

文章编号: 0258-7025(2009)04-0968-04

新型软光电传输媒介

杨富龙¹ 李建新¹ 张庆华² 张世国² 李作鹏² 胡晓东¹ 叶报喜¹ 邓友全² 张晓萍¹

(¹ 兰州大学信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000
² 中国科学院兰州化学物理研究所绿色化学与催化中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要 将新型软光电功能材料——离子液体注入到内径为 0.32 mm 的石英管中制成了能同时传输光电信号的传输媒介, 选用 10 种不同的离子液体, 实验研究了传输媒介的主要特性。研究发现, 当传输信号频率大于 10 Hz 时, 光电信号之间互不影响; 其数值孔径可达 0.554, 优于传统的光纤传输媒介; 其衰减特性与波长和离子液体种类有关; 不同离子液体制成的传输媒介其阻抗相差可达一个量级以上, 并对温度的敏感程度不同; 该传输媒介能够传输交流电压, 并随着频率的升高而升高。

关键词 光电子学; 数值孔径; 衰减; 阻抗; 离子液体

中图分类号 TN213; TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093604.0968

New Soft Optoelectronic Transmission Medium

Yang Fulong¹ Li Jianxin¹ Zhang Qinghua² Zhang Shiguo² Li Zuopeng² Hu Xiaodong¹
Ye Baoxi¹ Deng Youquan² Zhang Xiaoping¹

¹ School of Information Science and Engineering, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China

² Centre for Green Chemistry and Catalysis, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China

Abstract A new soft optoelectronic function material, which can transmit optical and electrical signal simultaneously, was made by injecting ionic liquids (ILs) into a quartz capillary tube with the inner diameter of 0.32 mm. 10 types ILs were used to make transmission media and their characteristics were studied experimentally. It is found that optical and electrical signal can transmit respectively when the frequency of electric signal is higher than 10 Hz. The numerical aperture of the medium can achieves 0.554, which is bigger than that of the traditional optical fiber transmission medium. The attenuation is relative to both the types of ILs and wavelengths. The impedances are sensitive to temperature, and at the same temperature the impedance disparity of different transmission media can reach more than 10 times. The maximal AC voltage that the medium can transmit increases with the increase of frequency.

Key words optoelectronics; numerical aperture (NA); attenuation; impedance; ionic liquids (IL)

1 引言

新型软光电功能材料——离子液体(ILs)是由特定阳离子和阴离子构成的在室温或接近室温下呈液态的熔盐体系, 具有独特的物理化学性质及其他固体或液体材料不可替代的功能^[1]。由于离子液体固有的导电性、导光性、不挥发性、电化学稳定窗口比电解水大得多等优良特性, 使得离子液体在电化

学、电子、微电子、能源(如太阳能电池关键材料)等领域受到广泛关注^[2,3]。研制新传输媒介以满足日益增长的通信容量的要求一直是人们关注的问题, 一方面正在不断改变现有传输媒介的结构, 出现了新型的多模光纤^[4]、非零色散位移光纤^[5]、全波光纤^[6]、光子晶体光纤^[7~9]等, 另一方面不断寻找新型材料构成新型传输媒介来扩展通信波长, 出现了液

收稿日期: 2008-08-15; 收到修改稿日期: 2008-10-26

基金项目: 国家自然科学基金(60377039, 20533080)和教育部“新世纪优秀人才支持计划”基金(NCET-04-0981)资助课题。

作者简介: 杨富龙(1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事智能光电传感方面的研究。E-mail: yangfulong1982@sina.com

导师简介: 张晓萍(1961—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事光波技术及应用等方面的研究。E-mail: zxp@lzu.edu.cn

芯光纤^[10]、聚合物光纤^[11]等。本文将离子液体作为新型的传输媒介并研究其传输特性, 结果发现, 该传输媒介能够同时传输光信号并且当频率超过 10 Hz 时光电信号互不影响, 其衰减特性与波长和离子液体种类有关, 不同离子液体制成的传输媒介其阻抗相差一个数量级以上, 并对温度的敏感程度不同。

2 离子液体及传输媒介构成

新型传输媒介的结构如图 1 所示。实验中将离子液体注入直径为 0.32 mm 的石英管中, 两端用匹配光窗封装, 同时用高压抽真空的方法将管内的空气泡排除, 因为空气泡的存在会引入额外的衰减。

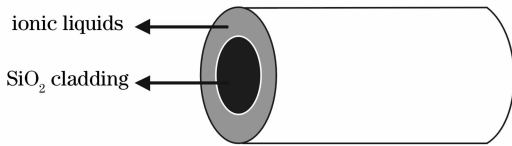


图 1 传输媒介结构示意图

Fig. 1 Schematic of the transmission medium

选用 10 种离子液体和一种分子试剂(甘油 e) 为芯区传输材料, 如表 1 所示, 离子液体由中国科学院兰州化学物理研究所合成。

表 1 实验选用的离子液体

Table 1 Ionic liquids was used in experiment

a	[HMIIm]Br	g	[HMIIm]CH ₃ SO ₃
b	[C ₂ OHMIIm]HSO ₄	h	[EMIIm]CH ₃ SO ₃
c	[BIMIIm]ClO ₄	i	[C ₃ MIMIIm]I
d	[C ₂ OHMIIm]N(CN) ₂	j	[BIMIIm]C ₁₁ H ₂₃ COO
e	C ₃ H ₈ O ₃	k	[BIMIIm]N(CN) ₂
f	[BIMIIm]I		

3 实验结果与讨论

3.1 数值孔径测试

数值孔径(NA)为

$$NA_{t,\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

其中 n_1, n_2 分别为芯区传输材料的最大折射率和最

内均匀包层折射率。实验中包层为 SiO₂, 其折射率为 $n_2 = 1.457$, 由于传输媒介芯区离子液体分布是均匀的, 因而 n_1 是常数, 其大小由阿贝折光仪测得。

图 2 是不同离子液体构成的传输媒介所对应的数值孔径, 可以看出, 不同离子液体构成的传输媒介数值孔径相差达到 5 倍以上, 在 25 °C 时, 由离子液体 [C₃MIMIIm]I (图中 i) 构成的传输媒介的数值孔径为 0.554, 优于传统的商用二氧化硅光纤的数值孔径, 同时数值孔径还可以根据需求选择合适的阴阳离子进行调节, 实验发现卤族元素碘为阴离子的离子液体构成的传输介质的数值孔径较大。

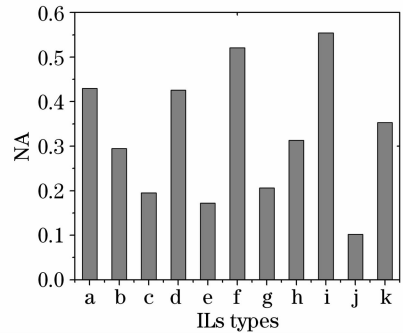


图 2 传输媒介的数值孔径

Fig. 2 Transmission medium's NA

3.2 衰减测试

采用剪断法测量的传输媒介衰减为

$$\alpha = \frac{10}{L-Z} \lg \left[\frac{P(\lambda, Z)}{P(\lambda, L)} \right],$$

其中 L, Z 为传输媒介剪断前后的长度, $P(\lambda, L)$, $P(\lambda, Z)$ 为传输媒介剪断前后接收到的功率。

图 3 是测试传输媒介传输 1530 nm 波长时衰减的实验装置。宽带激光光源 (ASE 1520~1570 nm) 发出的光信号经单模光纤 (SMF) 耦合进传输媒介再经单模光纤耦合进入光谱分析仪 (OSA) 观察 1530 nm 波长的输出功率。测试 650 nm (红光), 532 nm (绿光), 473 nm (蓝光) 波长下衰减采用和上述类似的装置, 信号直接耦合进入传输媒介, 用光功率计在接收端检测输出的功率大小。

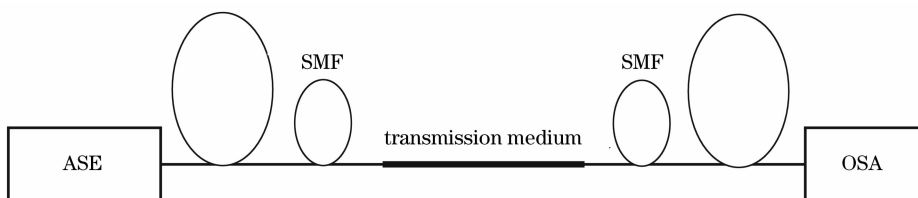
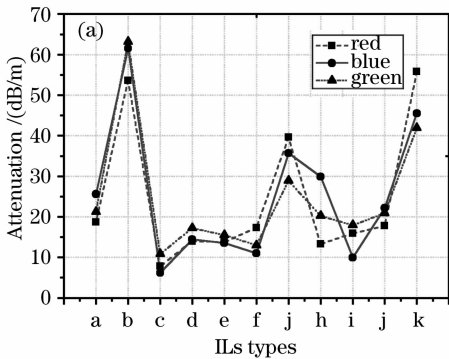


图 3 传输 1530 nm 时传输媒介衰减参数的衰减测试系统

Fig. 3 Testing systems of attenuation at the wavelength of 1530 nm

不同离子液体构成的传输媒介在传输红光、蓝光、绿光和 1530 nm 光波时的衰减如图 4(a)、图 4(b) (e 代表甘油对光信号衰减太大 OSA 检测不到信号)。由图 4 可知,同种离子液体构成的传输媒介在不同波长下衰减相差很大,例如由离子液体[BMIIm]ClO₄ (c) 构成的传输媒介在波长为(a)650 nm(红光),532 nm(绿光),473 nm(蓝光)和(b)1530 nm 下的衰减分别为 7.85 dB/m, 6.19 dB/m, 10.81 dB/m, 5.67 dB/cm。不同离子液体构成的传输媒介传输同



一波长光时衰减也是不同的,离子液体[BMIIm]ClO₄ (c) 构成的传输媒介在 473 nm(蓝光)波长下衰减为 6.19 dB/m,而在相同的情况下离子液体[C₂OHMIIm]HSO₄ (b) 构成的传输媒介在 473 nm(蓝光)波长下的衰减为 61.52 dB/m。实验得到该新型传输媒介衰减特性与波长和离子液体种类有关,在实际应用中通过选择合适的阴阳离子组成特定波长下吸收损耗小的离子液体来制作所需的传输媒介。

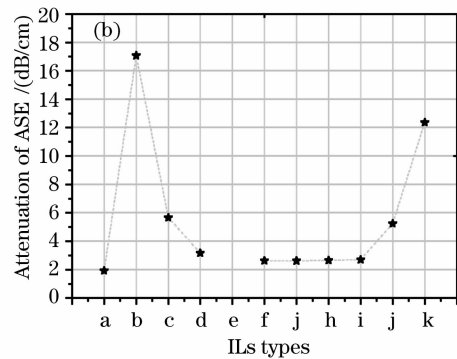


图 4 不同种离子液体构成的传输媒介在传输(a) 650 nm(红光),532 nm(绿光),473 nm(蓝光)和(b)1530 nm 时的衰减
Fig. 4 Transmission medium's attenuation at the wavelengths of (a) 650 nm(red light), 532 nm(green light), 473 nm(blue light)and(b) 1530 nm

3.3 阻抗及其与温度的关系

由于该传输媒介属于导电媒介,长时间通以大的直流电可能会使离子液体发生电解(主要由于离子液体可能纯度不高导致电化学窗口下降),因此如图 5(a)所示,实验中采用交流分压法来测试阻抗,信号源是频率为 1 kHz 的交流电,阻抗与电压的关系为

$$R_2 = (V_2/V_1) \times R_1,$$

其中 R₂ 为待测传输媒介的阻抗, R₁ 为可调电阻器阻值范围 10~15 MΩ。

温度为 25 °C 时传输媒介的阻抗如图 5(b) 所示。从图 5 可知,不同离子液体构成的传输媒介的阻抗相差达一个数量级以上,由[C₂OHMIIm]HSO₄ (b) 构成的阻抗为 5.68 MΩ/cm,而相同温度下[BMIIm]N(CN)₂ (k) 构成的传输媒介阻抗则为 0.40 MΩ/cm。这主要是由于离子液体的黏度不同,黏度越大对离子限制作用越强,其导电能力越弱,阻抗越大。对于传输媒介的阻抗,有些对温度的影响很敏感有些则不敏感,主要由于黏度不同在升高相同的温度时其电导率的变化也不同。

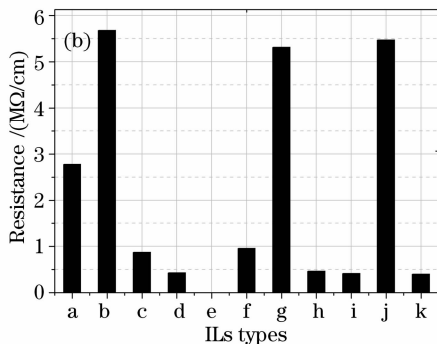
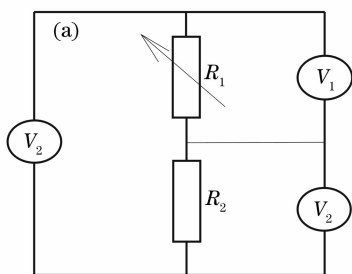


图 5 (a) 传输媒介阻抗测试原理图; (b) 传输媒介的阻抗

Fig. 5 (a) Principle of testing transmission medium resistance; (b) resistance of transmission medium

3.4 稳定电压测试

在直流电场下,离子液体所能承受的最大电压

受到电化学窗口的限制。表 2 为铂电极下离子液体在交流电场下的稳定情况,实验发现,传输媒介能够

传送的最大电压随着频率的升高而增大。由于实验中采用的信号源能够输出的最大电压为 36 V, 最大频率为 10 MHz, 离子液体[BMIIm]PF₆ 构成的传输

媒介在 100 Hz, 36 V 的电压下已不能使其电解。所以该传输媒介能够传输高频交流信号。

表 2 离子液体的稳定电压随频率的变化情况

Table 2 Change of ILs stabile voltage with the increasing of frequency

Electrochemistry window	20 Hz	50 Hz	100 Hz
[BMIIm]BF ₂	4.4 V	12 V	15.5 V
[BMIIm]PF ₆	4.6 V	17 V	20 V
S ₁ NTF ₂	3.2 V	12 V	14 V
[BMIIm]NTF ₂	4.4 V	12.5 V	17 V
			19.5 V
			— (>36V)
			16 V
			19 V

3.5 光电信号独立传输测试

在测试衰减的基础上加以不同频率和幅值交流电信号, 观察光信号的变化。结果发现, 该传输媒介一个独特的优点就是它可以同时传输电信号和光信号, 实验中发现当频率大于 10 Hz 时(小于 1 Hz 情况下光电信号是有相互作用的), 电信号和光信号可以相互独立地传输, 因此可以用该传输媒介同时传输高频交流电信号和光信号。

4 结 论

把新型软功能材料离子液体做成传输媒介来研究其传输光电信号的特性, 结果发现, 该传输媒介可以同时传输电信号和光信号, 当电信号的频率大于 10 Hz 时光电信号可以独立传输; 同种离子液体构成的传输媒介传输不同波长光信号时衰减有很大不同, 特别是在 1530 nm 波长下对该传输媒介的衰减测试, 结果显示有些离子液体制成的传输媒介在该窗口下的衰减很小, 可以作为潜在的光通信新材料加以研究; 有些传输媒介阻抗对温度很敏感, 有些则不敏感; 该传输媒介表现出来的许多特性, 将使其成为光通信领域值得研究的新型传输媒介。

参 考 文 献

- 1 T. Welton. Room-temperature ionic liquids solvents for synthesis and catalysis[J]. *Chem. Rev.*, 1999, **99**(8): 2071~2084
- 2 Rajiv Misra, Mitchell McCarthy, Arthur F. Hebard. Electric field gating with ionic liquids[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, **90**(5): 052905~052908
- 3 Peng Wang, Shaik M. Zakeeruddin *et al.*. Gelation of ionic liquid-based electrolytes with silica nano-particles for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells[J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2003, **125**(5): 1166~1167

- 4 Jin Xianqing, Xu Bo, Qiu Kun *et al.*. A novel technique of adaptive power allocation optical OFDM in multimode fiber communication[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2008, **19**(3): 339~343
- 金显庆, 许 渤, 邱 昆 等. 多模光纤通信中的自适应功率分配光 OFDM 技术[J]. *光电子 • 激光*, 2008, **19**(3): 339~343
- 5 Jiang Xiaoqiang, Wang Ruichun. Non-zero dispersion-shifted optical fibers with low nonlinearity for large capacity and long-haul transmission system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(7): 893~896
- 蒋小强, 王瑞春. 大容量长距离传输用低非线性效应非零色散位移光纤[J]. *光学学报*, 2004, **24**(7): 893~896
- 6 Wang Yeheng, Wei Yibing, He Raoji. All-wave non-zero dispersion-flattened fiber and simplified PCF[J]. *Optical Fiber & Electric Cable*, 2007, **6**(6): 9~12
- 汪业衡, 魏一兵, 何耀基. 全波非零色散平坦光纤和简化 PCF [J]. *光纤与电缆及其应用技术*, 2007, **6**(6): 9~12
- 7 Wu Ming, Liu Hairong, Huang Dexiu. Dispersion property in highly nonlinear photonic crystal fiber[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 539~542
- 吴 铭, 刘海荣, 黄德修. 高非线性光子晶体光纤色散特性的研究[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 539~542
- 8 Wu Yanrong, Guo Lixia, Xue Wenrui *et al.*. Photonic crystal fiber with single polarization[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(4): 593~597
- 武延荣, 郭丽霞, 薛文瑞 等. 单偏振光子晶体光纤[J]. *光学学报*, 2007, **27**(4): 593~597
- 9 Yuan Jinhui, Hou Lantian, Zhou Guiyao *et al.*. Investigation of a step-structure photonic crystal fiber with flattened dispersion[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1167~1171
- 苑金辉, 侯蓝田, 周桂耀 等. 一种阶梯结构的色散平坦光子晶体光纤的研究[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1167~1171
- 10 Tao Weidong, Dong Jianfeng, Bai Guiru *et al.*. Manufacture of chiral optical fiber with liquid core[J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(10): 1516~1520
- 陶卫东, 董建峰, 白贵儒 等. 液芯手征光纤的研制[J]. *光学学报*, 2001, **21**(10): 1174~1176
- 11 Zhang Yongsheng, Zhang Tao, Zheng Rongsheng *et al.*. Free space optical communication based on polymer optical fiber LAN system[J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 2007, **24**(1): 114~117
- 张永生, 张 涛, 郑荣升 等. 基于聚合物光纤局域网系统的自由空间光通信[J]. *量子电子学报*, 2007, **24**(1): 114~117