

光控介质谐振器振荡器的实验研究*

郭开周 L.A. Trinogga** 杨荣生

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘要 本文报道了关于光控介质谐振器振荡器的实验结果。对一只 9.5GHz 的介质谐振器振荡器进行实验,用硅半导体光敏材料,入射 15mW 红光,光控频率调谐达 17.5MHz,红光功率的平均频率调谐率为 1.17MHz/mW。入射 5.5mW 紫光,光控频率调谐达到 12.3 MHz。紫光功率的平均频率调谐率为 2.24MHz/mW。在整个调谐范围内振荡器的微波输出功率随光功率增加而略有上升。

关键词 光控微波,介质谐振器振荡器,光控频率调谐

1 引言

光与微波相互作用是近年来颇受重视的一门交叉学科。由于它有许多特点和优点,因而可用于放大器增益控制、振荡器调谐以及开关、限幅、移相、锁相等方面^[1]。光控介质谐振器振荡器是其中的一种,美国 Drexel 大学,通用电气公司空间部,RCA 实验室,Naval 空间发展中心等单位的学者做了很好的实验工作^[2-4]。1985 年他们用光功率密度 1W/cm² 的白光对一只 X 波段介质谐振器振荡器(DRO)做实验,取得 12MHz 光控频率调谐的结果。他们的光控 DRO 频率调制(FM)率达 130MHz(这一参数表征调制的快慢,其上限决定于光敏材料的载流子寿命);频率随温度和偏压的变化都不受光控的影响;随入射光功率上升,品质因数 Q_{02} 有些下降。我国上海科技大学对这种光控结构进行了分析,给出了光致等离子体浓度与频率调谐关系的理论计算^[5]。这是一项有意义的工作。本文是在文献[6]基础上的实验研究,着眼于光敏片附近的场分布以及光敏材料等实际因素的影响。

2 实验装置和结果

结构示意图 1。在介质谐振器(DR)上放一光敏半导体材料圆片,光照将产生载流子。在 DR(TE₁₁₀ 模)的方位角向电场作用下,这些载流子形成方位角向电流。这一电流将引起磁场经向分量不连续,使系统中场分布发生变化,从而产生频移。

首先对国内现有的半导体材料(Si, GaAs, InP)进行了挑选。把这些材料加工成不同尺寸,一共用 47 块光敏片子进行实验。我们曾在两块片子上制作金属图案;在一些实

1992-08-07 收到,1992-11-19 定稿

* 国家自然科学基金和英国皇家学会联合资助课题

郭开周 男,1938 年生,研究员,现从事微波固态线路、光控微波和利用激光激发半导体材料产生皮秒电磁脉冲的研究。

** L. A. Trinogga male, born in 1940, Doctor, reader, Faculty of Information and Engineering Systems, Leeds Metropolitan University, Beckett Park, Leeds, LS6 3QS, UK.

杨荣生 男,1962 年生,硕士,现在美国明尼苏达大学读博士。

验中, 在光敏片子与 DR 之间放置低损耗低介电常数的介质片, 但这些措施效果都不明显。最后我们采用了暗电阻率为 $1k\Omega \cdot cm$ 的 Si 片直接放置在 DR 上面的结构。

我们前后共采用了 4 只 X 波段 DRO 做实验, 1#DRO 为国内产品, 2#—4#DRO 为英国产品。1#DRO 光控实验结构见图 1, 我们在光敏片子的上方装有一个可调的金属圆筒(黄铜), 其内孔可通过入射光。上下调动这个圆筒可改变 DR 上面的场分布(调频率)。DR 的直径 $2R = 6.5mm$, 高 $H = 2.8mm$, $2R/H = 2.32$ 。DR 与微带线贴近, 强耦合。DRO 中心频率为 $9.4GHz$, 输出功率 $\sim 30mW$ 。所用的 Si 片(26#) 直径为 $6mm$, 只用细砂纸和金相砂纸打磨, 没有抛光。为获得较好的光控效果, 圆筒应调到最佳位置, 对于 26#Si 片, 距离 $g = 0.440mm$ 。我们认为, 这一距离决定于具

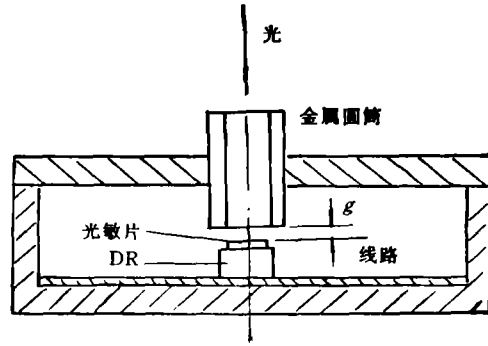


图 1 1#DRO 实验结构示意图
介质谐振器 (DR) 直径 $2R = 6.5mm$, 高 $H = 2.8mm$, $2R/H = 2.32$
金属圆筒: 材料: 黄铜, 外径: $10mm$, 内径: $6mm$, 长: $25mm$

圆筒应调到最佳位置, 对于 26#Si 片, 距离 $g = 0.440mm$ 。我们认为, 这一距离决定于具

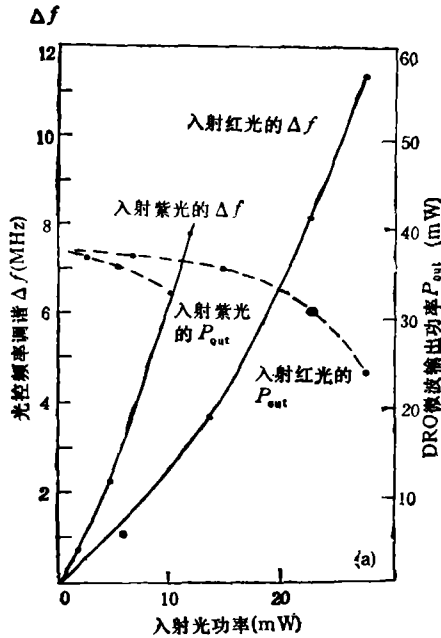


图 2 1#DRO 光控频率调谐和微波输出功率与入射光功率的关系
26# 硅片: 厚 $0.596mm$, 直径 $6mm$, $g = 0.404mm$
DRO 振荡中心频率 $9.4GHz$

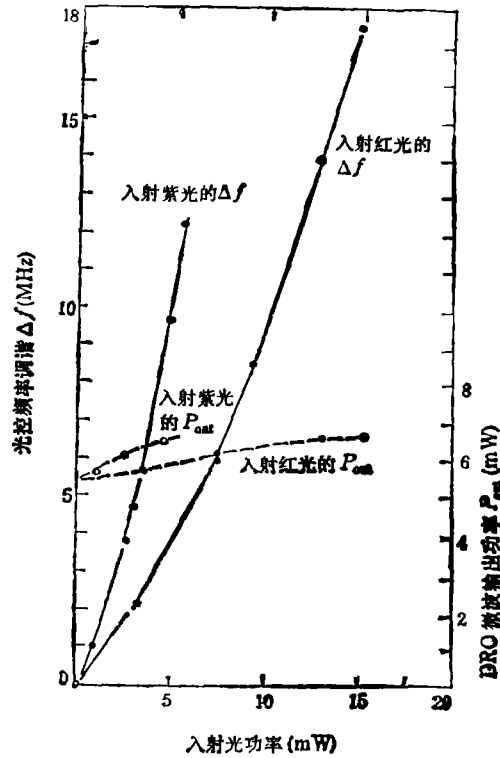


图 3 2#DRO 光控频率调谐和微波输出功率与入射光功率的关系
DR 直径 $2R = 5.9mm$, 高 $H = 2.2mm$, $2R/H = 2.68$
光敏片为 26# 硅片, 厚 $0.596mm$, 直径 $6mm$, DR 与上面金属屏蔽板的距离 $= 4mm$, DRO 振荡中心频率 $9.5GHz$

体 DRO 的场分布要求、保证一定的品质因数 Q 值以及线路自身的设计要求。实验曲线见图 2。图 2 的平均调谐率, 红光为 0.42MHz/mW , 紫光为 0.67MHz/mW 。图 2 还给出了光控调谐过程中振荡器微波输出功率的变化情况。对于 1[#]DRO, 在整个调谐范围内随入射光的功率上升, 振荡器的微波输出功率有一定的降低。我们发现光敏片与 DR 的同心度严重影响微波输出功率, 如对 26[#] 片子, 一次实验在 33mW 白光照射下, 光控频率调谐为 13.5MHz , 振荡器输出功率从 36mW 降至 25mW 。但同心度稍差一点 (小于 0.1mm 的偏心), 光控频率调谐数值变化不明显, 输出功率竟从 37mW 下降到 10mW 。

光照对中也是重要的。在用网络分析仪测 DR 和光敏片的性能时发现, 光照偏心太大时, 谐振频率不是上升而是下降。例如把 16[#]Si 片放在一个 X 波段 DR 上, 对准光照时, 系统谐振频率上升 5MHz , 光照偏心 $\sim 1\text{mm}$ 时, 系统谐振频率却下降 0.44MHz 。

这一系统对光是很敏感的, 见图 1, 如果不封住金属圆筒的直径 6mm 的孔, 房中自然漫射光将透入, 可产生近百千赫的光致频移。

后来我们选用了一只英国工业界大批量生产的 DRO(2[#]DRO)。DR 的直径 $2R=5.9\text{mm}$, 高 $H=2.2\text{mm}$, $2R/H=2.68$, DR 与上面金属屏蔽板的距离 4mm (未采用图 1 中的金属圆筒), 光入射孔径为 6mm 。DR 与振荡器微带线紧贴, 强耦合。DRO 中心频率为 9.5GHz , 输出功率 $5\sim 6\text{mW}$ 。采用 26[#] Si 片, 实验曲线见图 3。红光入射功率 15mW ; 光控频移 17.5MHz , 平均调谐率为 1.17MHz/mW ; 紫光入射功率 5.5mW , 光控频移 12.3MHz , 平均调谐率为 2.24MHz/mW 。在整个调谐范围内随入射光信号功率上升, DRO 的微波输出功率略有上升。

关于另两只 DRO 的实验情况如下:

3[#]DRO 的 DR 直径 $2R=5.5\text{mm}$, 高 $H=2.4\text{mm}$, $2R/H=2.29$, DR 与微带线强耦合, 用 26[#] Si 片取得了 15.673MHz 的红光光控频移, 情况比 2[#] DRO 稍差一些。4[#] DRO 由于 DR 与微带线间有一定距离、耦合很弱, 几乎观察不到光控频移。

3 结语

通过大量实验, 我们发现无论光敏片与 DR 的对中, 还是入射光与光敏片的对中都是很重要的。光敏片表面不十分光洁, 并未造成明显的微波损耗。介质谐振器振荡器 (DRO) 的设计也很重要, 光敏片引入的损耗不应使微波输出功率降低。我们采用可见光两端的红光和紫光来做实验, 紫光的调谐率高于红光的调谐率。别的可见光光控性能应在红光与紫光之间。

从表 1 数据对比可以看出, 无论在光控频移的绝对值、平均调谐率还是在光控时微波功率下降与否方面, 本文在 2[#] DRO 上获得的实验结果是比较好的。

可以相信光控性能还有进一步改善的可能。在材料方面, 我们并未专门研制, 因此本文采用的光敏半导体材料的性能并不能说是最佳的 (有关对材料的要求见文献 [6])。DRO 也是采用现成的, 并未专门设计。如果 DRO 工作在绝对带宽更宽的 2cm 或毫米波段 (DR 的直径减少, 表面积按平方减小), 相信能够以比本文低得多的人射光功率获得比本文宽得多的光控频移。

光控 DRO 的缺点是在调谐的全程内线性不太好。但是如果不要调谐太宽, 由图 3 可以看出, 在一定范围内获得较好的准线性是可能的。

表 1 有关的实验数据

文献 (年代)	DRO 频率 (GHz)	光敏 材料 (暗电 阻率 kΩ· cm)	单色光调制情况*	白光 通量 (W/ cm ²)	估计照 到光敏 材料上 的白光 功率 (mW)	白光的 光控频 移 (MHz)	白光功 率的调 谐率 (MHz/ mW)
文献[2] 1984	10.2	Si 5	① He-Ne 气体激光 (630 nm) 5mW 产生 0.4MHz 频移 调谐率=0.08MHz/mW ② GaAs LED (850nm) 1mW 产生 0.5MHz 频移 调谐率=0.5MHz/mW	0.1**	~27**	15 (DRO 输出功率 下降 1dB)	~0.55**
文献[3] 1985	10.8		IR LED 1mW 产生近 1MHz 频移 调谐率≈1MHz/mW	1	~270	12	~0.044
文献[4] 1985	10.2	Si 5	与文献[2]情况完全一样	1	~270	12 (DRO 输 出功率下 降 1dB)	~0.044
文献[5] 1990			单色光光控频率 6.5MHz (对 DR)				
本文	9.5	Si 1	① 红光 15mW 产生 17.5MHz 频移 调谐率=1.17MHz/mW ② 紫光 5.5mW 产生 12.3MHz 频移 调谐率=2.24MHz/mW				光控时 DRO 输 出功率略 有上升

* 实际应用应是单色光

** 仔细对比文献[2-4], 笔者怀疑 0.1W/cm² 这个数据似有误。~27mW, ~0.55MHz/mW 是根据 0.1W/cm² 计算出来的。

致谢 作者对中国科学院半导体研究所梁骏吾研究员在光敏材料方面的有益讨论; 对中国科学院电子学研究所方希曾副研究员、北京电子管厂郭显平教授级高级工程师、陈国美工程师在 DR 和光敏片的微波测量方面的帮助; 对航空航天部二院二十五所张灵工程师在 DRO 的调试和光控性能的测试方面的帮助表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Esman R D, *et al.* IEEE Trans. on MTT, 1989, MTT-37(10):1512-1518.
- [2] Herczfeld P R, *et al.* Proc. 14th European Microwave Conf. Liege, Belgium, Sept. 1984, 268-273.
- [3] Herczfeld P R, *et al.* Optically Controlled Microwave Devices and Circuits, 1985 IEEE MTT-S Digest, H-15, 211-214.
- [4] Herczfeld P R, *et al.* RCA Rev., 1985, 46(12), 528-551.
- [5] Xu Deming, *et al.* A New Method for Analysing the Optically Controlled Dielectric Resonators. Proc. Europ. Microwave Conf. Budapest, Hungary, Sept. 1990, 1609-1611.
- [6] 郭开周, 等. 电子科学学刊, 1991, 13(5): 532-537.

EXPERIMENTAL STUDY OF AN OPTICALLY CONTROLLED DIELECTRIC RESONATOR OSCILLATOR

Guo Kaizhou L A Trinogga Yang Rongsheng
(*Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

Abstract Some new experimental results of optically controlled dielectric resonators (DRO) are presented. A very stable X-band DRO was found to be optically tunable up to 17.5MHz with modulation rate of 1.17MHz/mW with red light illumination. And an even higher modulation rate of 2.24MHz/mW with illumination of violet light was obtained. Instead of a drop in optically controlled DRO output power, a little rise of output power was achieved.

Key words Optically controlled microwave, Dielectric resonator oscillator, Optically controlled frequency tuning