转第 151 页)

为 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。条形电极采用质子轰击工艺, 电极宽度约为 $10 \mu\text{m}$ 。 $L \approx 500 \mu\text{m}$, $L_1 \approx 300 \mu\text{m}$, $L_2 \approx 200 \mu\text{m}$ 。双区电隔离由光刻隔离槽实现, 隔离电阻可达 $\text{k}\Omega$ 数量级。

器件之功率-电流曲线是在室温下测定的, 由双路脉冲信号发生器得到 I_1 、 I_2 两路同步脉冲电流分别加到双区上, 脉冲电流宽度为 $500 \mu\text{s}$, 重复频率为 2kc 。图 2 给出了该器件的功率-电流曲线, 曲线上的参数为注入电流 I_2 。图 3 中的实线是根据图 2 作出的 $\eta_{ex}-j_2$ 曲线。由图 3 可见, 实验结果和理论上近似计算相近。

中国科学院半导体研究所王启明副教授、杜宝勋同志审阅了本文; 余金中、赵礼庆、

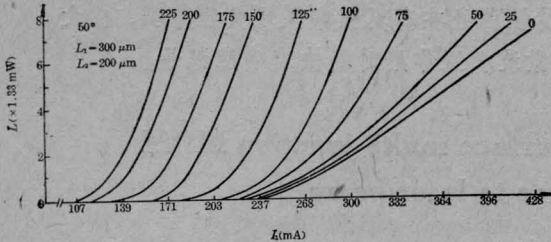


图 2 共腔双区激光器的功率-电流曲线
(曲线上的参数为注入电流 I_2 (mA))

(上接第 155 页)

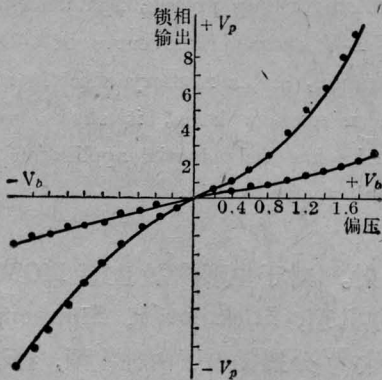


图 10 响应讯号的相检波输出的位相和幅度
与偏压的极性和幅值的实测曲线

应, 曲线中的各个数点是从锁定放大器中的鉴相输出讯号中测得, 它与触须 W-Ni 点接触 MOM 有相似的特性^[8]。当偏压的极性反向时, 快响应产生的正弦讯号的极性也随着

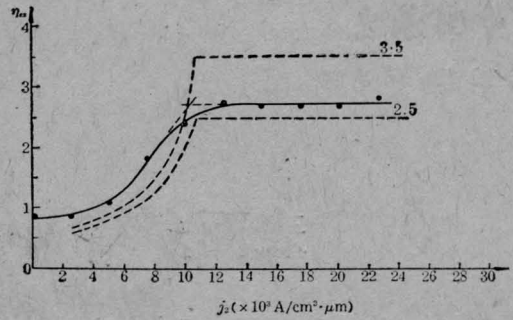


图 3 $\eta_{ex}-j_2$ 的关系曲线
实线为实验曲线; 虚线为理论曲线;
参数为所取的 η_{ex1} 值

杨培生、李静然在样品制备和测试中给予了大力协助和支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] G. H. B. Thompson *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, 481.
- [2] W. Streifer *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976 **QE-12**, 177.
- [3] E. Pinkas *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-9**, 281
- [4] F. Stern; *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**, 5382.
- [5] H. C. Casey, M. B. Panish; *Heterostructure Lasers, Part A*, P. 56, New York, 1978.

改变了方向, 这与一般的二极管效应有明显的不同。

这项探索性的研究, 得到王育竹同志的赞助、支持和有益的商讨, 特此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] T. W. Hickmott; *J. Appl. Phys.*, 1962, **33**, 2669.
- [2] R. R. Sutherland; *J. Phys. D. Appl. Phys.*, 1971, **4**, 468.
- [3] T. T. Chen, J. G. Adler; *Solid State Commun.*, 1970, **8**, 1965.
- [4] T. W. Hickmott; *J. Appl. Phys.*, 1965, **36**, 1885.
- [5] J. G. Simmons; *Proc. Roy. Soc. A*, 1967, **301**, 77.
- [6] G. Dearnaley *et al.*; *J. Non-Cryst. Solids*, 1970, **4**, 593.
- [7] R. M. Hill; *Proc. Roy. Soc., Series A*, 1969, **309**.
- [8] S. M. Faris *et al.*; *J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-9**, 737.