

国家自然科学基金视角下我国激光科学技术发展的分析和展望

唐华^{1*}, 沈咏², 龙丽媛³

¹国家自然科学基金委员会信息科学部, 北京 100085;

²国防科技大学理学院, 湖南 长沙 410073;

³杭州电子科技大学微电子研究院, 浙江 杭州 310018

摘要 激光自发明以来经历了飞速的发展, 带动物理、化学、生物、信息等众多相关领域取得了重大突破, 在基础科学和应用技术研究中占据了至关重要的地位。本文从国家自然科学基金的视角, 结合 2017—2021 年国家自然科学基金重点项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目、面上项目和青年科学基金项目资助情况, 对各立项项目的题目和关键词进行热词分析, 梳理了我国激光科学技术的发展现状和挑战, 并在此基础上对需要进一步深入研究和探讨的问题进行了展望。

关键词 激光技术; 热词分析; 前沿热点; 研究展望

中图分类号 TN2 文献标志码 A

DOI: 10.3788/CJL221164

1 引言

激光是原子受激辐射产生的光源, 具有良好的时间、空间相干性。时间相干性使得激光既可以在时间域形成窄脉冲, 也可以在频率域具备窄线宽; 空间相干性使得激光在空间域既可以形成近平行光束, 也可以形成紧聚焦光斑。上述独特的性质使得激光在诸多领域得到了广泛应用, 并成为探索科学前沿和推进技术革新的核心工具之一。

国家自然科学基金(以下简称“自然科学基金”)是我国支持基础研究的重要渠道^[1]。F0506(激光)是光学和光电子学(F05)一级学科申请代码下设置的二级代码, 主要资助的是针对激光领域科学技术问题开展的基础研究, 包含的研究方向有“激光物理”“激光与物质相互作用”“超快光子学与超快过程”“固体激光”“气体、准分子、化学激光”“自由电子激光与 X 射线激光”“光纤激光”“激光技术及应用”“激光传输、调控与合成”“高次谐波与阿秒脉冲”“超快、超强及超窄线宽激光技术”“光频梳技术及应用”“新型激光”等。本文对 2017—2021 年自然科学基金 F0506 代码下的资助项目情况进行了统计和分析, 调研了激光科学技术的战略定位, 回顾了基金资助情况, 总结了前沿热点的发展现状, 归纳了前沿科学问题, 从自然科学基金的角度展望了我国激光科学技术的发展方向。

2 激光的主要特性和重要应用

分析激光科学技术涉及的重要应用场景, 有利于自然科学基金更好地将服务国家目标与支持基础研究相结合, 助力我国激光科学技术为科技强国作出更大贡献^[2]。激光的频率高于微波, 且具有良好的相干性, 能够获得高场强、窄脉宽、窄线宽等独特性质。这些性质使得激光在许多领域都有重要应用。

2.1 高场强

激光具有极好的时间和空间相干性, 可以通过啁啾放大和聚焦将能量集中在时间和空间中很小的一个区域, 从而产生远超原子核对电子束缚强度的强场。原子、分子在强场作用下的非微扰非定态问题是物理学领域的前沿科学问题, 由此衍生出了一系列全新的科学理论和技术手段。

用高能激光均匀照射热核燃料组成的微型靶丸, 通过辐射能引爆表面的烧蚀层, 可以将燃料压缩到点火条件, 从而引发核聚变。可控核聚变能源具有资源丰富、固有安全性、环境友好等优点, 是未来理想的清洁能源。激光点火方案对激光能量有极高要求, 要求激光能量达到 MJ 量级。我国建设中的神光四号装置设计输出能量达到了 1.5 MJ, 有望实现激光点火。

利用对光强高度依赖的非线性效应可以提高激光加工分辨率。飞秒激光直写技术利用紧聚焦光斑中心超高电场强度所产生的多光子吸收非线性效应来实现

收稿日期: 2022-08-18; 修回日期: 2022-09-15; 录用日期: 2022-10-17; 网络首发日期: 2022-10-27

通信作者: *tanghua@nsfc.gov.cn

对材料的加工,在偏离焦平面的区域以及焦平面内偏离光斑中心的区域,激光电场强度减弱,非线性效应迅速衰减,不会对材料产生影响。此方法可以获得突破衍射极限的加工精度,并能在透明材料中实现三维加工。

2.2 窄脉宽

利用高功率飞秒激光驱动原子中的电子经过隧穿、加速、复合等物理过程,可以产生脉宽为阿秒(as, 10^{-18} s)量级的超短脉冲激光,这一脉宽可与原子、分子中电子运动的时间尺度相媲美,从而能够对电子的运动状态进行高时间分辨率探测。在现有基础上提高激光功率和压缩脉宽将有助于进一步提升对原子、分子、凝聚态等体系中超快过程的探测分辨能力,为相关领域的前沿探索提供有力工具。

超短脉冲激光具有很宽的频谱,在与物质相互作用过程中可以覆盖很多原子、分子的特征吸收谱线,因此在气体探测、生物传感、激光医疗等方面被广泛应用。

2.3 窄线宽

将激光锁定在高品质因子的光学谐振腔上可以有效抑制激光相位噪声、压窄激光线宽,得到窄线宽激光。在激光干涉仪中,使用窄线宽激光可以提升对激光相位的测量精度,获得远超激光波长的光程分辨率,从而实现对引力波、地震波等可引起光程变化的效应的精密测量。

在冷原子系统中,窄线宽激光可以精准操控原子的量子态,在原子干涉仪中实现对原子不同量子态之间相对相位的高精度测量,从而得到基于原子量子跃迁的高精度时间频率基准,或实现对重力场、电磁场等可引起原子干涉条纹变化的物理量的精密测量。

2.4 高频率

相比微波,激光的频率更高,信道容量更大,同时波长更短,光束瑞利距离更长,方向性更好,因此,以激光作为载波的光纤通信和空间光通信技术已是现代通信技术中的重要组成部分。以激光作为探测和测距工具的激光雷达可以极大地增大探测距离、提升探测角度和速度分辨率,并具有较强的抗电磁干扰能力。短波长激光可以实现高分辨率的激光加工,例如 193 nm 深紫外激光可以实现 7 nm 制程光刻,13.5 nm 极紫外激光可以实现 5 nm 制程光刻。

3 从自然基金资助情况看我国激光科学技术的发展现状

国家自然科学基金委员会一直坚持贯彻和完善同行评议评审体制,因此,自然基金的资助情况可以较为客观地反映研究热点与重点的分布情况,以及学界对发展方向的整体认识。下面结合 2017—2021 年 F0506 代码下重点项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目、面上项目和青年科学基金项目资助情况分析我国激光科学技术的发展现状。

3.1 重点项目资助情况

重点项目支持的研究需要聚焦国家重大需求领域

遇到的关键基础科学问题。本文统计了 2017—2021 年 F0506 代码下批准资助的 10 项重点项目的题目和关键词,并分析了词频。去掉“研究”“关键技术”等抽象词汇和“激光”“激光器”等没有区分度的本领域基本概念词汇后,选取出现次数大于 1 的词汇制作了热词云图,如图 1(a)所示。词汇在云图中显示得越大,表示该词出现次数越多。

从图 1 中可以看出,最热门的主题热词为“光纤”“高功率”“红外”“飞秒”。高功率是激光最重要的核心指标之一,激光相关应用领域很多方面性能的提升都依赖于更高功率的激光。光纤具有较大的比表面积,散热性能十分优越,因此,以光纤作为增益介质是实现高功率激光的一个理想途径。红外波段不仅存在大气传输窗口,同时覆盖了很多气体分子的特征吸收频率,因此,红外激光在激光传输、激光通信、激光遥感和激光检测方面都具有巨大的潜在应用价值。飞秒激光具有极高的峰值电场强度,可以实现超越衍射极限的高分辨率精密制造。

为了更具体地分析重点项目的研究主题,进一步统计了热词的关联性,如图 1(b)所示。该图绘制时选取了出现次数位于前 20 的热词,词汇下方的圆形面积越大,表示该词出现的次数越多。同时,在一个项目的标题或关键词中出现的两个词汇用曲线连接,表示这两个词汇之间存在关联。从图 1(b)中可以看出,2017—2021 年激光研究的核心目标是高功率,采用的主要材料是光纤,研究内容主要可以分为 4 块,分别由图 1(b)中的方框(i)~(iv)标识。

3.1.1 高功率单频激光

图 1(b)方框(i)中包含“单频”“千瓦”“布里渊散射”“模式”“稳定”“光束质量”等热词。高功率单频激光具有单色性好、功率谱密度高等优点,在激光通信、激光传感、激光雷达、激光冷却、引力波探测和非线性频率变换等领域都有重要的应用需求。从激光谐振腔中直接输出的功率受腔尺寸的限制,通常只能达到瓦量级。进一步提升功率需要采用主振荡功率放大器(MOPA),将单频种子激光和大功率泵浦激光一起注入增益光纤,实现对种子激光的放大。在 $1\ \mu\text{m}$ 波段,常用的增益介质(掺镱光纤)的量子亏损小、掺杂浓度高,在高功率激光方面的发展较为领先。在 $1.5\ \mu\text{m}$ 波段,常用的增益介质(掺铒光纤)存在泵浦吸收散射截面较小、掺杂浓度较低和量子亏损较大的问题。虽然采用铒镱共掺的方式可以在一定程度上解决这些问题,但又会引入 $1\ \mu\text{m}$ 波段放大自发辐射的新问题,导致功率的进一步提升受到限制。在 $2\ \mu\text{m}$ 波段,常用的增益介质(掺铊光纤)的增益较高,而且可以通过泵浦光的交叉弛豫效应降低量子亏损,因此,单频掺铊光纤激光器的输出功率与 $1\ \mu\text{m}$ 波段差距较小。

激光功率的提升同时受到受激布里渊散射(SBS)效应和热致模式不稳定(TMI)效应的限制。当泵浦功

3.1.3 激光相干合成

当单束激光功率接近极限时,可以采用相干合成的方法将多束激光合成一束,进一步提升功率。图 1(b)方框(iii)中的“相干合成”“脉冲堆叠”两个热词代表了这个方向的研究重心。

相干合成主要可以分为空域、频域和时域三种方案。窄线宽连续激光通常采用空间相干合成。我国学者采用随机并行梯度下降算法实现了上百路窄线宽激光的相干合成^[5]。脉冲激光除了可以采用空域相干合成外,还可以采用频域和时域的相干合成技术进行合成。在频域合成方面,我国学者实现了两台独立运转的掺镱光纤飞秒激光器的脉冲序列与载波包络相位同步,为频域脉冲相干合成奠定了基础^[6]。在时域合成方面,我国学者采用延迟线和偏振控制实现了上百个飞秒脉冲的相干堆叠^[7]。

3.1.4 激光加工

图 1(b)方框(iv)中包含“飞秒”“加工”等热词。飞秒激光加工是高功率脉冲激光的一个重要应用方向。

激光加工的工作模式大致可以分为激光直写和激光相干两种。其中:激光直写模式是逐点扫描加工,能够制备任意复杂的图形和结构,但曝光时间长,加工效率较低,可以通过并行直写的方式提高加工效率;激光相干模式通过将多束激光相干叠加的方式来实现所需的结构,可以快速加工出大面积的周期性结构,但难以实现对任意结构的加工。虽然激光加工已被广泛研究和应用,但研究人员对激光与材料相互作用这一复杂过程的认识尚不清晰,需要更加深入地研究光场调控材料电子状态的微观机制,从而突破当前激光微纳制造面临的瓶颈。

3.2 重大项目资助情况

2017—2021年,F0506在阿秒激光方向资助了一项重大项目。阿秒激光具有与束缚态电子运动时间尺度可比拟的脉冲宽度,是研究电子超快过程以及对电子进行实时观测和控制的核心工具,对于我国的基础科学前沿探索具有重要意义。阿秒激光在原子物理领域可用于研究电子关联效应、光子辐射延迟和电离隧穿等,在分子物理和分子化学领域可用于研究光诱导裂解反应和光生电子转移过程等,在凝聚态物理领域可用于研究材料的激发态动力学、载流子运动规律和铁磁材料的自旋动力学等。

有关阿秒激光的研究内容主要包括利用高次谐波产生阿秒脉冲、运用选通技术获得孤立阿秒脉冲、分离驱动激光与阿秒脉冲、阿秒脉冲色散补偿、阿秒脉冲测量等。在阿秒脉冲产生方面,我国学者运用双光选通技术,通过优化驱动激光产生了亚百阿秒量级的孤立阿秒脉冲。在阿秒脉冲测量方面,我国学者自主研发的具有高能量分辨率的磁瓶式阿秒条纹相机,可以实现孤立阿秒脉冲的测量^[8]。另外,我国学者还开发了一种全光原位测量方法,该方法可以避免传统阿秒条

纹测量需要采用中心动量近似的难题,具有更广的适用范围^[9]。目前,阿秒激光研究的重点和难点主要在于进一步拓展频谱范围、压窄脉宽,同时获得更高的功率。通过技术层面的改进来压缩脉宽的研究已接近瓶颈,获得更短脉冲需要更多基础原理层面的突破。

3.3 国家重大科研仪器研制项目资助情况

国家重大科研仪器研制项目(以下简称“重大仪器项目”)更注重具有明确应用需求的关键科学技术的研究和系统样机的研制,为推动相关领域的研究突破奠定基础。本文统计了2017—2021年F0506代码下批准资助的9项重大仪器项目的题目和关键词,制作了热词云图,如图 2(a)所示。可以看出,“测量”是重大仪器项目最关注的应用场景,而“精密”和“小型化”则是其最关注的性能要求,其他关注的内容还有“操控”“光源”“加工”等。

为了更具体地分析重大仪器项目的研究主题,本文统计了热词的关联性,如图 2(b)所示。可以看出:测量是仪器研究的核心目的;研究内容主要可以分为超短脉冲激光性质的测量和冷原子的精密光谱测量,分别由图 2(b)中的方框(i)和(ii)进行标识;而小型化则是推动仪器走向实用的一个共性需求。

3.3.1 超短脉冲激光性质的测量

图 2(b)左侧方框(i)中包含“超短”“超强”“高功率”“信噪比”“动态范围”等热词。随着超短超强脉冲激光研究的不断推进,脉冲功率的提升、脉宽的压窄以及所涉及物理过程的复杂程度等均达到了前所未有的程度。传统的测量仪器在功率、时间、频率、空间等维度上的信噪比、动态范围和分辨率等难以满足日益增长的科研需求,制约了研究的进一步深入。因此,亟待探索出能够突破现有瓶颈的新机理、新方法。

针对强激光的高动态范围噪声测量问题,我国学者采用一种非共线和频方法,将超强飞秒脉冲的时域关联转换成空间关联,然后采用具有极高空间信噪比的光束标定测量系统,获得了时域单次测量可达 10^{13} 的对比度,为研制百拍瓦级超强激光提供了重要的测试工具^[10]。

针对超快激光缺乏高时空分辨和实时连续超快测量的问题,我国学者提出了一种时空频三域融合的实时连续超快测量方法,即:先采用单模光纤探头对光场的不同区域进行采样,并利用时分复用技术将多路采集的脉冲合并;随后将脉冲序列分为两路,一路直接进行实时时域探测,另一路经过色散傅里叶变换后进行实时光谱探测。运用这种方法可以实时观察到三维耗散孤子激光的演化过程,该方法为复杂超快过程的多维度深入研究提供了有力工具。

当超短脉冲与物质相互作用时,通过精确测量脉冲性质的变化可以得到物质相关性质的信息。我国学者正在将飞秒泵浦测量系统与飞秒激光直写系统结合,开发面向飞秒激光微纳加工物性精准调控的原位

于布洛赫振荡和拉姆塞-邦德干涉的周期性自由落体冷原子重力仪的研究。他们采用的方案避免了传统冷原子重力仪需要进行长距离自由落体的问题,能够极大地压缩系统的体积。

为了避免制备冷原子所需的复杂系统,也有学者使用室温热原子进行精密测量。在某些领域,通过设计合适的测量方案并发挥原子数量的优势,可以使热原子获得超越冷原子的优越性能。我国学者采用超外差接收方法研制了基于室温原子气室中微波缀饰里德堡原子的微波电场测量设备,其可测量的最小电场强度小于 $1 \text{ nV/cm}^{[14]}$ 。

作为光学仪器的核心部件,激光器的小型化是整个仪器小型化的基础。垂直腔面发射激光器(VCSEL)具有尺寸小、功耗低、效率高、寿命长、光束呈圆形以及二维面阵集成等诸多优势,是小型化光源的理想选择之一。但在 $1.5 \mu\text{m}$ 波段,材料制造的问题极大地限制了 VCSEL 的性能。针对这一问题,我国学者采用高增益发光区量子阱与隧穿结台面结构研制了输出功率可达到毫瓦量级的 $1.5 \mu\text{m}$ VCSEL。另外,我国学者还针对很多小型化仪器设备缺乏散热设施或需要在高温环境中工作的问题,开展了高温工作 VCSEL 的研究,针对高温下激光模式不稳定的问题,采用氧化孔与表面反相浮雕结构相结合的方法,实现了对高阶模的有效抑制。

3.4 面上项目和青年科学基金项目资助情况

本文统计了 2017—2021 年 F0506 代码下获得资助的 135 项面上项目和 198 项青年科学基金项目的题目和关键词,制作了热词云图,如图 3(a)、(b)所示。面上项目和青年科学基金项目中出现频率最高的几个热词包括“光纤”“脉冲”“飞秒”“红外”“高功率”等,与重点项目中的高频热词高度重叠。这说明广大科研工作者都十分关注这些本领域的核心基础科学问题。在青年科学基金项目中提取的热词数量为 343 个,多于面上项目的 272 个,表明青年项目覆盖的研究内容更广。

针对面上项目和青年科学基金项目中出现次数最多的 10 个热词,本文统计了热词词频(热词出现次数/项目总数),结果如表 1 所示。可以看出,面上项目和青年科学基金项目中出现频率最高的 4 个热词完全相同,均为“光纤”“脉冲”“锁模”“飞秒”,而且青年科学基金项目的词频均高于面上项目。这说明光纤激光和超短脉冲激光是目前我国学者普遍关注的热点,而青年学者对这些热点体系的研究更加集中。“红外”“调控”“拉曼”也是面上项目和青年科学基金项目共同关注的热词,而且词频接近。红外波段的高功率激光和宽频谱激光有着重要的实际应用价值。拉曼过程是产生红外波段激光的一种重要手段,因此该热词通常与红外一起出现。调控能力是激光研究中普遍关注的重要性能。

面上项目中有更多关于固体激光和涡旋激光的研究。固体激光的研究起步较早,所需的激光晶体和泵

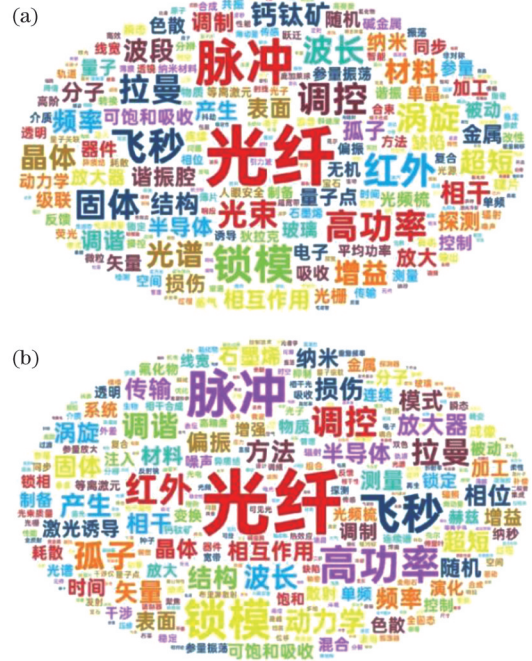


图 3 2017—2021 年 F0506 资助面上项目和青年科学基金项目的热词云图。(a)面上项目;(b)青年科学项目

Fig. 3 Hot word cloud charts of General Programs and Youth Science Foundation Programs of National Natural Science Foundation of China supported by F0506 during 2017–2021, respectively. (a) General Programs; (b) Youth Science Foundation Programs

表 1 面上项目和青年科学基金项目中频率位居前 10 的热词及其词频

Table 1 Top 10 most frequent hot words and corresponding word frequency in General Programs and Youth Science Foundation Programs of National Natural Science Foundation of China, respectively

编号	热词		词频	
	面上项目	青年科学基金项目	面上项目	青年科学基金项目
1	光纤	光纤	0.70	0.83
2	脉冲	脉冲	0.39	0.42
3	锁模	锁模	0.26	0.31
4	飞秒	飞秒	0.22	0.29
5	红外	高功率	0.21	0.27
6	调控	红外	0.20	0.19
7	高功率	调控	0.19	0.18
8	固体	孤子	0.17	0.16
9	涡旋	拉曼	0.16	0.14
10	拉曼	调谐	0.16	0.14

浦源成本较高,整个系统比较复杂。涡旋激光主要在固体激光中实现,而且需要额外的空间相位调制器,进一步提升了研究成本和系统复杂度。因此,开展相关的前沿研究需要良好的基础。

青年科学基金项目更加关注高功率、孤子和调谐

等问题。其中:关于高功率和调谐的研究主要针对的是一些细分领域激光输出功率和波长范围等性能的提升,而形成孤子则主要是超短脉冲激光在光纤中传输时需要解决的问题,属于青年科学基金项目研究热点的延伸。

4 从自然科学基金角度对我国激光科学技术研究的展望

促进我国激光科学技术快速发展,需要坚持服务国家重大需求与鼓励自由探索相结合的科学导向。面对当前国际竞争日趋激烈的局面,尤其要厘清我国激光科学技术的优势与不足,有针对性地“补短板”和“强长板”,坚持“四个面向”,推动实现高水平科技自立自强。下面,本文将结合国家重大需求和发展现状,从基础科学、高端制造、环境监测和生物医疗等方面探讨激光科学技术领域需要进一步深入研究的内容。

4.1 面向基础科学的高性能激光研究

激光科学技术在我国科技创新战略规划中占据着重要地位。激光是科学研究的重要工具,其性能的重要提升往往能提升原始创新能力,带动许多相关学科取得重大突破。随着单纯技术的提升趋于瓶颈,激光性能的进一步提升有赖于很多基础前沿科学问题的解决。作为我国基础研究的主要资助来源,自然科学基金应该加强引导和支持我国科研工作者对这些基础问题开展攻关研究。在超强激光方面,我国起步较早,已取得了一系列国际先进成果。为了进一步提升激光功率,需要加强对提升能量注入的功率和效率、提升泵浦能量转化效率、改进废热管理方法、波前畸变抑制方法、相干合成单元优化控制方法等问题的研究。在超快激光方面,我国布局较晚,目前仍处于追赶阶段。为了进一步压窄激光脉宽,需要加强对拓展频谱展宽范围和提升色散补偿精度等问题的研究。在超稳激光方面,受限于制造工艺和技术积累,我国距离国际顶尖水平仍有一定差距。为了进一步压窄激光谱线的宽度,需要加强对提升幅度和相位噪声抑制的深度和范围、提高光学参考腔品质因子和提升系统的抗振隔热性等问题的研究。

4.2 面向高端制造的激光精密加工技术研究

激光制造是推动我国向制造强国转型、促进战略性新兴产业发展的关键一环,近年来发展迅速,取得了部分国际领先成果,但很多方面仍处于追赶国际先进水平的阶段。在飞秒激光精密加工方面,需要加强对提高激光峰值功率、优化激光光束质量、提高加工分辨率、改善测量和控制精度、提升加工效率、探索激光与各种物质相互作用机理等问题的研究。在高制程光刻技术方面,需要加强对研发高性能紫外光学材料和光学元件、改进紫外镀膜技术和光学损伤抑制技术、探索准分子激光放电动力学、研制激光等离子体光源的高功率泵浦源、探索激发辐射过程的动力学等问题的研究。

4.3 面向环境监测的中红外脉冲激光研究

宽频谱的高功率中红外脉冲激光可以实现很多痕量气体的监测,具有分析快速、操作简单、环境友好等优点,受到了国内外学者的广泛关注。我国在这一领域已经形成了一批有特色的研究成果。为了拓展波长范围,提升功率,进一步提高检测的范围和灵敏度,需要加强对研发高增益高稳定性激光增益材料、探索新型高性能掺杂离子、研制低弛豫时间高稳定性锁模器件、优化空芯光纤结构设计和制备工艺、提高泵浦光功率、改进热效应控制技术等内容的研究。

4.4 面向生物医学的激光诊疗技术研究

激光在生物医学方面具有重要应用,激光与生物组织相互作用的各种性质可用于激光诊断和激光治疗。近年来,我国在激光诊疗领域的研究进展迅速,部分基础研究和临床应用达到了国际先进水平,但一些高端设备仍有赖于进口。在光学相干层析、光声成像等激光诊断技术方面,针对减小设备体积、提升分辨率、增加探测深度的需求,需要加强对研制小型化激光器、拓展光源频谱宽度、构造可降解高灵敏度纳米探针等问题的研究。在激光切除技术方面,针对目前存在的激光功率较小、脉宽大、穿透深度过大等问题,需要加强对提升激光功率、压窄激光脉宽、减小组织穿透深度等问题的研究。在光动力治疗方面,针对目前人们对光物理化学反应机理的认识不够清晰、光敏剂靶向性不够高、治疗范围受限等问题,需要加强对提高光敏剂选择性、制造可植入微纳激光器、探索激光与生物组织相互作用机理等问题的研究。

5 结束语

激光是探索科技前沿和推动技术革新的重要工具。本文从激光具有的高场强、窄脉宽、窄线宽、高频率等特点出发分析了其重要应用场景。结合国家自然科学基金 F0506 代码下重点项目、重大项目、国家重大科研仪器研制项目、面上项目和青年科学基金项目的资助情况,本文对立项项目的题目和关键词进行了热词分析,给出了光纤激光、高功率激光、超短脉冲激光、红外激光等当前我国激光科学技术领域的前沿热点,并梳理了上述方向的研究现状。最后,从国家自然科学基金角度对我国激光科学技术的发展进行了展望,结合基础研究、高端制造、环境监测、生物医学等国家重大需求给出了激光领域需要进一步深入研究和探讨的问题。

参 考 文 献

- [1] 李静海. 深化科学基金改革 推动基础研究高质量发展[J]. 中国科学基金, 2020, 34(5): 529-532.
Li J H. Deepen the reform of the national natural science fund to promote the high-quality development of basic research[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2020, 34(5): 529-532.
- [2] 韩宇. 做好学科发展战略研究 引领原创成果重大突破[J]. 中国科学基金, 2019, 33(4): 321.

- Han Y. Strengthening strategy study on discipline development, leading major breakthroughs in original achievements[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2019, 33(4): 321.
- [3] Song J X, Ren S, Wang G J, et al. High power narrow-linewidth fiber laser based on double-tapered fiber[J]. Journal of Lightwave Technology, 2022, 40(16): 5668-5672.
- [4] Lai W C, Ma P F, Liu W, et al. 550 W single frequency fiber amplifiers emitting at 1030 nm based on a tapered Yb-doped fiber [J]. Optics Express, 2020, 28(14): 20908-20919.
- [5] Chang H X, Chang Q, Xi J C, et al. First experimental demonstration of coherent beam combining of more than 100 beams [J]. Photonics Research, 2020, 8(12): 1943-1948.
- [6] Tian H C, Song Y J, Meng F, et al. Long-term stable coherent beam combination of independent femtosecond Yb-fiber lasers[J]. Optics Letters, 2016, 41(22): 5142-5145.
- [7] Abuduweili A, Wang J, Yang B W, et al. Reinforcement learning based robust control algorithms for coherent pulse stacking[J]. Optics Express, 2021, 29(16): 26068-26081.
- [8] 王向林, 徐鹏, 李捷, 等. 利用自研阿秒条纹相机测得 159 as 孤立阿秒脉冲[J]. 中国激光, 2020, 47(4): 0415002.
- Wang X L, Xu P, Li J, et al. Isolated attosecond pulse with 159 as duration measured by home built attosecond streaking camera[J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(4): 0415002.
- [9] Yang Z, Cao W, Chen X, et al. All-optical frequency-resolved optical gating for isolated attosecond pulse reconstruction[J]. Optics Letters, 2020, 45(2): 567-570.
- [10] Ma J G, Yuan P, Ouyang X P, et al. Demonstration of single-shot measurements of 10^{13} ultrahigh-contrast pulses by manipulating cross-correlation[J]. Advanced Photonics Research, 2021, 2(12): 2100105.
- [11] Guo Y K, Wen X X, Lin W, et al. Real-time multispeckle spectral-temporal measurement unveils the complexity of spatiotemporal solitons[J]. Nature Communications, 2021, 12: 67.
- [12] Liao K Y, Tu H T, Yang S Z, et al. Microwave electrometry via electromagnetically induced absorption in cold Rydberg atoms[J]. Physical Review A, 2020, 101(5): 053432.
- [13] Huang Y, Zhang B L, Zeng M Y, et al. Liquid-nitrogen-cooled Ca^+ optical clock with systematic uncertainty of 3×10^{-18} [J]. Physical Review Applied, 2022, 17(3): 034041.
- [14] Jing M Y, Hu Y, Ma J, et al. Atomic superheterodyne receiver based on microwave-dressed Rydberg spectroscopy[J]. Nature Physics, 2020, 16(9): 911-915.

Analysis and Prospects for Development of Laser Science and Technology in China from the Perspective of National Science Foundation of China

Tang Hua^{1*}, Shen Yong², Long Liyuan³

¹Department of Information Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

²College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, Hunan, China;

³Micro-Electronics Research Institute, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China

Abstract

Since its invention, the laser has developed tremendously; stimulated important breakthroughs in numerous related fields such as physics, chemistry, biology, and information science; and played crucial roles in fundamental science and technology application research. The National Science Foundation of China compiles statistics on the funding of Key Programs, Major Programs, Research Programs of National Major Research Instruments, General Programs, and Youth Science Foundation Programs. Based on the statistics compiled between 2017 and 2021, this study analyzes hot words in titles and keywords of previously funded projects to summarize the key developments and challenges of laser science and technology in China and propose topics requiring further research and discussion.

Key words laser technique; hot word analysis; frontier hot spots; research prospect

作者简介:

唐华 博士,国家自然科学基金委员会信息科学部四处副处长兼激光技术与技术光学项目主任,副研究员,主要从事科学基金管理
工作。