

Research Progress in the Applications of New Two-Dimensional Materials in Solid State Lasers

Shuangshuang Pu^{1,2}, Wenyan Zhang², Yang Zhou², Guangsheng Ren², Xiangjun Meng²,
Chuang Du², Qihan Wang², Dong Lv³, Xuan Fang^{1*}

¹State Key Laboratory of High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin

²Changchun New Industries Optoelectronics Technology Co., Ltd., Changchun Jilin

³Southwest of Jiaotong University, Chengdu Sichuan

Email: *fangxuan110@126.com

Received: Oct. 17th, 2019; accepted: Nov. 1st, 2019; published: Nov. 8th, 2019

Abstract

Solid state lasers have been the main direction of laser development since the introduction of the Ruby laser. Since the 1980s, the emergence of new solid laser types such as semiconductor lasers has brought the optoelectronic industry back to life. Using new two-dimensional materials, the performance of solid state lasers can be highly improved, which should become the development direction of laser in future. In this paper, we discussed the advantages and necessities of this technology from the point of applications in solid state lasers. Then we want to provide some reference and inspiration for the relevant workers to carry out their work.

Keywords

New Two-Dimensional Materials, Solid State Lasers, Research Progress

新型二维材料在固体激光器中的应用研究进展

浦双双^{1,2}, 张文彦², 周 阳², 任广胜², 孟祥峻², 杜 闯², 王启晗², 吕 冬³, 方 铨^{1*}

¹长春理工大学, 高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春

²长春新产业光电技术有限公司, 吉林 长春

³西南交通大学, 四川 成都

Email: *fangxuan110@126.com

*通讯作者。

文章引用: 浦双双, 张文彦, 周阳, 任广胜, 孟祥峻, 杜闯, 王启晗, 吕冬, 方铨. 新型二维材料在固体激光器中的应用研究进展[J]. 应用物理, 2019, 9(11): 417-423. DOI: 10.12677/app.2019.911051

收稿日期：2019年10月17日；录用日期：2019年11月1日；发布日期：2019年11月8日

摘要

自从红宝石激光器问世以来，固体激光器一直都是激光器发展的主要导向，加上从上世纪八十年代开始，半导体激光器等新型固体激光器类型的出现让光电行业重新焕发生机。在固体激光器使用新型二维材料，提升固体激光器的性能和使用寿命，是未来光电市场固体激光器的发展趋势。本文以新型二维材料在固体激光器中的应用为出发点，阐释技术的优势和使用的必要性，旨在为相关工作开展提供一定的借鉴和启发。

关键词

新型二维材料，固体激光器，研究进展

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 新型二维材料的应用前景

二维材料就是分子层单层、内部有共价键和离子键连接支撑的材料，因为结构的特点，导致其在性能上相比传统天然材料具有更大的使用价值，如图1为其结构图。

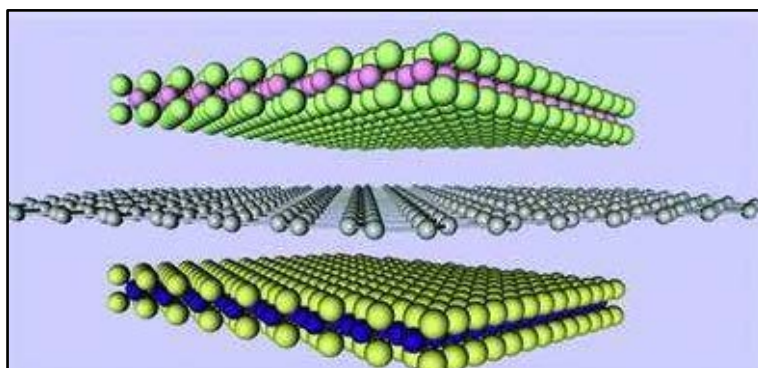


Figure 1. Two-dimensional nanomaterial structure diagram

图1. 二维纳米材料结构图

二维材料的使用范围非常广泛[1]，光电行业、高新技术行业等都有二维材料的涉及。新型二维材料中使用较为广泛的有二维六方氮化硼、黑磷、氧化物等[2]，以过渡性金属碳化物为例，过渡性金属碳化物具备非常不错的强度和硬度[3]，并且抗热性和化学反应活性较低，所以过渡性金属碳化物在储能材料、极端条件下使用也是愈发广泛[4]。因为其催化功能较好，并且具备超导性，因此在电子和化学领域也有非常广泛的应用。新型二维材料例如石墨烯、拓扑绝缘体、黑磷(BP)等等[5]，在光电领域中逐渐展现出其魅力，因为其具备非线性光学特性，所以可以成为激光脉冲调制中的可饱和吸收体[6]，如图2所示非线性光学视角的激光脉冲。

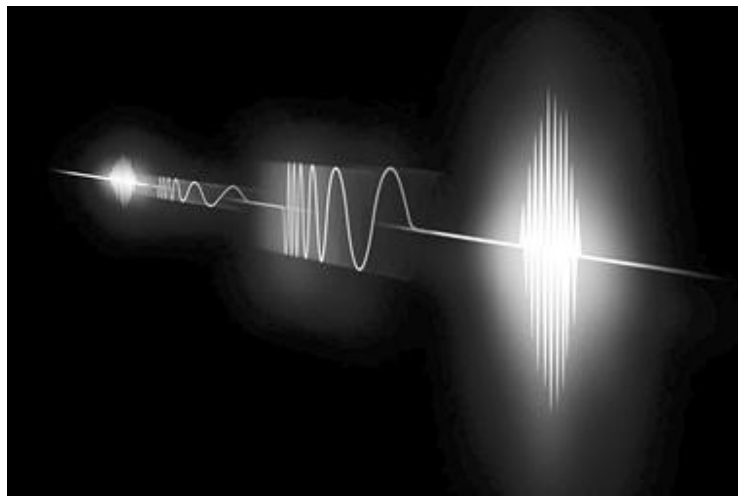


Figure 2. Nonlinear optical angle of laser pulse
图 2. 非线性光学视角的激光脉冲

2. 激光器原理及应用前景

2.1. 固体激光器原理及应用

激光是受激辐射之后，诱导或者激发光子队列采取同样的步调射出的光源，相比传统意义上的自然光线和人造光线，激光的应用范围非常广泛，从高新技术行业到通信技术[7]，再到美容医学领域[8]，激光都有不错的使用价值，而激光也被称为 20 世纪以来人类的第四大重要发明[9]，能与电脑、核能和半导体相提并论，足以见得激光行业在未来的发展前景是相当广阔的。图 3 所示，激光器就是产生激光的人造光源[10]，也是激光的最终来源。无论是电脑、核能、半导体还是激光，目前人类探索的范围不过凤毛麟角，并且激光器的改革仍在不断进行。

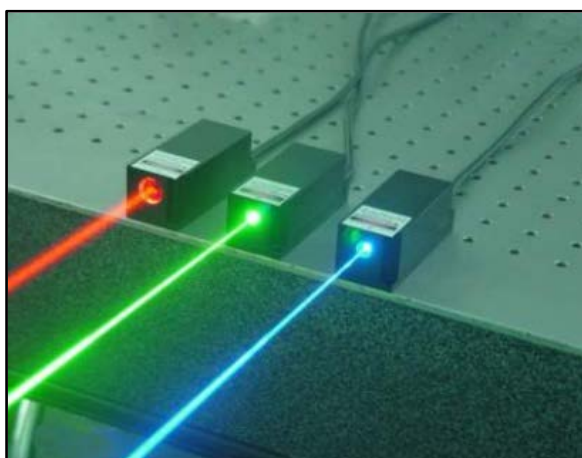


Figure 3. Laser source
图 3. 激光光源

激光器的种类繁多，按照其工作性质的不同可以分为固体、气体、液体等三大类[11]，激光器的原理就是通过光学、电学的激励方式，让工作介质吸收能量并且实现粒子的翻转和维持。为了能让激光有良好的方向习惯和相干性，采用不同原理制造的激光器，其经济价值也各不相同[12]。选取了目前较为常见

的激光器进行对比分析(如表 1), 灯泵固体激光器和气体激光器的设备体积较大, 也设备的使用寿命较短, 因此并不适合大范围的经济活动, 在光束质量上, 半导体材料光束质量较差, 其余三者光束质量都相对不错, 全固态激光器设备寿命、体积和光束质量、电光效率都非常不错, 通过各种激光器的体积、寿命、光束质量和电光效率对比, 固体激光器具备较高的经济价值。但是光电效率最高的半导体激光器, 倘若可以在光束质量上加以控制, 在经济效益上要比全固态激光器更大[13]。

Table 1. Comparison of characteristics of high power lasers (Electro-optic efficiency approximation)

表 1. 大功率激光器的特点比较(电光效率近似计算)

	设备体积	寿命	光束质量	电光效率
灯泵固体激光器	大	短	好	15%
气体激光器	大	短	好	3%
半导体激光器	小	长	坏	50%
全固态激光器	小	长	好	17%

2.2. 固体激光器中运用新型二维材料的优势

从以上特点分析中也可以发现, 半导体激光器的电光效率远远高于同类其他激光器类型, 因此如果能提升光束质量, 其经济效益会实现质的突破。设备体积、使用寿命等诸多方面, 都要比其他类型的激光器更出众。上文中也介绍了新型二维材料具有独特的光电性能, 因此在半导体激光器上或者全固态激光器上使用新型二维材料, 能实现高质量光束的输出。因此在固体激光器(如图 4)的应用中加上新型二维材料, 是未来发展的课题[14]。

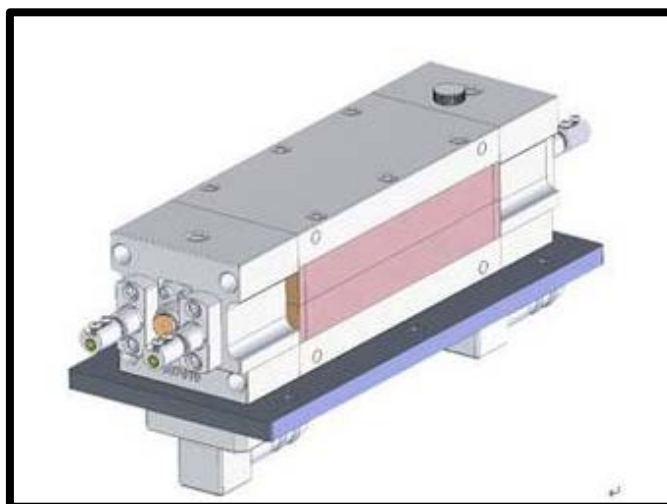


Figure 4. Solid state laser

图 4. 固体激光器

3. 新型二维材料在固体激光器中的应用研究

3.1. 新型二维材料在固体激光器中的应用优势

新型二维材料中很多材料都具备不错的光电性能, 本文将简单介绍石墨烯、过渡金属硫系化合物、拓扑绝缘体、黑磷在激光器中的应用优势。

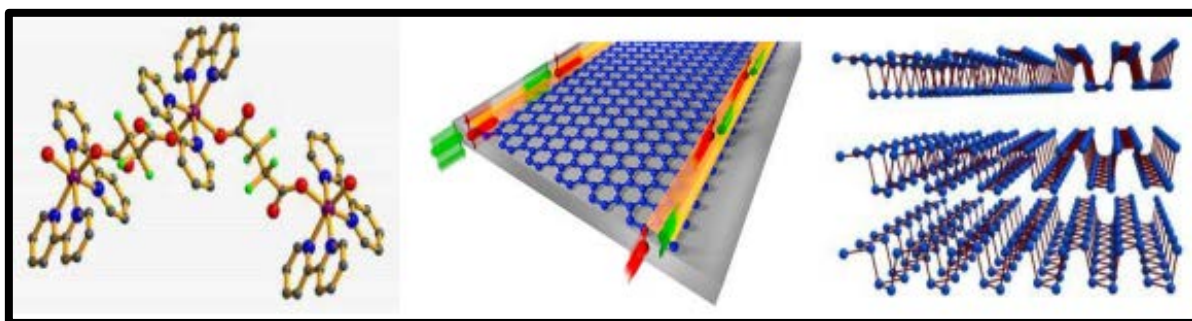


Figure 5. Structure of Transition metal sulfur compound, Topological insulators and black phosphorus
图 5. 过渡金属硫系化合物, 拓扑绝缘体和黑磷结构图

石墨烯具有非常不多的电子传输特性[15],也是迄今为止技术范围内已知的具备导电性和电光效率的光电材料。其他三种都具有较为不错的应用价值,无论是过渡金属硫系化合物、拓扑绝缘体还是黑磷都有应用在固态激光器中的价值,如图5所示,详见表2新型二维材料性能分析对比。

Table 2. Comparison of performance analysis of new two-dimensional materials

表 2. 新型二维材料性能分析对比

	晶体结构	材料特性	技术难点
石墨烯(GN)	单层碳原子 SP ² 杂化轨道组成的规则的六边形结构	导电性:电子迁移率是 Si 的 100 倍,电导率:106 S·m ⁻¹ 光电性能:紫外 - 可见 - 红外 - 太赫兹波段具有共振光学反应	零带隙电子结构导致其具有较短的载流子寿命
拓扑绝缘体(TI)	狄拉克锥结构,结构与石墨烯相似	导电性:内部绝缘、表面导电 目前得到印证的强拓扑绝缘体有 Sb ₂ Se ₃ 、Sb ₂ Te ₃ 等	费米子系统分类尚未完善
过渡金属硫化物(TMDCs)	反演对称性晶体结构	近红外波段具有激子发光特性,晶体结构带隙可以调节,较为灵活,开关比为 10 ⁶	常温下过渡金属硫化物的电子迁移率较低,导电性不佳
黑磷(BP)	磷(P)在二维平面紧密挤压形成的蜂窝状结构	晶体结构带隙可以调节,二次对称性结构导致其具有各向异性光电特性	抗激光损伤阈值和稳定性不高

3.2. 新型二维材料在固体激光器中的应用中需要解决的问题

新型二维材料并未在固体激光器领域中得到非常广泛的应用,其原因也显而易见,尽管材料的性质较为优越,但是尚未找到一款兼备导电性能、光学性能和长寿命的新型二维材料[16]。

以石墨烯为例,其导电性和光导率致使其非常适合运用到固体激光器中,但是因为电子结构的原因,其使用寿命不如黑磷、过渡金属硫化物。同时目前石墨烯的使用仍然停留在实验室阶段,尽管目前石墨烯在电子设备上得到应用和推广,但是其借助的都是石墨烯的导电性和热传导性能,其光电性能并没有得到广泛的应用[17]。目前石墨烯的制备方式是胶带法剥离如图6(Geim, Novoselov 等人提出),其发展时间在十五年左右,因此仍需要很长一段时间积淀技术。

4. 新型二维材料在固体激光器中的应用的未来展望

新型二维材料是人工合成,因此在原子组成和分子结构上具有非常的可塑性,但是就目前的情形来看,因为技术实力仍然不完备,导致新型二维材料在性能上仍有非常大的进步空间[18]。科研部门和大学研究所也应当加强科技创新力度,加强新型二维材料的研究,并且加大相关专业的技术人员和科研人员的培养,促进新型二维材料的质的突破和光电行业的不断发展。因为目前很多研究还是针对实验室内开

展, 所以将新型二维材料运用到固体激光器中仍然有很大的实施难度[19], 但是一旦实现必定是光电行业的历史性突破。

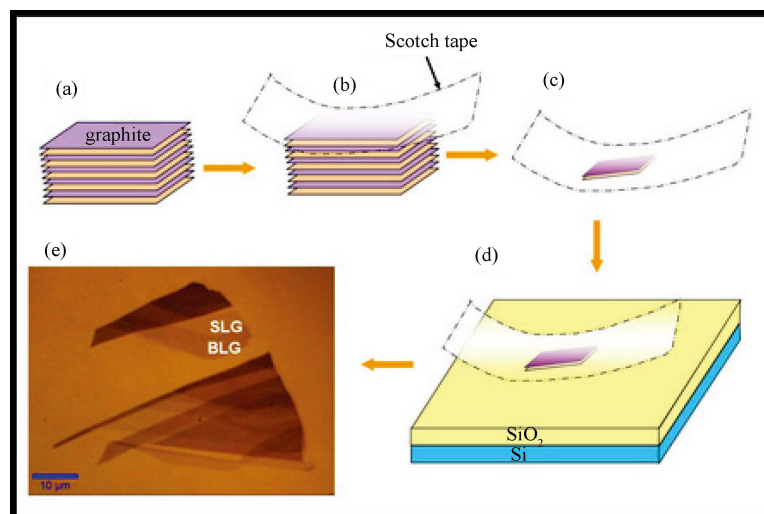


Figure 6. Stripping method for preparing graphene
图 6. 胶带法剥离制备石墨烯

5. 结语

总而言之, 激光在生活中的作用愈发重要, 因此采用新技术提升激光器的效率和光线质量也是势在必行。因为新型材料的化学特性独特, 导电性和导热性都非常不错, 将成为当代固体激光器改革的重要基石。但正是因为技术的领先性也导致新型二维材料在光电行业的应用困难重重, 所以更需要加强技术研究, 待到技术成熟以后, 势必会引起光电行业的大革新和大变动[20]。无论是激光器生产厂家还是科研院所, 都应当对新型二维材料在固态激光器中的应用抱以孜孜不倦的研究[21] [22], 以实现技术的改革和技术的进步。

参考文献

- [1] 公爽, 田金荣, 李克轩, 郭于鹤洋, 许昌兴, 宋晏蓉. 新型二维材料在固体激光器中的应用研究进展[J]. 中国光学, 2018, 11(1): 18-30.
- [2] Dávila, M.E., Xian, L. and Cahangirov, S. (2014) Germanene: A Novel Two-Dimensional Germanium Allotrope Akin to Graphene and Silicene. *New Journal of Physics*, **16**, 3579. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/16/9/095002>
- [3] Hu, M., Zhang, N., Shan, G., Gao, J., Liu, J. and Li, R.K.Y. (2019) Graphene and Other Two-Dimensional Materials. *Frontiers of Physics*, **14**, 13301. <https://doi.org/10.1007/s11467-018-0835-6>
- [4] Chen, J., Bailey, C.S., Hong, Y., Wang, L., Cai, Z., Shen, L., Hou, B., Wang, Y., Shi, H., Sambur, J., Ren, W., Pop, E. and Cronin, S.B. (2019) Plasmon-Resonant Enhancement of Photocatalysis on Monolayer WSe₂. *ACS Photonics*, **6**, 787-792. <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.9b00089>
- [5] 肖宜明. 新型二维电子气材料多层石墨烯和单层二硫化钨光电特性的理论研究[D]: [博士学位论文]. 昆明: 云南大学, 2017.
- [6] 栾超. 基于新型二维材料和半导体可饱和吸收体的全固态中红外 2 μm 波段调 Q、双调 Q 及锁模激光特性研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.
- [7] 舒首衡, 闫娟娟, 郑铮, 胡薇薇. 空间激光通信中湍流信道光束传输仿真[J]. 光散射学报, 2007, 19(1): 79-85.
- [8] 王勉镜, 龚卓, 虎立军. 等 3 不同波长半导体激光刀临床应用的初步探讨[J]. 中国激光医学杂志, 2000, 9(3): 196.
- [9] 蒋丽娟, 朱道伟. 空间激光通信技术及其发展[C]//光学学术会议论文集, 中国科学技术协会, 1999.

- [10] Wang, J.Y. and Bi, R.F. (2014) Optical Fiber Coupling Technology in Infrared Laser Illuminator. *Science Technology and Engineering*, **14**, 200-205.
- [11] Zhu, Y.Q., Xu, M.Q., Zhang, Z.Y., Zhao, J.L., Huang, X.Y., Pan, W.C., Zhang, J. and Gong, F.Y. (2015) Study on Light Spot Homogenization in Fiber-Optic Illumination System. *Fiber Glass*, **2**, 29-34.
- [12] 王德, 李学千. 半导体激光器的最新进展及其应用现状[J]. 光学精密工程, 2011, 9(3): 279-283.
- [13] 刘均海. 高功率半导体激光器端面抽运连续固体激光器谐振腔的设计[J]. 中国激光, 2000, 27(1): 7-10.
- [14] 刘艳格, 冯新焕, 董孝义. 室温稳定多波长光纤激光器技术的研究新进展[J]. 中国激光, 2007, 34(7): 883-894.
- [15] Zhou, G., Li, L., Ma, C., Wang, S., Shi, Y., Koratkar, N., Ren, W., Li, F. and Cheng, H.M. (2015) A Graphene Foam Electrode with High Sulfur Loading for Flexible and High Energy Li-S Batteries. *Nano Energy*, **11**, 356-365. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.11.025>
- [16] Atkin, P., Daeneke, T., Wang, Y., Carey, B.J., Berean, K.J., Clark, R.M., Ou, J.Z., Trinch, A., Cole, I.S. and Kalantar-Zadeh, K. (2016) 2D WS₂/Carbon Dot Hybrids with Enhanced Photocatalytic Activity. *Journal of Materials Chemistry A*, **4**, 13563-13571. <https://doi.org/10.1039/C6TA06415A>
- [17] Marco, B., Can, A., Maurizia, P. and Grossman, J.C. (2017) Optical and Electronic Properties of Two-Dimensional Layered Materials. *Nanophotonics*, **6**, 30-45. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2015-0030>
- [18] Yuan, M., Quan, L.N., Comin, R., Walters, G., Sabatini, R., Voznyy, O., Hoogland, S. and Zhao, B. (2016) Tailoring the Energy Landscape in Quasi-2D Halide Perovskites Enables Efficient Green-Light Emission. *Nature Nanotechnology*, **11**, 872. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.110>
- [19] Song, J., Xu, L., Li, J., Xu, J., Dong, Y., Li, X. and Zeng, H. (2016) Monolayer and Few-Layer All-Inorganic Perovskites as a New Family of Two-Dimensional Semiconductors for Printable Optoelectronic Devices. *Advanced Materials*, **28**, 4861. <https://doi.org/10.1002/adma.201600225>
- [20] Wang, J., Zhang, X.Y., Zhang, S.F., Zhao, P.J. and Zhang, L. (2017) Research Progress of Two-Dimensional Nonlinear Optical Materials and Devices. *Chinese Journal of Lasers*, **44**, Article ID: 0703004. <https://doi.org/10.3788/CJL201744.0703004>
- [21] Tolstik, N., Sorokin, E. and Sorokina, I. (2014) Graphene Mode-Locked Cr: ZnS Laser with 41 fs Pulse Duration. *Optics Express*, **22**, 5564. <https://doi.org/10.1364/OE.22.005564>
- [22] Li, J., Luo, H., Zhai, B., Lu, R., Guo, Z. and Zhang, H. (2016) Black Phosphorus: A Two-Dimension Saturable Absorption Material for Mid-Infrared Q-Switched and Mode-Locked Fiber Lasers. *Scientific Reports*, **6**, 30361. <https://doi.org/10.1038/srep30361>