

摘要：光子晶体是指具有光子带隙 (PBG) 特性的人造周期性电介质结构，有时也称为 PBG 光子晶体结构。按照光子晶体的光子禁带在空间中所存在的维数，可以将其分为一维光子晶体、二维光子晶体和三维光子晶体。光子晶体传感器应用包括应变传感器、温度传感器、化学传感器、光子晶体光纤传感器、长周期光纤光栅 (LPFG) 生物传感器、LPFG 化学传感器等。本文从光子晶体传感器的概述、研究现状和应用几方面对光子晶体传感器的应用进展进行了综述，希望对光子晶体传感器有一个比较全面的了解。

关键词：光子晶体传感器；研究现状；应用；进展

中图分类号：TN249

文献标识码：A

文章编号：1006-883X (2014) 09-0027-07

投稿日期：2014-06-02

光子晶体的研究及其在传感器中的应用

张文毓

中国船舶重工集团公司第七二五研究所，河南洛阳 471023

一、前言

1987年 Yablonovitch 和 John^[1] 几乎同时提出了光子晶体的概念—具有光子带隙 (Photonic Band-Gap, PBG) 的周期性电介结构，有时也称为 PBG 光子晶体结构。光子晶体最基本的特征是其能带结构中可能存在着类似于半导体能带中的禁带，即光子带隙，频率落在光子带隙内的电磁波不能在光子晶体中传播。由于光子晶体具有可以控制光传播方向的特性，使其在传感器、光通信、光器件等诸多方面具有巨大的科学价值和应用潜力。

自然界里发现的天然光子晶体不少，如蛋白石 (opal)、宝石、蝴蝶翅膀、孔雀羽毛和海老鼠毛等。人工制备光子晶体主要有三种方法：微机械法、全息照相光刻蚀法、胶体粒子自组合法。其中胶体粒子自组合法是一种简单、快速、廉价的化学制备方法。光子晶体的制备技术大致可分为微电子制备技术、自组合法和层层叠加技术。

迄今为止，已有多种基于光子晶体的全新光子学器件被相继提出，包括无阈值的激光器、无损耗的反射镜和弯曲光路、高品质因子的光学微腔、低驱动能

量的非线性开关和放大器、波长分辨率极高而体积极小的超棱镜、具有色散补偿作用的光子晶体光纤以及提高效率的发光二极管等。

光子晶体在光子晶体光纤、光子晶体激光器、光子晶体波导、高性能反射镜、光子晶体光开关、光放大、滤波器、偏振器等众多领域有着广阔的应用前景。

光子晶体的出现使光子晶体信息处理技术的“全光子化”和光子技术的微型化与集成化成为可能，它可能在未来导致信息技术的一次革命，其影响可能与当年半导体技术相提并论。^[2]

二、光子晶体传感器的研究现状

按照光子晶体的光子禁带在空间中所存在的维数，可以将其分为一维光子晶体、二维光子晶体和三维光子晶体。表 1 光子晶体的几何结构分类与光学性质。

1、一维光子晶体的制备及其传感器的应用

一维光子晶体是介质只在一个方向上呈现周期性排列的结构，可由两种正负折射率介质、正折射率介质或金属—电介质等构成。一维光子晶体的结构简单、制作简便，制备方法有溶胶—凝胶技术、分子束外延

技术、真空镀膜技术等。

(1) 一维 PBG 生物传感器

光子晶体中 PBG 结构的光学性质使得光子晶体对于环境折射率的变化相当敏感，适合于制备传感器，利用多孔硅技术可以制备一维 PBG 生物传感器。

随着多孔硅技术的出现，人们发现了多孔硅光子晶体，即多孔硅折射率发生周期性变化的光子晶体。近年来多孔硅光子晶体已经实现了生物大分子、气体、液态农药和酒精的测定。

李志全等^[4]研制了一种基于多孔硅微腔光学特性的气体传感器，当有机物吸附于多孔硅表面时，引起多孔硅层有效折射率变化，使得多孔硅微腔反射光谱吸收峰位移变化，实现了有机物种类的检测。

(2) 全息传感器

全息传感器中形成全息敏感元件的全息记录材料是一种不溶性的聚合物薄膜，全息记录材料是通过原位聚合反应将一种或多种可溶性的盐类分散入基体中生成一种不溶性的敏感性沉淀物，从而记录全息图。

Davidson 等^[5]基于体积全息图发明了一种全息化学传感器，其特征就是分析物敏感膜具有可处理其体积变化的光学传感结构。由于传感器的这种物理结构，传感器产生的光学信号对发生在分析物敏感基体中的体积变化和结构重组相当敏感，其敏感机理是基体与

分析物相互作用或相互反应。包括葡萄糖全息传感器，金属离子全息传感器，pH 敏感全息传感器，湿度全息传感器。

(3) 其它传感器

将全息干涉技术与改进的高聚物分散液晶系统结合，Shi 等^[4]制备了基于多孔聚合物光子晶体的湿度传感器。由于 PC 的多孔区吸收水分子，而无孔区不吸收水分子，则两区折射率不同，因此通过比较 PC 结构中多孔与无孔区的折射率变化来测定环境的相对湿度。

一维光子晶体传感器在液体测量方面得到了广泛的应用研究，因具有灵敏度高、电绝缘性好、抗电磁干扰能力强、防爆、远距离在线监测、传感单元结构简单等特点，光子晶体传感器特别适宜在恶劣和危险环境下测量，是液体传感器的研究热点之一。

2、二维光子晶体的制备及其传感器的应用

二维光子晶体一般为一种介电常数的圆或方形介质柱在另一种介电常数的介质中呈二维周期排列。二维光子晶体可以方便地引入缺陷，实现与光源、波导、光纤、光探测器等光学元件的连接。如光子晶体平板波导和光子晶体光纤 (Photonic Crystal Fiber, PCF)。

如今，二维光子晶体，即半导体的薄片堆层应用在很多领域，如利用全内反射将光限制在晶体中而产

表 1 光子晶体的几何结构分类与光学性质

类型	典型构造	制备要点	关键性质	应用
一维	层状	薄层交替排列或组装，如聚苯乙烯 / 碲、SiO ₂ /TiO ₂ 叠层	单向禁带、沿缝无禁带	布拉格反射镜、传感器、鲍鱼壳
二维	周期格点	光刻	轴向多数无禁带	高效光纤，窄带滤光片，二维光子回路（类似于电路），蝴蝶翅，孔雀毛，海老鼠毛
		颗粒自组装，如：电子 / 离子束在 1μm 厚的 Al _{0.9} Ga _{0.1} As 上刻制圆柱周期；由聚苯乙烯颗粒稀悬浮液沉降得到超薄结构		
	层卷	逐层交替组装		
	蜂窝结构	拉制		
三维	金刚石结构	四束激光全息干涉刻蚀	完全禁带	各种传感器，缺陷型高效波导 / 光纤，缺陷型光子谐振腔 / 激光器，高效发光二极管，窄选频滤波器，密集波分复用器，光子开关，光子限幅器，光束分裂 / 合成，微波天线等，圣甲虫壳，金龟子壳，吉丁虫壳，蛋白石
	立方点阵	四束激光全息干涉刻蚀	由周期晶面构筑禁带，缺陷导光	
	面心立方点阵	(拉制) 自组装，光刻		
	体心立方点阵	带电粒子自组装，光刻		
	六方密堆积点阵	微重力自组装，光刻		

生光子晶体效应及控制光的色散。世界上有很多研究围绕在利用光子晶体制作计算机芯片以提高计算机的运行速度。虽然这项技术还没有达到商业应用，二维光子晶体已经被应用在光纤上。

2005年美国的研究人员成功地使用两种新式二维光子晶体，将光的群速度降低了超过一百倍。这项装置未来可望被应用于各种光学系统及元件中，其中包括高功率、低阈值的光子晶体激光。^[13]

二维光子晶体制备的方法很多，如低温下在SiXFY气氛中用电子回旋加速共振(Electron Cyclotron Resonance, ECR)腐蚀法、刻蚀掩膜版法和激光全息技术。

二维光子晶体传感器包括二维PBG生物传感器、光子晶体光纤传感器、光子晶体波导传感器等。

Lee等^[6]通过理论和实验研究了具有生物分子识别性能的基于二维光子晶体微腔的无标记生物传感器。

Chakravarty等^[7]制备了以GaAs为基质的二维光子晶体微腔的光学离子传感器。

Hasek等^[8]制备了一种基于亚太赫兹频段的二维光子晶体波导的流体传感器。光子晶体由聚苯乙烯块上的一系列高度密集的空气孔有序排列而成，通过减小其中一排空气孔的孔径形成波导。

3、三维光子晶体的制备及其传感器的应用

三维光子晶体是由两种介质在空间两个维度上交替排列而成的周期性结构，其在布里渊区边界各个方向的频率带隙重叠，能产生完全的光子带隙。

自1991年Yablonovitch等^[9]利用机械打孔的方法制备第一块三维光子晶体以来，人们开始研究了更多的制备方法，如逐层叠加法、胶体自组合法、模板法、各种刻蚀和制版技术以及四束非共面紫外激光全息干涉等。包括凝胶光子晶体传感器、反蛋白石凝胶光子晶体传感器、分子印迹光子晶体传感器。

Sharma等^[10]在聚丙烯酰胺水凝胶(Polyacrylamide Gel, PAG)表面键合上肌氨酸酐水解酶和2-硝基苯酚，作为肌氨酸酐的两个识别基团，制备了肌氨酸酐凝胶光子晶体传感器。

反蛋白石水凝胶传感器在化学和生物传感方面形成了一个新的结合点，Lee等^[11]基于聚苯乙烯(PS)微

球为模板制备了可调的反蛋白石凝胶pH传感器。

Wu等^[12]以SiO₂胶体晶体微球为模板，向模板间隙填充以莠去净(Atrazine)为模板分子，甲基丙烯酸(MAA)为功能单体，EDMA为交联剂的分子印迹聚合物材料，通过HF酸刻蚀去SiO₂模板，乙酸/甲醇除去Atrazine分子得到Atrazine分子印迹光子晶体传感器。

由于制作上的难度，三维晶体的研究远远落后于二维晶体，即使在半导体工业中也没有可以借鉴的方法来制造三维光子晶体。最近，一些科研组发展出一些有效的方法，不少样品被制作出来。例如，通过层层堆积方法制造出木料堆结构。又如，利用自组合法——让大小均一的纳米尺寸微球通过自组装形成三维规则结构。光子晶体体积非常小，在新的纳米技术中、光计算机、芯片等领域有广泛的应用前景。使用光子晶体制造的光子晶体光纤，也有比传统光纤更好的传输特性，可以进而应用到通信、生物等诸多前沿和交叉领域。

(4) 未来的技术难点

目前光子晶体传感器需要突破的难点有：

- (1) 如何提高不同尺寸单分散颗粒制备的可重复性，制备高质量无缺陷的光子晶体模板，提高凝胶光子晶体的质量；
- (2) 如何提高光子晶体传感器的重复使用性、灵敏度、选择性、抗干扰和快速响应能力；
- (3) 有待制备种类更多的光子晶体生物传感器以扩大其应用面。

三、光子晶体传感器的应用

1、光子晶体传感器

(1) 应变传感

光子晶体的传感器模型国内已经有学者在进行研究。其基本原理是基于光子晶体的周期性结构。那么组成光子晶体的材料的介电性质及其空间排列方式决定了光子晶体的光传播性能。对于一维光子晶体而言，当承受载荷时，引起光子晶体的形变，进而导致其光子带隙性能的改变，从而可以进行载荷的测量。^[14]

利用光子晶体带隙随压力变化的特点，可以制作

压力传感器，传感器的灵敏度和测量范围受光子晶体的材料特性、检测系统的光谱分辨力的影响。侧向加压时，要使传感器具有高的灵敏度和大的测量范围，应该选择弹性模量和泊松比相等的材料构成光子晶体，采用弹性模量小的材料可提高探测灵敏度。光子晶体压力传感器体积小、重量轻，结合光纤传输，该传感器将在工业和军事上得到广泛应用。

光子晶体压力传感器在风压测量中的应用。利用电磁场理论，推导发现了压力与一维光子晶体光带隙边界之间存在线性对应关系。这个结果提供了设计压力传感器或者通过施加压力而调制光带隙性能的可能性。利用数值模型计算了空气流过圆柱体的压力分布，并预言光子晶体压力传感器的响应。这种压力传感器的主要优点是直观、不影响流场分布、不需要导线等，可广泛应用于建筑物、汽车、飞行器的风压测量。^[15]

(2) 温度传感

对于测量温度时，如果选择对外界环境量变化敏感的材料构成光子晶体，外界温度的变化将引起晶格常数 a 和介质的等效折射率 n_{eff} 发生微小变化，反射谱峰值将产生微小位移。

这种传感器有两个新的传感机制：温度变化时，空气孔折射率的改变远小于硅的折射率改变，热光效应将导致光纤横截面折射率变化的不一致；由于硅和空气孔的折射率相差很大，所以重点放在横截面的几何结构变化上。

如果在光子晶体中引入较大的缺陷，会由于 F—P 效应导致反射光谱峰发生规则的分裂，谱线宽度明显变窄，出现更精细的谱线结构，那么测量的结果就更加准确。

(3) 化学传感

通过衍射峰的位置变化来定量表征生物分子的相互作用为生物传感提供了一个思路。发展以光子晶体薄膜作为固相基底材料的免疫分析技术，可望实时、有效、准确地检测抗原—抗体、酶—底物等的相互作用，这在免疫分析、修复术组织工程以及药物释放体系的应用中具有相当重要的意义。

光子晶体的应用比较广泛，在制作光子器件方面有巨大潜力。近年来，化学及生物传感器技术发展的

主要方向是“裸眼检测技术”，光子晶体的独特的孔结构和光学性能为化学和生物传感器裸眼检测技术提供了新的可能。

光子晶体传感器主要利用了光子晶体能够产生布拉格衍射的性质，功能化的光子晶体在吸收目标化合物后其晶体结构会发生变化，从而会引起结构色的改变，这便是光子晶体传感器的检测原理，其应用涉及对生化物质、毒剂、金属离子及环境污染物等的检测。

与临床相关的生化物质的检测是传感器技术的研究热点。光子晶体有望取代复杂昂贵的电化学和酶生物传感器，为液体中同特定疾病相关的指征物质的检测提供一个快速和简便的检测方法。

毒剂的检测需要满足实时和现场两方面的要求，可变色的光子晶体在这方面的应用前景要优于传统的电化学传感器。

还有水溶液中离子的检测、pH 传感器、气体传感器、温敏传感器、湿度及蒸汽传感器、压力传感器等。^[16]

2、光子晶体光纤传感器

光子晶体光纤 (Photonic Crystal Fiber, PCF)，也称为微结构光纤 (Microstructure Fiber) 或者多孔光纤 (Holey Fiber)。根据其导光机制的不同，一般可分为两种：全内反射 (TIR) 型光子晶体光纤、PBG 型光子晶体光纤。

PCF 的出现，使光电子技术进入了一个新的发展阶段。由于 PCF 具有新颖的结构和独特的光学特性，使它在超微光子集成电路和超大容量光导纤维以及光孤子产生和传输等方面有着巨大的潜在市场。^[17]

PCF 的潜在应用还包括超宽色散补偿，短波长光孤子传输 / 发生，光纤传感、极短波长的偏振保持光纤，光子晶体天线、光学集成电路、超短脉冲激光器 / 放大器和光开关。当掺进非线性介质时，还可望用于光开关、光限幅、光双稳和光倍频等等，通过设计更加复杂的结构和使用不同的材料，还会发现更多的用途。可以预言，光子晶体光纤是有巨大潜力的产业。

PCF 传感器包括吸收型 PCF 传感器、荧光型 PCF 传感器、干涉型 PCF 传感器、PCF 光栅传感器^[3]。在传感器中的应用：压力传感器、气体传感器、温度传感器，掺杂的微结构聚合物等。

PCF 的应用在很多方面改善了传统光纤传感器的

性能。基于 PCF 的光纤传感器对应力和液体折射率具有较高的传感精度以及更好的温度特性，并且可以灵活引入各种耦合结构单元组成干涉仪，基于光纤布拉格光栅 (Fiber Bragg Grating, FBG)、长周期光栅 (Long Period Grating, LPG) 和干涉仪的 PCF 传感器。

PCF 传感器的优良性能使其具有很好的实用前景。PCF 传感器不仅具有传统光纤传感器的优点，精度高、传感范围大和抗外界干扰 (传感信息波长编码) 等，还改善了传统光纤传感器温度交叉敏感、多参量传感、实时传感和系统稳定性方面的不足。如纯石英 PCF 传感器同时具备高的传感精度和环境温度不敏感特性，在大型建筑和矿井的健康监测领域具有很好的实用前景。

在化工、食品和饮料生产过程中，折射率传感是产品质量控制的重要环节。一些生化反应和化学反应也往往伴随着折射率的变化，通过折射率的精确传感可以控制反应的进程。实时传感折射率 PCF 传感器的出现使这些方面的应用很可能成为现实。

随着 PCF 制作工艺的成熟，PCF 传感器的应用性研究会更加广泛并最终成为商品走进实验室和生产领域。PCF 传感器今后的发展重点将是网络化、集成化、全光纤化以及新传感机理和方案的探索。随着光纤制造技术的不断发展，PCF 的特性会不断地在传感技术中得到开发、应用。

3、长周期光纤光栅传感器

作为一种新颖的传感技术，长周期光纤光栅 (Long Period Fiber Grating, LPFG) 生物及化学传感不仅促进了生物及化学的迅猛发展，而且在环境污染检测、工业安全生产、精确质量控制，生物医学诊断等起到积极的作用。

2006 年 Lars Rindorf 等通过在 PCF 空气孔中注入生物大分子，然后通过测量生物分子的厚度变化引起 LPG 的谐振波长漂移变化，从而实现了 PCF-LPG 在生物传感领域的应用。^[18]

在 LPFG 生物传感应用方面，D. W. Kim 等利用 LPFG 研究测试抗兔 IgG 和抗羊 IgG 的特性吸附。国内的庄其仁等利用 LPFG 制作了可用于血液抗原的生物检测传感器。Jian Yang 等首次提出利用 LPFG 制

作 DNA 探针。^[19]

最近 LPFG 传感器的研究，主要是在 LPFG 包层外镀一层随外界环境变化折射率发生变化的敏感薄膜层。

Stephen W. James 等^[20]通过在 LPFG 的包层上面镀一层折射率随外界环境变化而变化的薄膜，研究了包层表面所镀薄膜厚度对 LPFG 透射谱的影响。

最近 Ming Han 等^[21]研究了在 LPFG 表面镀一超薄等离子体自组装多层膜，并且证明这种技术可以应用到全分布式生物化学传感领域。

2006 年 Lars Rindorf 等^[22]过在 PCF-LPG 中注入甲醇，来测量 PCF-LPFG 的折射率传感特性。

2007 年 C. Kerbage 等^[23]将液体注入到 PCF-PCF 的空气孔中，测量了其谐振波长的变化量。同时折射率灵敏度传感器也应用到隐失波生物传感器的基准判断上。

可以预计，PCF-LPG 生物化学传感器具有巨大的发展潜力，在环境监测与保护、化学化工在线监控、食品防腐及保鲜、生物微量检测等领域有着诱人的前景。

4、其他应用

迄今为止，已有多种基于光子晶体的全新光子学器件被相继提出，包括无阈值的激光器，无损耗的反射镜和弯曲光路，高品质因子的光学微腔，低驱动能量的非线性开关和放大器，波长分辨率极高而体积小超棱镜，具有色散补偿作用的光子晶体光纤，以及提高效率的发光二极管等。

光子晶体的出现使光子晶体信息处理技术的“全光子化”和光子技术的微型化与集成化成为可能，它可能在未来导致信息技术的一次革命，其影响可能与当年半导体技术相提并论。

光子晶体近期在国际上的应用进一步深化，具体表现在：

- (1) 与纳米技术相结合，用于制造微米级的激光，硅基激光；
- (2) 与量子点结合，使得原子和光子的相互作用影响材料的性质，从而达到减小光速、减小吸收等作用。
- (3) 光子晶体光纤应用

随着社会的发展, 显赫一时的半导体器件已经不能满足信息技术发展的需要, 必须寻找信息传输速率更高, 效率更高的新材料。普遍认为, 光子技术将继续写电子技术的辉煌, 光子晶体将成为未来所依赖的新材料。

四、结束语

光子晶体发展历史虽然不长, 但却以其优异的光学特性获得了广泛的关注。利用光子晶体光纤(PCF)独特的特性, 可以制作一些新型的光学传感器。PCF独特的特性必将在多种领域开辟新的应用, 成为具有巨大潜力的产业。

参考文献

- [1] 张艳霞, 乔学光, 李明, 光子晶体光纤及其在传感器中的应用[J]. 光通信研究, 2007, (4):59-63.
- [2] 百度百科. 光子晶体 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/98845.htm>
- [3] 苏红新, 王坤, 崔建华. 光子晶体光纤传感器的研究进展[J]. 仪表技术与传感器, 2008, (2):6-10.
- [4] Shi J, Hsiao V K S, Walker T R, et al. Humidity sensing based on nanoporous polymeric photonic crystals[J]. Sensors & Actuators B, 2008, 129(1):391.
- [5] 傅小勤, 郭明, 张晓辉, 光子晶体传感器的研究进展[J]. 材料导报, 2011, 25(2):57-62.
- [6] Lee M, Fauchet P M A two dimensional silicon-based photonic crystal microcavity biosensor-art[J]. Proc SPIE, 2006, 6322:B3220.
- [7] Chakravarty S, Topolancik J, Bhattacharya P, et al. Ion detection with photonic crystal microcavities[J]. Opt Lett, 2005, 30(19):2578.
- [8] Hasek T, Kurt H, Citrin D S, et al. A fluid sensor based on a sub-terahertz photonic crystal waveguide[J]. Proc SPIE, 2007, 6480: 14801.
- [9] Yablonovitch E, Gmitter T J, Meade R D, et al. Donor and acceptor modes in photonic band structure[J]. Appl Phys Lett, 1991, 67(24):3380.
- [10] Sharma A C, Jana T, Kesavamoorthy R, et al. A general photonic crystal sensing motif: Creatinine in bodily fluids[J]. Am Chem Soc, 2004, 126(9):2971
- [11] Lee Y J, Braun P V. Tunable inverse opal hydrogel pH sensors[J]. Adv Mater, 2003, 15(7-8): 56
- [12] Wu Z, Tao C A, Lin C X, et al. Label-free colorimetric

detection of trace atrazine in aqueous solution by using molecularly imprinted photonic polymers[J]. Chem Eur J, 2008, 14(36):11358.

[13] 维基百科 自由的百科全书. 光子晶体 [EB/OL]. <http://zh.wikipedia.org/wiki/光子晶体>

[14] 王向宇, 光子晶体和光子晶体光纤在传感器中的应用[J]. 科技信息, 2008, (31): 90-91.

[15] 许震宇, 光子晶体压力传感器在风压测量中的应用[A], 首届全国航空航天领域中的力学问题学术研讨会[C], 成都, 218-222.

[16] 段廷蕊, 李海华, 孟子晖, 光子晶体应用于化学及生物传感器的研究进展[J]. 化学通报, 2009, (4):298-309.

[17] 李启成, 光子晶体光纤研究进展及应用前景[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2005, (5A):254-257.

[18] 秦海琨, 张敏, 光纤光栅生物传感器的研究进展综述[J]. 激光杂志, 2008, 29(5):1-5.

[19] Jian Yang, Chang-Qing Xu, Razvan Nutiu, et al. Immobilized DNA biosensor based on evanescent wave long-period fiber gratings[A]. Proc. Of SPIE[C], 2004, 5578:109-116.

[20] Stephen W. James, Imran Ishaq, Geoffrey J. Ashwell et al. Fiber optic sensing using Langmuir-Blodgett thin film overlays[A]. SPIE[C], 2004, 5502: 308-312.

[21] Ming Han, Yunjing Wang, Yunmiao Wang et al. Hetero-optical physical and biochemical sensing based on transient and traveling long-period gratings[J]. Opt. Lett., 2009, 34(1):100-102.

[22] L. Rindorf, J. B. Jensen, M. Dufva et al. Photonic crystal fiber long-period gratings for biochemical sensing[J]. Opt. Express, 2006, 14(18):8224-8231.

[23] 罗涛, 顾铮先. 光子晶体光纤光栅在生物和化学传感器领域研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2009, 46(11): 34-43.

Research of photonic crystal and its application in sensor field

ZHANG Wen-yu

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: Photonic crystal is a man-made periodic dielectric structure with photonic band gap(PBG), sometimes which is also called PBG photonic crystal structure. According to the dimension of PBG existed in the space, the photonic crystal may be divided into the one-dimensional, the two-dimensional and the three

dimensional photonic crystal. The photonic crystal has applications in sensor field including strain sensor, temperature sensor, chemistry sensor, optical fiber sensor, long period optical fiber diffraction grating (LPFG) biosensor, LPFG chemistry sensor and so on. A overview of photonic crystal sensors is given. Current research and applications of photonic crystal sensors in some aspects are reviewed, too.

Keywords: photonic crystal sensors; current research; applications; progress

作者简介

张文毓，中国船舶重工集团公司第七二五研究所，高级工程师，现主要从事情报研究工作。

地址：河南省洛阳市洛龙区滨河南路 169 号 725 所

邮编：471023

E-mail:ZWY68218@163.com