

制备多模聚硅氧烷光波导关键技术的改进*

温昌礼^{1)†} 季家镨²⁾ 窦文华²⁾ 冯向华²⁾ 徐蓉¹⁾ 门涛¹⁾ 刘长海¹⁾

1) (宇航动力学国家重点实验室, 西安 710043)

2) (国防科学技术大学光电科学与工程学院, 长沙 410073)

(2011年6月20日收到; 2011年8月29日收到修改稿)

本文利用浇铸法, 使用 M&N 胶和 OE6450 两种聚硅氧烷制备光波导. 通过改进制备光波导的多个关键技术, 解决了波导制备过程中的气泡问题、脱模问题、芯层不固化问题、芯层和覆盖层产生化学反应等难题, 提出了比较完备和科学的聚硅氧烷波导制备工艺流程, 从而使得波导的制备成品率从原来低于 40% 提高到高于 80%, 波导的最大长度从原来的 21 cm 增加到 22.5 cm, 波导的损耗(截断法测量结果)从最初的 0.3dB/cm(850 nm) 降低到了 0.21dB/cm(850nm). 本文在波导制备技术方面具有重要的实际意义和价值.

关键词: 光学设计, 多模脊形波导, 聚硅氧烷, 浇铸法

PACS: 42.15.Eq, 42.70.-a, 42.70.Jk, 42.79.-e

1 引言

随着计算机和通讯技术的发展, 对于互连技术的要求变得越来越高. 传统的电互连技术逐渐暴露其瓶颈问题, 如信号失真、串话、时钟歪斜等等. 这些因素制约了电互连技术的进一步发展. 与此同时, 光互连技术以其独有的优点, 如极高的空间带宽积、高速、高密度等, 正在逐渐取代电互连技术. 而聚合物光互连是光互连技术中一种重要的互连手段, 其以方便集成的优势成为研究的热点之一. 而聚硅氧烷作为波导材料, 具有价格便宜的优点. 近年来, 研究者对聚硅氧烷波导进行了大量的研究. 1995 年, Misuo Usui 等人利用氧化的聚硅氧烷制备了光波导^[1]. 他们研制的波导为单模波导, 在 1.31 μm 波段损耗为 0.1dB/cm, 1.55 μm 波段的损耗为 0.5dB/cm. 1996 年他们对聚硅氧烷波导继续进行了研究^[2]. 2004 年到 2005 年间, Kopetz 和 Neyer 等人利用德国 Wacker Chemie GmbH 公司生产的聚硅氧烷制备了尺寸为 70 μm × 70 μm 的多模脊形波导, 在 850 nm 处的损耗为 0.05dB/cm. 但是德国生产的这种聚硅氧烷(在中国没有代理商), 在中国购买比较困难, 经过经销商周转后购买价格反而比较高, 也不能像 Kopetz 和 Neyer 论

文中所说的那样, 节约波导制备的成本. 同时他们发表的论文中并未提及所制备波导能达到的长度^[3,4]. 2010 年, 我们利用 M&N 胶和 OE6550 成功制备了尺寸为 50 μm × 70 μm 的多模脊形波导, 长度达 21 cm, 用截断法测量光在 850 nm 处的传输损耗为 0.3dB/cm, 但成品率较低^[5]. 而波导制备过程比较难, 其中有多项关键性的技术难题, 比如脱模、除气泡等. 本文利用晨光化工研究所生产的 M&N 胶和道康宁公司生产的 OE6450(和 OE6550 性能相仿), 通过对制备波导多个关键技术的改进, 使得成品率从低于 40% 提高到了高于 80%, 降低了波导制备的难度, 并且制备出了更长的波导, 长度达 22.5 cm, 且截断法测得 850 nm 处损耗为 0.21dB/cm. 这里需要补充说明的是, 由于在国内购买 Wacker Chemie GmbH 公司的聚硅氧烷产品非常困难, 且价格昂贵, 所以波导材料用 OE6450 和 OE6550 代替. 因此, 所制备波导损耗略高于 Kopetz 等人所制备的波导. 本文所做的工作具有重要的实用价值.

2 制备方法的改进

将波导制备的模压法(如图 1 所示)改为浇铸

* 国家高技术研究发展计划(批准号: 2007AA01Z2a5)资助的课题.

† E-mail: wcl100@163.com

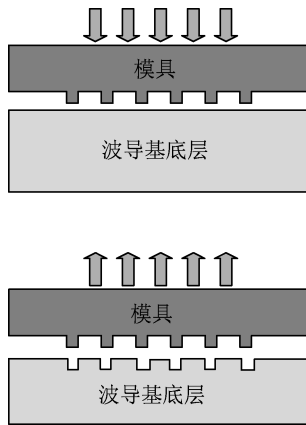


图1 模压法流程示意图

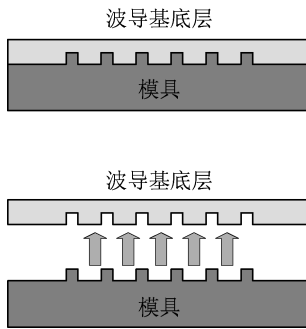


图2 浇铸法流程示意图

法(如图2所示),实际上就是将制备方法改为把模具置于底部,然后将波导材料注入模具中,得到波

导基底层的一种方法. 实验证明,采用浇铸法比模压法更有利于波导的成型,并且更有利于减少气泡. 材料位于模具上方,在固化过程中产生的气泡就不会受到模具的阻隔,可以直接挥发到空气中,因而更有利于减少波导中气泡的含量.

3 减少气泡的方法

除了第2小节中所述的利用浇铸法,以及抽真空和静置的方法减少气泡外^[5],还必须采取另外的一些方法,才能更有效地减少气泡. 首先在材料注入模具并静置一段时间后,在模具的内侧壁上,仍然会存在少量的气泡无法除去. 这是由于模具侧壁对微小的气泡具有吸附作用,所以通过静置的方法无法完全消除气泡. 这时,需要通过手工的方法利用细长而干净的工具(如银针)除去剩下的气泡. 另外,固化温度和固化时间的控制,也会影响气泡的含量. 如图3所示为固化温度为150°C时固化时间为20 min时所制备的波导,可见此波导中含有多个气泡. 如图4所示,通过实验发现,当基底和覆盖层的固化温度控制在90—100°C,固化时间约为10 min时,所制备的波导气泡含量是最少的. 这是因为如果固化温度太高,固化反应过程就变得很剧烈,就会产生更多的气泡,而气泡产生过多或者气泡产生速度过快都会导致气泡还没来得及挥发出去就被固化到波导之中,从而影响所制备波导的质量.

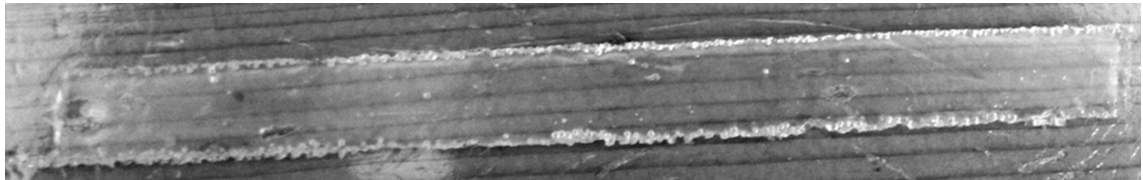


图3 固化温度为150°C时所制备的波导实物图

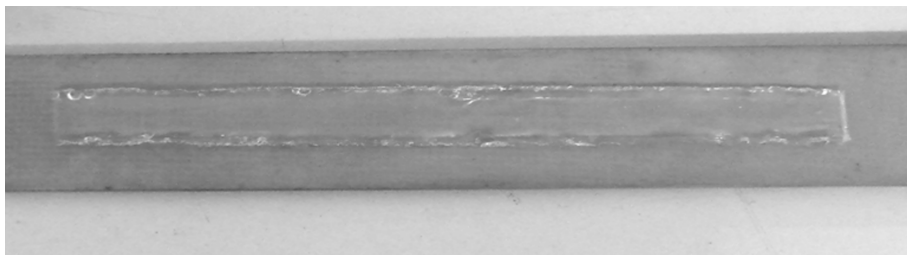


图4 固化温度为100°C时所制备的波导实物图

4 脱模工艺的改进

如果采用使用脱模剂的思路来改进脱模技术, 不可避免的会对成型质量造成各种影响 (如成型尺寸变小等), 且脱模剂的选择非常困难, 需要考虑多种因素 (如脱模剂与材料不发生化学反应等). 本文通过实验发现, 控制好固化温度和固化时间, 以及设法使波导受热均匀, 可以在很大程度上降低脱模的难度, 提高波导成型的质量, 也避免了脱模剂的使用. 如图 5 所示, 固化时间过长和固化温度过高, 将导致脱模非常困难, 造成波导在脱模时断裂、变形等. 实验证明, 将待固化的波导置于温控箱的中间, 在 100°C 下固化 5 min 后, 将波导前后位置调

换, 然后再继续固化 5 min, 之后立即取出并尽快进行脱模. 这时, 脱模成功率最高, 且所制备的波导成型质量也最好, 如图 6 所示. 由此可以看出, 波导材料和模具的粘附性与材料的固化程度有关, 当固化程度满足某个特定条件时, 材料与模具的粘附性才能达到最小.



图 5 固化时间过长和固化温度过高时所制备的波导实物图



图 6 100°C 时置于温控箱中间, 先固化 5 min, 前后位置调换后, 再固化 5 min 后所制备的波导实物图

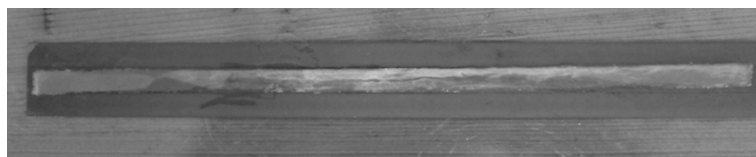


图 7 芯层和覆盖层发生化学反应时所制备的波导实物图

5 关于芯层不固化以及芯层和覆盖层发生化学反应问题的解决方案

如图 7 所示, 如果芯层不固化, 或者固化不充分, 就会和覆盖层发生化学反应, 从而破坏波导的透光性. 因此, 必须在涂芯层之前, 取少量样品检测是否能成功固化. 实验证明, 只要芯层样品可以固化, 剩下的芯层混合液 (芯层材料与其固化剂的混合液) 就能全部成功固化. 反之, 如果样品不固化, 不管采用什么办法, 剩下的液体都不再固化. 在出现样品不固化的情况后, 必须立即清洗所用到的各种工具 (包括将实验者的双手彻底清洗), 然后重新取芯层材料, 再次取样品测试, 直到成功为止. 出现这种现象的原因是芯层材料和基底以及覆盖层材料在液体状态下会发生化学反应. 而在实验过程中, 难免会在混合芯层材料的过程中引入少量的覆

盖层和基底的材料, 引发破坏性的化学反应导致芯层不固化, 如图 7 所示. 而相应的措施就是: 待波导成功脱模后, 将成型的波导基底置于 150°C 的高温 30 min, 进行二次固化. 这样就能保证芯层充分固化, 而不与覆盖层发生破坏性的化学反应.

6 改进后的波导制备流程

改进后的波导制备流程如图 8 所示. 首先做好准备工作: 将模具仔细清洗干净, 直至在显微镜下观察模具不带有任何杂质. 先将模具密封保存起来, 以免再次引入杂质. 将 M 和 N 胶按照 1 : 1 均匀混合, 并把 OE6450 和其固化剂按照 10 : 1 的比例均匀混合, 静置约 30 min, 等待两种混合液里面的气泡完全消失, 准备开始制备波导.

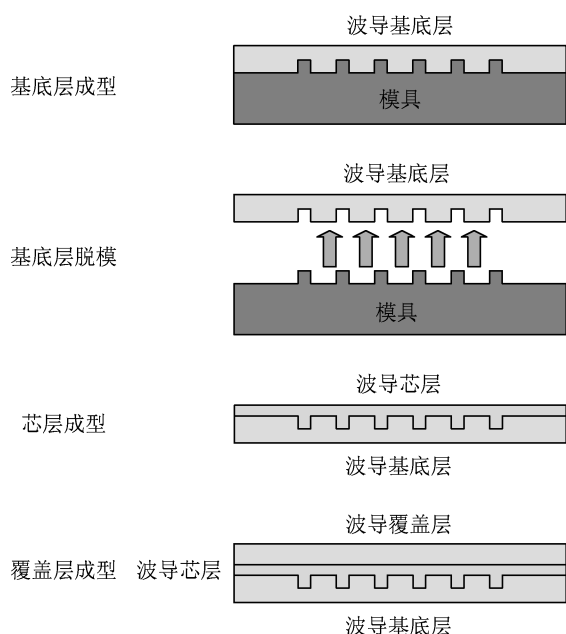


图8 改进后的波导制备流程(以 M&N 胶和 OE6450 的配料方案为例)

第一步 将模具置于全息台上, 以保证模具持平, 利用刮刀机和滴管使 M 和 N 胶的混合液在模具上成膜. 然后将模具和液态的基底层一起放入 100 °C 的温控箱中间, 5 min 后取出模具和基底, 将它们前后调换, 以保证受热均匀, 继续再固化 5 min.

第二步 立即取出带有基底层的模具, 然后迅速将基底从模具上细心地剥离出来. 之后, 清洗基

底, 直至在显微镜下观察基底上不存在任何杂质为止. 然后将基底放入 150 °C 的温控箱中 30 min, 以保证成型的基底充分固化.

第三步 首先测试 OE6450 能否成功固化, 如果不能, 重新配置芯层混合液, 直至 OE6450 能成功固化为止. 将基底放于全息台上, 利用刮刀机和滴管使 OE6450 和其固化剂的混合液在基底上成膜. 然后将基底和芯层一起放入 150 °C 的高温中 25 min.

第四步 利用刮刀机和滴管将 M&N 胶的混合液在第三步制备的波导芯层上再涂一层膜, 然后放入 120 °C 的温控箱中 20 min. 此时, 波导的制备工作就完成了.

7 光波导制备关键技术改进后所制备的 22.5cm 长的波导及其通光实验和损耗

在参考文献 [5] 中, 我们成功制备了长度为 21 cm 的波导. 而通过制备技术的改进, 除了使成品率由低于 40% 提高到高于 80% 外, 在波导长度方面也略有增加. 图 9 所示的波导长度为 22.5 cm, 而图 10 所示为该波导成功实现通光的实验图. 如图 11 所示, 由截断法测量得波导在 850 nm 处损耗值为 0.21 dB/cm.

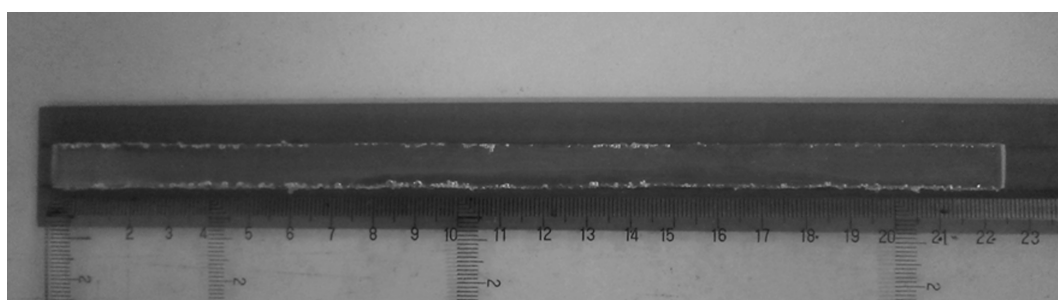


图9 所制备的长达 22.5 cm 的波导

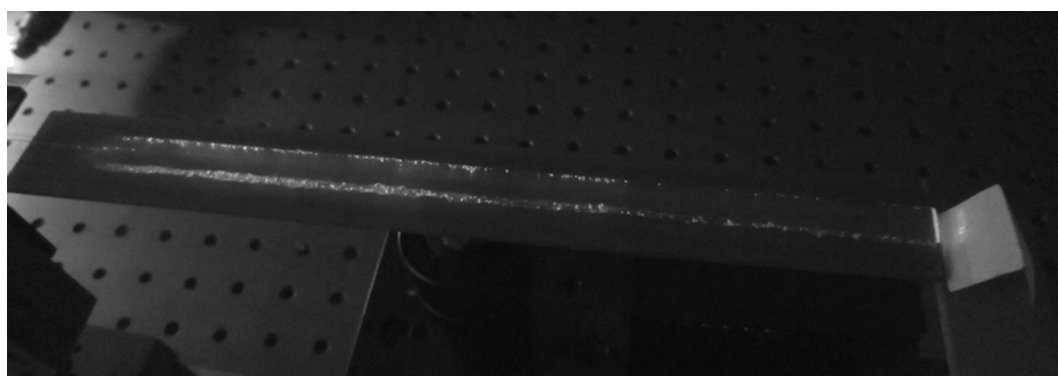


图10 长 22.5 cm 的波导的通光实验

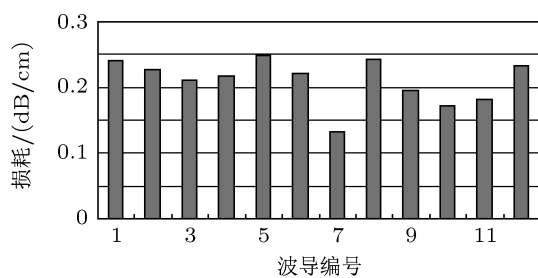


图 11 截断法测量结果

8 小结

由于改进了聚硅氧烷光波导制备过程中的多种关键技术,波导制备的难度降低了,波导制备的成品率从低于 40% 提高到了高于 80%,波导长度从原来的 21 cm 增加到 22.5 cm,在 850 nm 处的传输损耗从 0.3dB/cm 降低到 0.21dB/cm. 本文在聚硅氧烷光波导研究领域,具有重要的实用价值和意义.

- [1] Misuo Usui, Makoto Hikita, Toshio Watanabe, Michiyuki Amano, Shungo Sugawara, Shoichi Hayashida, Saburo Imamura 1995 *IEEE* **4** 260
- [2] Misuo Usui, Makoto Hikita, Toshio Watanabe Michiyuki Amano, Shungo Sugawara, Shoichi Hayashida, Saburo Imamura 1996 *Journal of Lightwave Technology* **4** 2338
- [3] Kopetz S, Rabe E, Kang W J, Neyer A 2004 *Electronics Letters*

40 668

- [4] Neyer A, Kopetz S, Rabe E, Kang W J, Tombrink S 2005 *Electronic Components and Technology Conference* **55** 246
- [5] Wen C L, Ji J R, Feng X H, Song Y S, Dou W H 2011 *Acta Optica Sinica* **31** 0212005 (in Chinese) [温昌礼, 季家镨, 冯向华, 宋艳生, 窦文华 2011 光学学报 **31** 0212005]

Improvement of the technology of making multi-mode polysiloxane waveguides*

Wen Chang-Li^{1)†} Ji Jia-Rong²⁾ Dou Wen-Hua²⁾ Feng Xiang-Hua²⁾ Xu Rong¹⁾
Men Tao¹⁾ Liu Chang-Hai¹⁾

1) (State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an 710043, China)

2) (College of Opto-Electronics Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

(Received 20 June 2011; revised manuscript received 29 August 2011)

Abstract

In this paper, we present an improved technology of making multi-mode polysiloxane waveguides. Through this kind of improvement, we can solve these problems such as reducing the number of air bubbles, demoulding, uncuring of the core layer, the chemical reaction between the core layer and the cover layer, etc. Finally, more than 80% of waveguides made by us can be successful, but before the improvement of the technology we can only have less than 40% successful waveguides. The longest waveguides can be 22.5 cm in length, compared with the 21 cm of previous ones. The propagation loss of the waveguides is 0.21 dB/cm (850 nm) by cutting back method, but before the improvement we can only have a loss of 0.3 dB/cm (850 nm). So the improvement of the technology is important in optical waveguides making.

Keywords: optical design, multi-mode rib waveguides, polysiloxane, pouring

PACS: 42.15.Eq, 42.70.-a, 42.70.Jk, 42.79.-e,

* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2007AA01Z2a5).

† E-mail: wcl100@163.com