

基于 CiteSpace 分析激光研究趋势初探

林宜甲^{1*} 余作乾²

1 福建省三明学院 创业管理学院 2 福建省三明学院 机电工程学院

DOI:10.12238/ems.v4i5.5787

[摘要] 激光是一种受激辐射光的放大,广泛应用于金属材料,测量,医学等领域。本文以CNKI数据库材料为来源,借助CiteSpace(6.1.R3)软件和CNKI数据库分析功能进行激光应用学科分析以及关键词可视化分析,根据研究结果显示激光研究应用于物理学的占比最多,2022年3500篇中关键词激光雷达出现次数最多。激光应用于焊接领域是未来高端精密制造发展的趋势,激光在金属学及金属工艺学科和激光焊接领域的研究仍有待增加。

[关键词] 激光; 激光焊接; CiteSpace

中图分类号: TG43 文献标识码: A

Preliminary Analysis of Laser Research Trends Based on CiteSpace

Yijia Lin^{1*} Zuoqian Yu²

1 School of Entrepreneurship Management of Fujian Sanming University

2 School of Mechanical and Electrical Engineering of Fujian Sanming University

[Abstract] Laser is a kind of amplification of stimulated radiation, which is widely used in metal materials, measurement, medicine and other fields. This paper takes CNKI database materials as the source, uses CiteSpace (6.1.R3) software and CNKI database analysis function to carry out laser application discipline analysis and keyword visualization analysis. According to the research results, laser research is the most widely used in physics, and the keyword laser radar appears the most in 3500 articles in 2022. The application of laser in the welding field is the development trend of high-end precision manufacturing in the future. The research of laser in the fields of metal science and metal technology and laser welding still needs to be increased.

[Key words] laser; laser welding; CiteSpace

前言

1957年美国C. H. Townnes首次提出光频受激辐射放大设想,1960年世界第一台脉冲激光器研制成功红宝石激光器诞生了,美国T. H. Maiman发现波长为694.3纳米(nanometre)的激光,为人类历史上的第一束激光,激光技术开始急速的向前发展。现今激光正在向更高功率、更高亮度、更大脉冲能量等方向不断发展。CPA技术(Chirped Pulse Amplification)及腔外脉冲压缩技术为高强度激光提供了一种可靠的方案,为阿秒光脉冲的出现做足准备。阿秒(attosecond) 10^{-18} S是目前人类所能控制的最短时间尺度,电子极端超快运动现象可通过阿秒激光脉冲对其进行研究,实现对原子中电子运动和相关行为的检测。通过控制内壳层中的束缚电子和其他过程,从分子到原子的材料结构的研究领域也得到了扩展。可利用阿秒脉冲激光研究新材料中的电荷转移机制,控制电子转移过程,推动超导技术发展及能源革命。基于其巨大的应用前景,阿秒激光成为激光技术前沿研究方向之一。

1 激光的介绍

激光锁模技术(Mode Locking)的发明促进了飞秒激光的诞生,飞秒(femtosecond)又称毫微妙(10^{-15} s),脉冲宽度极短、脉冲功率峰值极高、飞秒激光覆盖频谱范围广,一个脉冲宽度可包含高达数百万个频谱成分,飞秒激光在精密测量中获得了重大应用。高功率超短脉冲激光具有持续时间短、峰值功率高等特点,可进行跨尺度的高端精密制造,是现代无污染工业加工的核心之一。单频激光能量转换效率高、噪声低、线宽窄,在精密测量、遥感技术、航天航空、通信技术等领域有着广泛的应用。中红外激光,工作波长位于 $2\sim 20\mu\text{m}$ 的中红外激光占据着从可见光到远红外光谱段的重要位置,光谱范围宽,是人类可以利用的重要谱段之一,涵盖许多重要的分子化学键特征振动吸收峰,可以利用中红外激光来进行有机化合物辨别、进行大气毒气监测。水分子的吸收峰处于中红外激光波段,水分子在 $2\mu\text{m}$ 和 $2.8\mu\text{m}$ 附近有强中红外吸收峰,可用在医学上的激光微治疗、肌肉组织的气化分离和精密剥脱,在医学领域有着广阔的应用空间。激光技

术作为一种基础技术,突破电子技术的限制和封锁,开拓新的应用领域。激光以其独特的性质对当今世界的科学技术发展、经济和社会变革产生了深远的影响。

2 激光应用方向

2.1 激光雷达(Lidar)

激光雷达是激光技术与现代光电探测技术结合的一种先进光传感探测方式,通过激光束扫描照射目标物体,测定发射器和目标物体之间的传播距离,分析目标物体表面反射回的能量大小、波谱幅度、频率和相位等信息,从而反映出目标物体的精确三维结构信息。激光雷达具有分辨率高、抗有源干扰能力强、低空探测性好等特点。Wang (2017) 等人将三维激光雷达用于自动驾驶汽车行人识别与跟踪问题^[1],采用支持向量机(SVM)训练的分类器对行人进行识别。Sankey (2017) 等人将激光雷达激光雷达、高光谱和多光谱传感器应用于植被和地形的梯度^[2],用于监测经历大规模变化的景观。

2.2 激光熔覆(Laser Cladding)

激光熔覆一种新型的表面改性技术,按熔覆材料的供给方式大致可分为两大类,即预置式激光熔覆和同步式激光熔覆。激光熔覆通过在待加工基材表面添加熔覆材料,利用高能密度的激光束辐照使熔覆材料与基材表面发生熔化、扩展、凝固,熔覆材料和基材表面形成冶金结合的添料熔覆层,进而显著改善基材的表面综合性能。激光熔覆具有高速热循环,与堆焊、喷涂、电镀和气相沉积相比,激光熔覆可实现更高强度和更精细的微观结构、适用熔覆材料较多,在工业制造领域应用前景十分广阔。Siddiqui (2021) 研究了最近预置式激光熔覆中粉末预埋法工艺的最新进展与趋势^[3],激光熔覆技术是一种新技术,可在不影响基体(matrix)材料性质下制备出高性能的合金。

2.3 激光焊接(Laser welding)

激光焊接是利用高能量密度的激光束作为热源的一种高效精密焊接方式。激光焊接过程将高强度的激光束辐射至金属表面,激光与金属的相互作用,使金属熔化形成焊接。在激光与金属的相互作用过程中,金属熔化仅为其中一种物理现象,有时会以其它形式表现出来,如材料汽化、等离子体的形成等。激光焊接是未来精密制造的发展趋势。激光焊接是非接触性焊接,可以实现超细微加工和柔性加工,应用于芯片焊接,可降低了CTE(coefficient of thermal expansion)热膨胀系数失配所导致的翘曲变形的发生。Quazi (2020) 等人应用激光对钛(Ti)及其合金材料进行异种焊接^[4],克服了异种金属材料焊接难题。Mehrrouya (2018) 等人用二极管激光器焊接NiTi形状记忆薄板实现了记忆金属高难度精密焊接^[5]。Nguyen (2020) 等人对铜/不锈钢激光异种焊接进行了实验研究,研究了工艺参数对熔池组织形成机理和温度场的影响^[6],估算掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)脉冲激光工艺参数对熔池温度梯度和凝固裂纹、铜颗粒扩散和熔合区微观组织等冶金方面的影响,在焊接过程中建立适当的温度梯度有效控制熔合区凝固裂纹,降低铜的热传导效应。

2.4 激光超声(Laser ultrasound)

激光超声是一种无损检测的新型技术,是指脉冲激光在介质中所产生的超声波或利用激光来产生超声的物理过程,利用激光脉冲与物质表面的瞬时热作用,通过热弹效应或热蚀效应,在固体表面产生应变和应力场使粒子产生波动,在材料表面或内部激发多种模式超声波,并用激光束探测超声波的传播,从而对材料内部结构进行监测,激光超声结合了超声检测的高精度和光学检测非接触性,具有灵敏度高,高检测带宽的特点。Hong (2017) 等人^[7]提出了一种全场脉冲回波激光超声波传播成像仪(FF-PE-UPI)用于结构缺陷的三维评价评估,成功可视化工件的内部结构缺陷。

3 研究方法

3.1 数据材料

本文研究中的数据材料文献以CNKI数据库为来源,以激光为关键词对2022年的期刊进行高级检索共取学术期刊文献3500篇,剔除会议、书籍、综述、报纸、科研简介等相关性较低的文献,以CNKI数据库为来源检索2017年-2022年有关激光学术期刊。(检索时间为2022年11月14日)

3.2 数据处理

本文基于文献计量的基础分析思路运用科学知识图谱可视化手段,分析激光研究领域的前沿热点和未来发展趋势,选用CiteSpace(6.1.R3)软件进行文献计量分析与知识图谱呈现,Citespace是由陈超美教授研发的知识可视化软件,是国内目前广泛使用的知识图谱绘制工具之一,支持国内多个核心数据库进行合作网络、贡献分析、发文量、关键词图谱等方面的知识图谱可视化分析。Citespace能直观反应某个研究领域的研究趋势和动向,并以可视化的形式加以呈现,直观了解各领域研究的热点话题、重要学者和研究机构。由CiteSpace(6.1.R3)软件对2022年所取数据进行关键词可视化分析,基于CNKI数据库数据分析功能对2017年-2022年文献数据进行应用学科分析。知网数据库是全球最大的中文数据库,中国知网是《中国知识资源总库》的门户网站和网络出版发行平台,实现了学术资源的集成与传播。提供文献、会议、年鉴等各类学术资源,学术资源涵盖了经济与管理科学、文史哲、工程科技、社会科学、基础科学、医学、信息科技等各个领域。

3.3 研究过程

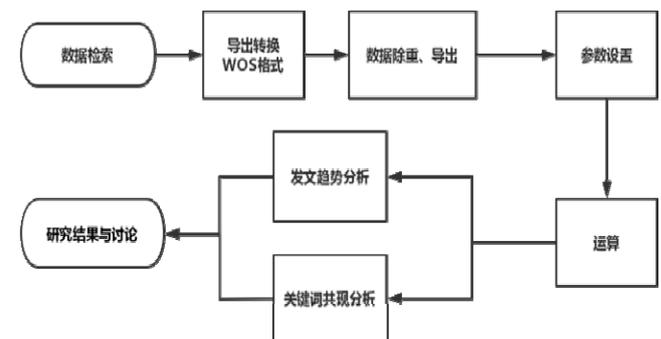


图1 研究流程

4 研究结果

根据图2CNKI数据库检索2017–2022年激光学期刊学科分布分析显示,激光应用于物理学占比最多共占比20.80%,就图2来看,激光与物理学相结合是激光研究的主体方向,推测应用于物理学占比最多的原因可能是激光在几何光学和物理光学领域的定理论证。

根据使用CiteSpace (6.1.R3) 关键词可视化分析,分析2022年CNKI数据库,关键词激光雷达的数量最多共计出现213次,如图3所示2022年激光研究热点主要为激光雷达。预计2023年文献关键词为激光雷达的数量会有小幅度的提升。图3所示目前激光熔覆和激光雷达文献数量相差35篇,预测未来关键词为激光熔覆的文献数量有追赶激光雷达文献数量的趋势。

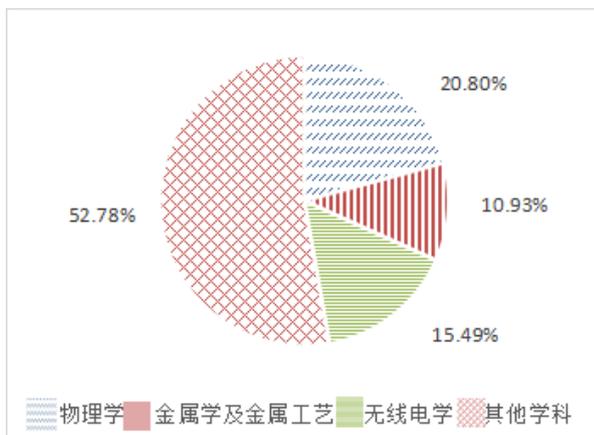


图2 学科分布(来源: 改绘CNKI)

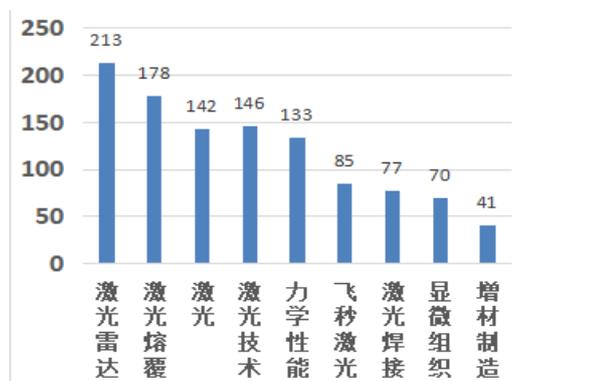


图3 关键词分析(来源: 改绘Citespace 6.1.R3)

5 讨论

就图2而言激光应用于物理学科的研究占比是最大的,说明光学物理、热力学物理等基础物理学科的发展是离不开激光。在激光焊接与增材制造中金属材料的反射率、热传导系数、膨胀系数和力学性能、金属微观结构如晶界(grain boundary)变化等均是影响激光焊接和增材制造的重要因素。在电子封装制程中RDL (Redistribution Layer) 重布线层是实现微电子领域中几乎所有先进封装的关键技术,包括倒装芯片、晶圆级芯片封装、扇外型晶圆级封装等,RDL通过图案化金属和介电层对电

路进行布线,重新规划电信号输入/输出路线。大多数RDL是“光刻定义”电介质构造的,电路图案先光刻印刷,再湿法刻蚀去除曝光或未曝光区域来获得的,但存在加工复杂以及键合材料CTE不匹配等问题。部分RDL可通过准分子激光(Excimer laser)进行直接烧蚀构图。非光电介质产生的应力更小,CTE匹配更好,机械和电气性能更佳。激光对所需图案的光刻版投射,烧灼衬底,图案化所需区域。准分子激光烧蚀是一种高通量图案化方法,无需湿法化学品,但烧蚀深度的控制是准分子激光烧蚀的面临的挑战之一,会影响后续的金属溅射或气相沉积过程,所以激光在金属学与金属工艺方面仍有很大的研究空间。

激光雷达目前广泛应用于地形测绘、林业测绘、大气测量等基础测绘领域,就以图3而言激光雷达出现次数最多是符合基础测绘应用倾向的,较传统测绘方式而言激光雷达所能获取的高精度点位坐标数据远多于传统测绘方式,所以基础测绘离不开激光。激光焊接是未来微小精密加工的发展趋势用于高端精密制造领域,尤其是芯片焊接方面,并且能否将激光雷达应用于芯片激光焊接过程中存在研究价值,所以激光焊接方向的研究仍有扩充的空间。

[参考文献]

- [1]Wang, H., Wang, B., Liu, B., Meng, X., & Yang, G. (2017). Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle. *Robotics and Autonomous Systems*, 88, 71–78.
- [2]Sankey, T., Donager, J., McVay, J., & Sankey, J. B. (2017). UAV lidar and hyperspectral fusion for forest monitoring in the southwestern USA. *Remote Sensing of Environment*, 195, 30–43.
- [3]Siddiqui, A. A., & Dubey, A. K. (2021). Recent trends in laser cladding and surface alloying. *Optics & Laser Technology*, 134, 106619.
- [4]Quazi, M. M., Ishak, M., Faza, M. A., Arslan, A., Rubaiee, S., Qaban, A., ... & Manladan, S. M. (2020). Current research and development status of dissimilar materials laser welding of titanium and its alloys. *Optics & Laser Technology*, 126, 106090.
- [5]Mehrpouya, M., Gisario, A., Brotzu, A., & Natali, S. (2018). Laser welding of NiTi shape memory sheets using a diode laser. *Optics & Laser Technology*, 108, 142–149.
- [6]Nguyen, Q., Azadkhou, A., Akbari, M., Panjehpour, A., & Karimipour, A. (2020). Experimental investigation of temperature field and fusion zone microstructure in dissimilar pulsed laser welding of austenitic stainless steel and copper. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 206–215.
- [7]Hong, S. C., Abetew, A. D., Lee, J. R., & Ihn, J. B. (2017). Three dimensional evaluation of aluminum plates with wall-thinning by full-field pulse-echo laser ultrasound. *Optics and Lasers in Engineering*, 99, 58–65.