

技术发明奖推荐号：120-307

项目名称	基于光纤端面精准重构下的性能快速仿真及新型光纤传感器设计
提名单位	省教育厅
项目简介	<p>“如果说二十世纪是电子产品的时代，那么二十一世纪必定是光学产品的时代。”当今的芯片制造、5G 通信、信号传输、航空航天、激光武器、量子计算、生命科学、物联网和无人驾驶等关系国家安全和国民经济命脉的重要行业和关键领域，都无不以光学技术作为重要支撑。光学的发展能力与水平已严重关系到人们的生产生活，并严重影响到国家的核心竞争力。在光学领域，当前的主流技术和高附加值产品几乎都掌握在西方发达国家手里，比如特种光纤、光刻机和芯片、光谱分析设备、高功率激光器、光学镜片及镀膜、光纤传感器及相应产品等。在和平时期，社会发展靠经济实力驱动，巨大的市场可以让我们买到想买的东西，但在非和平时期，一旦西方国家采取了商品或技术封锁，我们将面临巨大困难，美国对华为的封杀已经充分说明了发展具有完全自主知识产权技术的重要性。</p> <p>纤维光学与集成光学作为光学的重要分支，所涉及的核心技术和器件也同样面临着整个行业的共同问题。比如在光纤制造领域，高端制造技术还依然掌握在美国 Nufern 和日本住友等大公司手里，目前他们已经具有了无人值守的制造技术，即从进料到光纤出品整个车间完全实现自动化，要生产一种光纤，只需要操作者动一动鼠标，原料就会像变魔术一样在车间的“魔盒”里转一圈，摇身出来就成为了光纤，不仅大大节省了人工成本，光纤品质也因排除了人为干扰而大幅提高。目前，我们国内的领军企业如长飞和烽火等都尚不具备这方面的能力。此外，在光纤传感器的研制和应用领域西方也走在我们的前面，在海洋探测原位传感器、智能穿戴和体位传感器、生物传感和医疗诊疗、以及光子系统集成等领域，他们已形成了大量的先进技术并成功应用于商品。</p> <p>本项目紧盯国际前沿、紧跟研究热点、直击当前特种光纤制备及传感器研制领域中的痛点和难点问题。针对“在微结构光纤制备的现有技术中，因无法及时准确地快速获取所制备光纤端面结构的精准信息，而失去对光纤性能的快速仿真预判，容易导致在错误的参数下制备出不符合标准的光纤，这会极大地增加生产成本，也无法保证制备的准确性和成功率”的这一痛点问题，和“在实际应用中，因无法对光纤结构进行快速精准的建模而导致仿真不准确，从而降低理论指导实践可靠性”的这一难点问题，本项目历经十年的潜心研究，系统提出了基于光纤端面精准重构下的性能快速仿真这一技术发明的全套解决方案，并经过燕山大学、西光所和东北大学等多家科研院所以及广州华仁亿和特种光纤科技有限公司的数年应用，充分验证了本技术的高效性和可靠性。该技术极大地提高了光纤成型的制备质量和品质，并为此节约了大量的生产成本和科研经费。针对国内对高性能特种光纤传感器研究和制备能力不足问题，本项目基于 D 型光子晶体光纤，研制了“金膜涂覆型双损耗峰检测传感器”、“金纳米线填充型双偏振 SPR 传感器”、“金膜涂覆型双通道折射率传感器”及“基于新型花瓣状光子晶体光纤侧面抛磨的外表面镀银型 SPR 折射</p>

率传感器”等四款新型光纤传感器，结合器件还系统提出了一种全新的基于双损耗峰传感器的折射率检测新方法，并有望应用于纠缠光子对的产生上，这是一个全新的领域。

本项目的技术发明共申报专利 18 项（已授权 12 项），发表 SCI 检索论文 85 篇。本项目对解决当前特种光纤制备及传感器研制领域中的痛点和难点问题、增进对全自动化制备光纤技术的研究深度、推进特种光纤制备及其传感器的国产化和产业化进程等方面都具有十分重要的意义。

本项目成果涵盖特种光纤研究领域的“上、下游技术”，即具体涉及光纤制备的“上游技术——光纤端面精准重构及性能快速仿真”和光纤传感器研制的“下游技术——新型光纤传感器设计”，二者互为支撑，高效打通了特种光纤制备和光纤型光子器件研制开发的“任督二脉”。本项目顺应当今光子器件发展的集成化和产业化浪潮，着力解决本领域研究的“痛点”和“难点”问题，并为打破国外技术封锁和垄断，服务我国全光集成新动态和产业布局新潮流而力争做出自己的贡献。其推广应用及经济社会效益情况如下：

（1）本项目的关于“光纤端面精准重构及性能快速仿真”方面的研究成果已依托广州华仁亿和特种光纤科技有限公司进行了推广应用。所述技术已成功应用于该公司的特种光纤制备，在过程中做到了对光纤实时制备效果的快速反馈，提高了制备参数的调控效率，节约了制造成本，极大地提高了光纤制备的结构准确性和成功率，每年已为企业创造产值数百万元，节约制造成本达百分之二十以上，有效提高了该企业的核心竞争力。

（2）本项目的关于“光纤端面精准重构及性能快速仿真”方面的研究成果也长期应用于燕山大学李曙光教授团队、中国科学院西安光学精密机械研究所的郭海涛研究员团队及东北大学的程同蕾教授团队的光纤制备及性能预测等方面，取得了良好的经济和研究价值，平均每年为三个研究团队节约研究成本数十万元，也为基于该技术发明外延拓展的新型光纤传感器研究提供了重要的技术支撑和研究基础。

（3）本项目的关于“新型光纤传感器设计”方面的研究成果获得了重要的学术价值，该方向已发表 SCI 检索论文 60 余篇、申报专利 10 余项。同时，所设计的传感器及发明的双损耗峰检测技术均已成功应用于团队的日常样本检测上，整体表现出了检测精度高、检测手段多样和传感器选配可适性强等优点，并且团队正在努力尝试走出一条从“特种光纤传感器的研制和开发”到“传感器的产品化封装生产”，再到“新型光纤传感器产业化”的发展之路，以使本项目的成果能够更加服务于国民经济的生产与发展。

（4）本项目的实施已协助培养博士研究生 9 名、硕士研究生 60 余名、本科生 15 名。并带动研究生和本科生积极参与各类创新创业类项目的研究或比赛，曾获得由秦皇岛市科技局主办的“大学生科技创新创业大赛”立项 4 项；获得由河北省科学技术厅、河北省财政厅、河北省教育厅、河北省互联网信息办公室、河北省工商业联合会主办的“第七届中国创新创业大赛（河北赛区）暨河北省第六届创新创业大赛”三等奖 1 次；获得国家级、省级等各级大创类项目立项近 10 项；指导研究生和本科生申报专利 18 项，发表 SCI 检索论文 85 篇。

推广应用及经济社会效益情况

代表性专利及论文目录

代表性专利：

- [1]李建设,李曙光,陈海良.一种光子晶体光纤的端面结构特征提取方法, 2018.04.27, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157451.0。
- [2]李建设, 沈琳, 李曙光, 顾广华.基于精确端面提取和有限元法的光子晶体光纤属性模拟系统及其模拟方法, 2017.12.26, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157905.4。
- [3]李建设, 孟潇剑, 李曙光, 郭英, 卢辉斌, 程同蕾, 张树桓.一种使用双损耗峰检测的D型光子晶体光纤折射率传感器, 2020.05.22, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201910630093.9。
- [4]李建设, 郭英, 李曙光.一种五角形排布的光子晶体光纤传感器, 2020.03.31, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201811544128.9。
- [5]李建设, 李曙光, 陈淑清.一种光子晶体光纤的端面提取装置, 2015.12.02, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201520591651.2。
- [6]李建设, 张树桓, 李曙光.一种微结构光纤, 2018.09.28, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201820123394.3。

代表性论文：

- [1] 李建设, 李曙光(*), 顾广华, 李慧, 刘强, 范振凯, 陈海良, 韩晓明, 赵原源, 张普. A Novel Method Based on Digital Image Processing Technique and Finite Element Method for Rapidly Modeling Optical Properties of Actual Microstructured Optical Fibers[J]. IEEE Photonics Journal, 2016, 8(6): 1-14. (SCI)
- [2] 孟潇剑, 李建设(*), 郭英, 刘云东, 李曙光, 郭海涛, 毕卫红, 卢辉斌, 程同蕾. Experimental study on high sensitivity optical fiber sensor in wide-range refractive index detection[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2020, 37(10): 3063. (SCI)
- [3] 孟潇剑, 李建设(*), 郭英, 李曙光, 王玉君, 毕卫红, 卢辉斌. An optical-fiber sensor with double loss peaks based on surface plasmon resonance[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2020, 216:164938. (SCI)
- [4] 郭英, 李建设(*), 李曙光, 刘云东, 张树桓, 王杰, 汪顺, 张文逊, 程同蕾, 郝锐. Dual-polarized optical sensing of microstructure fiber with pentagonal-lattice based on surface plasmon resonance in the near-IR spectrum[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2019, 202:163671. (SCI)

主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖励情况
1	李建设	正高级实验师	燕山大学	燕山大学	全面负责了本项目的组织、规划、立项和实施等的全过程和全要素工作, 指导并解决了项目实施过程中出现的科学问题, 对本项目所列的所有技术发明点均有主要贡献。尤其是在对光纤端面结构的精准重构需求的问题发现、解决问题方案的提出及具体解决、以及基于精准重构下的光纤性能快速仿真预测等方面, 都做了大量而有意义的工作, 取得了多项具有完全自主知识产权的技术发明。对突破行业技术瓶颈、打造具有国际领先水平的光子晶体光纤制备的快速监控和反馈系	无

					统、改进生产工艺节约成本、提高光纤制备的准确性和成功率等方面都有创造性发明和创新性的表现。同时，在双损耗峰的检测模型构建、D 型光纤制备以及等离子体共振传感器制作上都做了大量工作，因此在另外的 4 个发明点上也发挥了关键作用。对于该项目中所列的五项主要创新性工作均有主要的学术贡献，是该项目所列全部 6 项专利的第一发明人，是该项目所列全部 4 篇代表性论文的第一作者或通信作者。	
2	李曙光	教授	燕山大学	燕山大学	作为主要完成人，参与了本项目所列的全部发明点的研究工作。并具体在项目实施过程中就科学问题提出及解决、实验环境搭建和理论创新等方面做出了关键性贡献。对于该项目中所列的五项主要创新性工作均有主要的学术贡献，是该项目所列 6 项专利和 4 篇代表性论文的主要合作者。	2016 年获得河北省自然科学奖三等奖，李曙光，苑金辉，魏志义，张磊，赵兴涛，项目名称“基于光子晶体光纤的新型光子器件的基础理论与实验研究。证书编号：2016ZR3001-1。
3	卢辉斌	教授	燕山大学	燕山大学	作为主要完成人，积极参与项目组的研究工作，主要参与了本项目所列的第 2 个和第 3 个发明点的研究工作。其具体在项目实施过程中的科学问题解决、程序优化提升及成果应用的决策实施等方面都做出了关键性的贡献。是该项目所列第 3 项专利以及第 2 和第 3 篇代表性论文的主要合作者。	2013 年获得河北省科学技术进步奖三等奖，排名第 2。
4	郭海涛	研究员	中国科学院西安光学精密机械研究所	燕山大学	作为完成人，主要参与了第 3 个发明点的研究，并与本项目的第 1 完成人、第 2 完成人、第 3 完成人和第 5 完成人进行了论文合著，对应项目所列的第 2 篇代表性论文。其本人积极参与项目组的研究工作，并在对项目组研究光纤的基底材料性能分析及选择上、以及在对新型花瓣状光子晶体光纤的制备技术的工艺改进上都发挥了关键性作用，同时在对 SPR 传感器的理论分析和现象解释上也做了许多高效的工作。	无
5	程同蕾	教授	东北大学	燕山大学	作为完成人，积极参与项目组的研究工作，主要参与了所列第 2、3、5 个发明点的研究工作，并与第一完成人进行了论文合著和专利的合作申请。并与第一完成人、第二完成人、第三完成人和第四完成人进行了论文合著或专利的合作申请，对应所列授权专利的第 3 项，以及发表论文的第 2 和第 4 篇。直接主持了新型花瓣状光子晶体光纤的设计及制备工作，	无

					对光纤传感器制备中的镀膜操作也积极建言献策，在实验上发挥了重要作用。	
6	顾广华	教授	燕山大学	燕山大学	作为完成人，与第一完成人精诚合作、配合无间，一直致力于项目组的“软”实力建设上，在对项目组的软件设计和代码优化上发挥了关键性作用。尤其是在第 1 个发明点的创新性工作中发挥了不可替代的作用。其本人主要参与了所列第 1 个发明点的研究工作，并与第一完成人和第二完成人进行了论文合著和专利的合作申请。对应所列授权专利的第 2 项和发表论文的第 1 篇。	无

完成人合作关系说明

本项目成果主要由李建设、李曙光、卢辉斌、郭海涛、程同蕾、顾广华共同完成。

第一完成人李建设自 2011 年起一直从事新型光电功能材料及其特种光纤、微纳光子器件的研究与应用、超快激光及光纤激光器等方面的研究工作。第一完成人参与了本项目的全部工作，并在特种光纤端面结构的快速重构以及基于光子晶体光纤的新型光纤传感器设计等方面与项目组其他人员开展了深入而广泛的合作，与各合作者之间的关系具体说明如下：

合作者 1：李曙光

该完成人自 2011 年以来，一直参与“对光纤端面结构进行精准重构，并对其性能进行快速仿真”的研究工作，并同时参与了基于 D 型光子晶体光纤的“金膜涂覆型双损耗峰检测传感器”、“金纳米线填充型双偏振 SPR 传感器”、“金膜涂覆型双通道折射率传感器”等新型光纤传感器的研究工作，还参与了“基于新型花瓣状光子晶体光纤侧面抛磨的外表面镀银型 SPR 折射率传感器”等项目的研究工作，完成了《主要技术发明》中所列第 1、2、3、4、5 个发明点的研究，并与第一完成人进行了论文的合著和专利的合作申请。

佐证材料：授权专利的第 1-6 项，发表论文的第 1-4 篇。

合作者 2：卢辉斌

该完成人自 2014 年以来，一直与第一完成人开展特种光纤设计及其在通信领域应用等方面的研究工作，在程序编写和仿真设计等方面合作紧密，参与基于 D 型光子晶体光纤的“金膜涂覆型双损耗峰检测传感器”等新型光纤传感器的研究工作，还参与了“基于新型花瓣状光子晶体光纤侧面抛磨的外表面镀银型 SPR 折射率传感器”等项目的研究工作，完成了《主要技术发明》中所列第 2 和 3 个发明点的研究，并与第一完成人进行了论文的合著和专利的合作申请。

佐证材料：授权专利的第 3 项，发表论文的第 2-3 篇。

合作者 3：郭海涛

该完成人自 2017 年以来，一直参与“基于光子晶体光纤的器件设计及系统优化”以及“特种光纤材料的研究及光纤制备”等方面的合作研究工作，并同时参与了“基于新型花瓣状光子晶体光纤侧面抛磨的外表面镀银型 SPR 折射率传感器”项目的研究工作，完成了《主要技术发明》中所列第 3 个发明点的研究，并与第一完成人进行了论文合著。

佐证材料：发表论文的第 2 篇。

合作者 4：程同蕾

该完成人自 2017 年以来，一直参与“基于光子晶体光纤的器件设计及系统优化以及光纤制备”等方面的合作研究工作，并同时参与了基于 D 型光子晶体光纤的“金膜涂覆型双损耗峰检测传感器”、“金纳米线填充型双偏振 SPR 传感器”等新型光纤传感器的研究工作，还参与了“基于新型花瓣状光子晶体光纤侧面抛磨的外表面镀银型 SPR 折射率传感器”等的研究工作，完成了《主要技术发明》中所列第 2、3、5 个发明点的研究，并与第一完成人进行了论文合著和专利的合作申请。

佐证材料：授权专利的第 3 项，发表论文的第 2 和 4 篇。

合作者 5：顾广华

该完成人自 2012 年以来，一直参与“对光纤端面结构进行精准重构，并对其性能进行快速仿真”的研究工作，在程序的优化上做了持续性的大量工作，完成了《主要技术发明》中所列第 1 个发明点的研究，并与第一完成人进行了论文合著和专利的合作申请。

佐证材料：授权专利的第 2 项，发表论文的第 1 篇。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	备注
1	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2	2011 年-至今	李建设,李曙光,陈海良.一种光子晶体光纤的端面结构特征提取方法, 2018.04.27, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157451.0。	
2	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2, 顾广华/6	2011 年-至今	李建设, 沈琳, 李曙光, 顾广华.基于精确端面提取和有限元法的光子晶体光纤属性模拟系统及其模拟方法, 2017.12.26, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157905.4。	
3	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2, 卢辉斌/3, 程同蕾/5	2018 年-至今	李建设, 孟潇剑, 李曙光, 郭英, 卢辉斌, 程同蕾, 张树桓.一种使用双损耗峰检测的 D 型光子晶体光纤折射率传感器, 2020.05.22, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201910630093.9。	
4	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2	2018 年-至今	李建设, 郭英, 李曙光.一种五角形排布的光子晶体光纤传感器, 2020.03.31, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201811544128.9。	
5	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2	2015 年-至今	李建设, 李曙光, 陈淑清.一种光子晶体光纤的端面提取装置, 2015.12.02, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201520591651.2。	

6	共同知识产权	李建设/1, 李曙光/2	2018年-至今	李建设, 张树桓, 李曙光.一种微结构光纤, 2018.09.28, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201820123394.3。	
7	论文合著	李建设/1, 李曙光/2, 顾广华/6	2011年-至今	李建设, 李曙光(*), 顾广华, 李慧, 刘强, 范振凯, 陈海良, 韩晓明, 赵原源, 张普. A Novel Method Based on Digital Image Processing Technique and Finite Element Method for Rapidly Modeling Optical Properties of Actual Microstructured Optical Fibers[J]. IEEE Photonics Journal, 2016, 8(6): 1-14.	
8	论文合著	李建设/1, 李曙光/2, 郭海涛/4, 卢辉斌/3, 程同蕾/5	2018年-至今	孟潇剑, 李建设(*), 郭英, 刘云东, 李曙光, 郭海涛, 毕卫红, 卢辉斌, 程同蕾. Experimental study on high sensitivity optical fiber sensor in wide-range refractive index detection[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2020, 37(10): 3063.	
9	论文合著	李建设/1, 李曙光/2, 卢辉斌/3	2018年-至今	孟潇剑, 李建设(*), 郭英, 李曙光, 王玉君, 毕卫红, 卢辉斌. An optical-fiber sensor with double loss peaks based on surface plasmon resonance[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2020, 216:164938.	
10	论文合著	李建设/1, 李曙光/2, 程同蕾/5	2018年-至今	郭英, 李建设(*), 李曙光, 刘云东, 张树桓, 王杰, 汪顺, 张文逊, 程同蕾, 郝锐. Dual-polarized optical sensing of microstructure fiber with pentagonal-lattice based on surface plasmon resonance in the near-IR spectrum[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2019, 202:163671.	

知情同意证明

知情同意证明

知情专利:

- [1] 李建设, 李曙光, 陈海良. 一种光子晶体光纤的端面结构特征提取方法, 2018.04.27, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157451.0。
- [2] 李建设, 沈琳, 李曙光, 顾广华. 基于精确端面提取和有限元法的光子晶体光纤属性模拟系统及其模拟方法, 2017.12.26, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201510157905.4。
- [3] 李建设, 孟潇剑, 李曙光, 郭英, 卢辉斌, 程同蕾, 张树桓. 一种使用双损耗峰检测的 D 型光子晶体光纤折射率传感器, 2020.05.22, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201910630093.9。
- [4] 李建设, 郭英, 李曙光. 一种五角形排布的光子晶体光纤传感器, 2020.03.31, 发明专利, 中国, 授权专利号: ZL201811544128.9。
- [5] 李建设, 李曙光, 陈淑清. 一种光子晶体光纤的端面提取装置, 2015.12.02, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201520591651.2。
- [6] 李建设, 张树桓, 李曙光. 一种微结构光纤, 2018.09.28, 实用新型专利, 中国, 授权专利号: ZL201820123394.3。

知情论文:

- [1] 李建设, 李曙光 (*), 顾广华, 李慧, 刘强, 范振凯, 陈海良, 韩晓明, 赵原源, 张普. A Novel Method Based on Digital Image Processing Technique and Finite Element Method for Rapidly Modeling Optical Properties of Actual Microstructured Optical Fibers[J]. IEEE Photonics Journal, 2016, 8(6): 1-14.
- [2] 孟潇剑, 李建设 (*), 郭英, 刘云东, 李曙光, 郭海涛, 毕卫红, 卢辉斌, 程同蕾. Experimental study on high sensitivity optical fiber sensor in wide-range refractive index detection[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2020, 37(10): 3063.
- [3] 孟潇剑, 李建设 (*), 郭英, 李曙光, 王玉君, 毕卫红, 卢辉斌. An

optical-fiber sensor with double loss peaks based on surface plasmon resonance[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2020, 216:164938.

[4] 郭英, 李建设 (*), 李曙光, 刘云东, 张树桓, 王杰, 汪顺, 张文逊, 程同蕾, 郝锐. Dual-polarized optical sensing of microstructure fiber with pentagonal-lattice based on surface plasmon resonance in the near-IR spectrum[J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2019, 202:163671.

上述专利中未列入项目主要完成人的共同发明人陈海良、沈琳、孟潇剑、郭英、张树桓、陈淑清, 以及论文中未列入本项目主要完成人的第一作者或其他共同作者李慧、刘强、范振凯、陈海良、韩晓明、赵原源、张普、孟潇剑、郭英、刘云东、毕卫红、王玉君、张树桓、王杰、汪顺、张文逊、郝锐, 均同意项目主要完成人使用上述的论文、专利作为“基于光纤端面精准重构下的性能快速仿真及新型光纤传感器设计”项目的支撑材料来申报 2021 年度河北省科学技术奖。并均已知晓获奖项目所使用的论文、专利和著作权等不得再次用于申报河北省科学技术奖, 未获奖项目所用论文、专利和著作权等不得连续两年使用等有关规定。特此证明!

知情人签名:

孟潇剑	郭英	范振凯	王杰	汪顺	李慧	张树桓
刘强	王玉君	张普	沈琳	刘涛	张文逊	郝锐
赵原源	陈海良	陈淑清	毕卫红	韩晓明		

项目第一完成人签名: 李建设

日期: 2021 年 05 月 18 日

注: 所填报内容必须与推荐书中提交的完全一致, 否则责任自负, 可自行调整行间距。