

# 多触点触须 MIM

廖世强 周汝枋 谭慈爱 孙顺娣

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 研制了一种长寿命多触点触须 MIM。采用了机械调整和电调整的组合调整架,用 W-Ni、W-Fe 和 W-Cu MIM 在微波和激光上观察到快速响应讯号,并在两只选支 CO<sub>2</sub> 激光器上用 W-Ni MIM 观察到了拍频讯号。

## Multi-point contact MIM

Liao Shiqiang, Zhou Rufang, Tan Ciai, Sun Shundi

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

**Abstract:** We have constructed a long life time multi-point contact MIM. The diode mount is adjusted by combining the mechanical and electrical structure. Using W-Ni, W-Fe and W-Cu multi-point contact MIM, the fast response signals at 23 GHz in cm wave, 50 GHz in mm wave, 10.6  $\mu\text{m}$  in CO<sub>2</sub> laser and 6328  $\text{\AA}$  in He-Ne laser have been detected. The beat signal of about 30 MHz have been observed from two grating-tuned CO<sub>2</sub> lasers.

### 一、引言

触须 MIM (金属-绝缘层-金属) 是一种室温下使用的光频检波和外差混频器件,具有极快的响应时间,约为  $10^{-16}$  秒<sup>[1]</sup>,从直流到光频都具有非线性特性。能从厘米波直到光频区,在点接触势垒上将激光辐射场快速地转变为光频电压,因而可用于激光测频以及光频转换的研究。由于点接触性能极不稳定,需要精密度很高的机械调整结构,而且使用寿命很短,一般在几十分钟。

我们为激光测频链研制一种便于调整的长寿命多触点 MIM。测量 MIM 的非线性特

性,在厘米波为 23 千兆赫,毫米波为 50 千兆赫,CO<sub>2</sub> 激光的 10.6 微米以及 He-Ne 激光的 6328 $\text{\AA}$  波长上分别观察到了快速检波讯号,在两只选支 CO<sub>2</sub> 激光器上观测到了拍频讯号。

### 二、MIM 的工作原理、结构和制备

多触点 MIM,是用多根尖端极细的钨丝,和一个光洁度极高的金属柱面多点接触,中间隔着一层很薄的氧化绝缘层,形成了一个垒宽很窄的势垒,见图 1,势垒宽度  $S$  是触丝压力的函数。钨丝尖端的长度应大于激光

收稿日期: 1982 年 4 月 7 日。

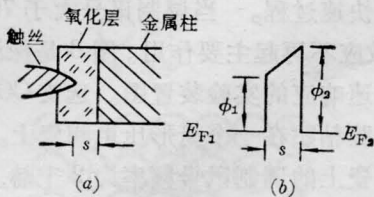


图 1

(a) 点接触结构; (b) 点接触势垒。\$\phi\_1\$ 为 \$W\$ 的功函数, \$\phi\_2\$ 为金属柱的功函数; \$S\$ 为势垒宽度; \$E\_{F\_1}\$ 和 \$E\_{F\_2}\$ 是对应的费米能级

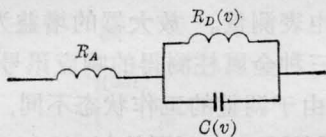


图 2 MIM 点接触的等效电路

波长, 相当于接收天线。激光束由天线接收后, 作用在点接触势垒上, 电子吸收了辐射能量并以隧道效应穿过势垒。分析点接触 MIM 的工作性能, 可将它用一等效电路表示<sup>[2]</sup>, 见图 2。\$R\_D(v)\$ 为 MIM 的非线性阻抗, \$C(v)\$ 是点接触的非线性电容, 都是外加偏压的函数。\$R\_A\$ 是钨丝形成的天线阻抗, 当用于 \$CO\_2\$ 激光时,

$$R_A = 60 \left[ 1.4 + \ln \left( \frac{2L}{\lambda} \right) \right], \quad (1)$$

其中, \$L\$ 为钨丝做天线使用时的长度, \$\lambda\$ 为 \$CO\_2\$ 激光波长。(1)式在 \$\frac{L}{\lambda} \gg 1\$ 时成立, 这时光频检波电压 \$V\_D\$ 为:

$$V_D \propto \frac{R_D}{[(R_A + R_D)^2 + (2\pi R_A R_D C f)^2]^{1/2}}, \quad (2)$$

其中 \$f\$ 为激光频率。点接触 MIM 的截止频率 \$f\_c\$, 用等效参数表示为:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_D C} \quad (3)$$

从(3)式设计截止频率达到 \$10^{15}\$ 赫的 MIM 时, 必须有 \$R\_D \approx 0.1\$ 欧姆, \$C \approx 0.01\$ 微微法。由于 \$R\_D\$ 和 \$C\$ 的数值与点接触面积以及势垒宽度 \$S\$ (即触丝对柱面的压力) 有关, 因此, 要求有一个能精细调整点接触压力

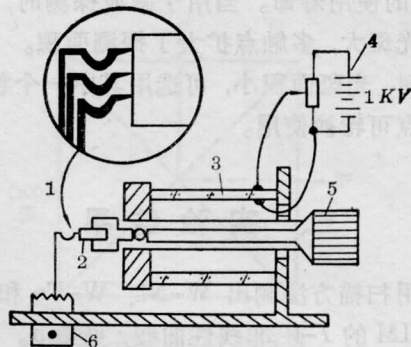


图 3 多触点 MIM 调整架的结构

1—U 形多触点钨丝; 2—金属柱; 3—筒形压电陶瓷; 4—电池组; 5—千分头; 6—输出头

的调整架。钨丝尖端的直径也要小于 \$1000 \text{ \AA}\$。

我们设计了一种多触点 MIM 调整架, 采用的是机械调整和电调整相组合的结构, 见图 3。机械旋转的千分头能调整到精度为 10 微米。精细调节用电调整。将机械调整部分联结在一个筒形压电陶瓷上, 筒形压电陶瓷总长 5 厘米, 当电压变化从 0 到 1 千伏时, 伸长量保证在 0 到 10 微米内连续可变。

MIM 的关键技术之一是钨丝尖端的形成和抛光。如尖端的直径为 \$a\$, 显然, \$R\_D \propto a^{-1}\$, \$C \propto a^2\$。从式(3)可知 \$f\_c \propto a^{-1}\$, 所以愈是在短波长上使用时, 要求触点愈细。我们使用的钨丝触点直径约为 \$500 \text{ \AA}\$, 用电解法抛光制成。图 4 是用十万倍电子显微镜拍摄的钨丝触尖照片。

\$Ni\$、\$Fe\$ 和 \$Cu\$ 柱的端面先用机械抛光, 再用 \$CaCO\_3\$ 粉末细磨成光洁面, 然后用热风加温, 在柱面上形成一层很薄的氧化层。当多触须和金属柱多点接触时, 多触点使得压力均匀分布, 各触丝不易形变, 这就大大延长了

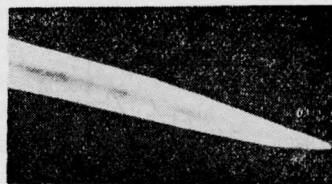


图 4 用电子显微镜拍摄的钨丝尖端照片

MIM 的使用寿命。当用于微波探测时,由于讯号光斑大,多触点扩大了探测面积。用于激光时,光斑面积小,可选用其中一个触点,且多点可轮换使用。

### 三、实验结果

用扫描方法测出 W-Ni、W-Fe 和 W-Cu MIM 的  $I-V$  非线性曲线,见图 5。三组曲线是直接从定标示波器上分三次描下来的。三种多触点 MIM 都用同一组触须。由于三种金属柱面上的氧化层厚度各不相同,调整时使用的点接触压力也不相同,结果势垒厚度亦不相同。但在  $I-V$  曲线上清楚地表明它们都呈明显的非线性。这时测得  $R_A + R_D$  的数值, W-Ni 为 0.4 欧姆, W-Fe 为 0.4 欧姆, W-Cu 为 0.5 欧姆。

测量快速响应检波特性时,调制讯号应尽可能高,因为在激光束作用下, MIM 的响应机理有两种效应同时存在<sup>[3]</sup>。一种是热效应,这是一种慢变过程。另一种是电子穿透

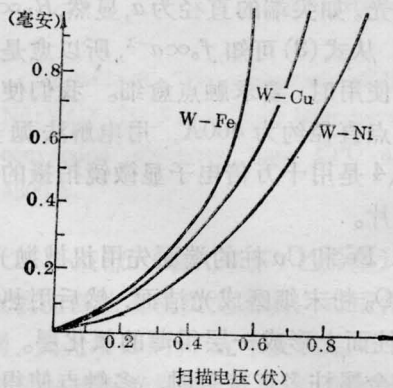


图 5 多触点 MIM 的  $I-V$  特征曲线

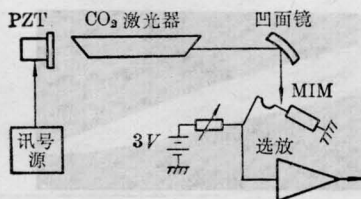


图 6 多触点 MIM 快速检测  $CO_2$  激光讯号装置图

势垒的快速过程。当调制讯号大于 70 赫以后,热效应不再起主要作用。图 6 是探测  $CO_2$  激光快速响应的实验装置图。选支  $CO_2$  激光的输出腔粘贴在一个筒形压电陶瓷上。加在压电陶瓷上的调制讯号频率为 2 千赫,电压峰值为 10 伏。 $CO_2$  激光束功率为 0.4 瓦,经过一个可调凹面反射镜,将光束聚焦在多触点 MIM 上。同时在 MIM 上加一定量的偏压。快速响应讯号经过选频放大器,用示波器和电表测量。放大器的增益为  $1 \times 10^6$ 。图 7 是三种金属柱测得的响应讯号与偏流的关系。由于调整的工作状态不同,既使是用同一个 MIM 也有不同的斜率。

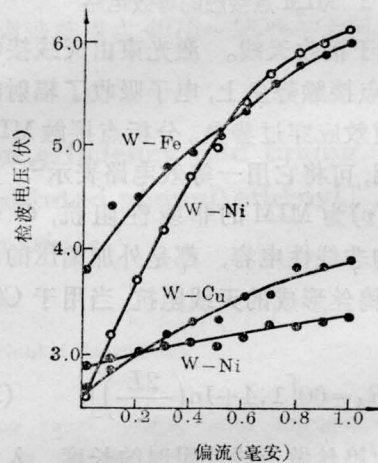


图 7 检波讯号幅度与偏流的关系

当检测 He-Ne 激光  $6328\text{\AA}$  时采用机械斩波器调制,转速为 200 赫。激光输出功率约为 3 毫瓦。检测微波讯号时,调制讯号加在速调管的反射极上。调制频率可以加高到 10 千赫,速调管的输出功率约为 40 毫瓦。用开口波导直接对着 MIM 的结点上。

在  $CO_2$  激光器和 He-Ne 激光器上做了 MIM 的工作寿命实验。在连续工作八小时以后,停机十二小时,再开机工作八小时, MIM 一直正常工作,检测讯号无显著变化。

图 8 为观测差拍讯号的实验方框图。两只选支  $CO_2$  激光器都调在同一支上,输出功率约为 0.5 瓦。两束激光平行入射在 MIM

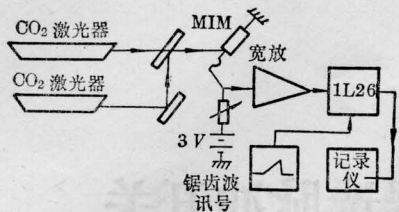


图8 观测两只 CO<sub>2</sub> 激光在双触点 MIM 上差拍的装置

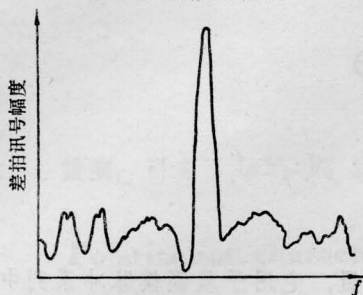


图9 从 1L26 输出记录的 30 兆赫差拍讯号

(上接第 214 页)

体,当惯常线通过荧光池时,InSb 探测器可探收到 4.3 微米的荧光信号,而当序列线通过荧光池时,则不会产生荧光信号。

在如图 4 所示的实验装置上,当激光放电管充气总压力为 11.8 托(其中 H<sub>2</sub> 0.2 托, CO<sub>2</sub> 0.7 托, Xe 1.4 托, N<sub>2</sub> 2.4 托, He 7.1 托),放电电流为 15 毫安左右时,我们观察到如表 1 所示的 65 条序列谱线,每条谱线对

(上接第 231 页)

图 6 所示)。这可避免通常在抛光中产生的塌边对样品边缘的损坏,从而保证了样品待测波导区域的完整性、平整度和平行度,也即保证了实验的可靠性和重复性。

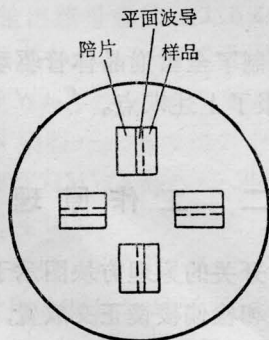


图6 磨抛工艺粘片位置示意图

上,差拍讯号用 1L26 频谱仪观察。图 9 是用记录仪描下的 30 兆赫差拍讯号。

比较了单触点 MIM 和多触点 MIM 快速检波的性能,在检测到的讯号幅度上两者并没有明显的差异。但在稳定性上多触点 MIM 明显牢靠得多,它的检波讯号幅度保持不变。而单触点 MIM 的检波讯号幅度不稳,特别是外振动干扰时,讯号起伏更大。实验证实多触点 MIM 可以应用于激光测频及激光频率转换的研究中。

### 参 考 文 献

- [1] T. E. Hartman; *J. Appl. Phys.*, 1962, **33**, 3427.
- [2] Bor-long Twn, S. E. Schwarz; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, 595.
- [3] S. A. Zhgun, V. A. Zarshchikov; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1976, **6**, 740.

应的波数系引用文献[3]给出的测量值。表 2 给出了所获得的 00<sup>0</sup>2 [10<sup>0</sup>1, 02<sup>0</sup>1]<sub>L, II</sub> 带 P 支与 R 支的强线与弱线激光功率,其它各线输出功率按 CO<sub>2</sub> 增益分布处于这些数值之间。

### 参 考 文 献

- [1] J. Reid et al; *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**, 2712.
- [2] W. Berger et al.; *Rev. Sci. Instrum.*, 1977, **48**, 1081.
- [3] K. J. Siemsen et al.; *Opt. Commun.*, 1977, **22**, 11.

实验中采用的干涉显微镜的光源是白炽灯加滤光片,单色性较差;其次,干涉条纹照片的放大倍数不详,故测得的是相对分布。进一步改进实验条件有望能够测得 Ti 扩散 LiNbO<sub>3</sub> 平面波导折射率的绝对分布。

### 参 考 文 献

- [1] R. V. Schmidt, I. P. Kaminov; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **25**, No. 8, 458~460.
- [2] M. E. Martin; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 9, 2112~2116.
- [3] G. B. Hoeker, W. K. Burns; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-12**, 748~752.
- [4] 大越孝敬编;《光ファイバの基礎》,オーム社,昭和 52 年 7 月 15 日。
- [5] B.-U. Chen, A. C. Paster; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **38**, No. 11, 570.