

径向偏振光研究的最新进展

崔祥霞,陈君,杨兆华

(泰山学院物理与电子科学系,山东 泰安 271021)

提要:径向偏振光作为一种轴对称的偏振光引起了众多学者的浓厚兴趣,通过对近年来国内外对径向偏振光研究现状的分析,本文综述了径向偏振光的特性、理论发展、产生方法以及应用等方面的研究,并展望了其发展前景。

关键词:径向偏振光;圆对称光束;二元衍射光栅;螺旋相位器件

中图分类号:O436.3

文献标识码:A

文章编号:0253-2743(2009)02-0007-04

Research progress on radially polarized beam

CUI Xiang-xia, CHEN Jun, YANG Zhao-hua

(Department of Physics and Electronic Science, Taian, Shandong 271021, China)

Abstract: Considerable interest has developed in the radially polarized beam with axial symmetry. Based on reviewing recent work, the optical properties, theoretical development, generation methods and applications were summarized. Furthermore, the prospect of their applications is discussed.

Key words: radially polarized beam; cylindrical symmetric beam; binary diffraction grating; spiral phase element

偏振是电磁波最基本的特征之一,常见的偏振光有线偏振光、圆偏振光以及椭圆偏振光。而最近人们开始对一种具有轴对称偏振的激光束产生了极大的兴趣,这就是径向偏振光和角向偏振光。对于这两种偏振态的定义为^[1]如果场中的每个点的电场矢量相对矢径方向的旋转角度为 ϕ ,则该点的电场强度一般表示为 $\vec{E}(r, \theta) = E_0(r) [\vec{r} \cos \phi + \vec{\theta} \sin \phi]$,其中 $\vec{r}$ 为径向的单位矢量, $\vec{\theta}$ 是角向(切向)的单位矢量,当 $\phi = 0$ 时,表示径向偏振矢量;当 $\phi \neq 0$ 时,为角向偏振矢量。从定义来看径向偏振光是关于传播光轴对称的,如图1所示:

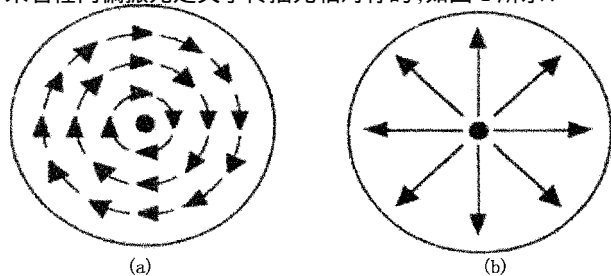


图1(a)角向偏振光(b)径向偏振光

由于径向偏振光完美的轴对称分布,使得它与线偏振光和圆偏振光相比有着许多显著不同的特性。比如径向偏振光具有沿光轴对称的电场分布以及中空圆环型光束结构;只有横向的磁场和沿轴的纵向的电场;并且径向偏振光和角向偏振光都是偏振本征态,它们在C切向晶体中传播时,不会发生串扰;径向偏振光在高数值孔径透镜聚焦时可以产生超越衍射极限的极小得焦点,比线偏振光和圆偏振光的聚焦点小得多,而且焦点区域的纵向电场变得非常强。近年来人们对径向偏振光的这一聚焦特性进行了大量的理论计算模拟和实验^[2-9]。近年来径向偏振光的这些特性得到了很多新的应用,例如在引导和捕捉粒子^[10-12]、粒子加速^[13,14]、提高显微镜的分辨率^[15-17]、金属切割^[18,19]以及提高存储密度^[20]等方面,随着人们对径向偏振光的不断认识,它将在越来越多的方面得到应用。

1 径向偏振光的理论研究

自从径向偏振光被发现以来,由于其独特的性质,吸引了众多学者从理论上对其进行了大量研究,大部分的文章集中在近两年。

1.1 国内的研究现状

华南师大的邓冬梅^[21]等人研究了拉盖尔部分为复数的

径向偏振复宗量光束,利用矢量瑞利-索末菲公式分析并计算了在自由空间中径向偏振复宗量光束的离轴和傍轴传播性质,研究表明径向偏振复宗量光束的电场分布在任何传播位置都保持径向偏振状态。在另一篇文章中^[22]她利用矢量角谱理论,分析了径向偏振光的矢量结构,计算了径向偏振光的能通量分布,通过分析她认为径向偏振光的电磁场完全由横向磁场和沿轴向的纵向电场组成,没有横向的电场和纵向的磁场。上海理工大学的郭汉明^[23]等人推导出了在各向同性媒质中任意偏振电磁波的矢量平面波谱公式,这个公式是由TM模和TE模的平面波谱构成的,其中振幅和所有的平面波谱的单位偏振方向是可分离的,使得它比以前的平面波谱公式更容易应用,另外还导出了适于具有圆对称结构的任意偏振电磁波的傅立叶-贝塞尔变换对。温州大学的张耀举等人^[24]利用矢量瑞利衍射积分法,推导出了径向偏振高斯光束被轴锥体衍射的矢量场分布的解析式,理论分析和模拟计算表明当用径向偏振高斯光束照明轴锥体时衍射场的径向成分是传播恒定的一阶贝塞尔光束,当轴锥体的张角和折射率较大时纵向成分与此有关,对于较小的张角和折射率纵向成分可以忽略,这时可以用标量理论近似。

1.2 国外的研究现状

比利时的Peter Muysl^[25]等人对圆对称光束(径向偏振、角向偏振)沿C切向单轴晶体的传播进行了研究,用角谱理论模拟了具有轴对称的偏振光在C切向单轴晶体中的传播,结论表明径向偏振光和角向偏振光都是偏振本征态,这两种偏振态在光束传播过程中不会产生串扰,即在C切向单轴晶体中传播时偏振本征态的偏振度不会变,并且能保持光束横截面的形状。沙迦的Yousef I^[26]推导了径向偏振高斯光束束紧密聚焦场的解析表达式,并算出了非傍轴条件下的光束能量分布。

2 径向偏振光的产生方法

世界上第一束径向偏振光是由日本的Mushiake^[27]在1972年通过实验得到的,在国内1985年由中科院高能物理研究所的庄杰佳^[28]利用四块扇形的半波片胶合成的光学元件第一次产生了径向偏振光,这几乎是唯一一篇可查到的关于径向偏振光的中文研究性论文。虽然径向偏振光被发现了已经三十多年,但由于起初人们并没有真正了解它的特性而一直不被科研工作者所关注,最近几年当人们注意到其非凡的优点时,纷纷寻找各种有效的方法来产生径向偏振光。径向偏振光产生的方法可以分为两类:即腔内法和外部转化法。腔内法大体有这么几种:在激光腔内热致双焦点平面上放置小孔来选择偏振的模式^[29];在光纤激光器中用双重圆锥棱镜来产生径向偏振光^[30];在激光腔内用不连续相位器件产生径向和角向偏振光^[31];在腔内放具有轴向偏振选择性的(22%)的亚波长衍射器件来产生径向偏振光^[32]。但在腔内放置特殊的器件并不都是可行的,因为对现有的激光器

收稿日期:2009-02-08

作者简介:崔祥霞(1982-),泰山学院物理与电子科学系教师,主要研究方向——偏振光学。

进行改造设计是一项十分复杂的技术。另外一种可选的方法就是外部转化法:用四块四分之一扇形线偏振方向都指向外的半波片组成一个圆形器件^[28,33,34],用它产生近似的径向偏振光;对这一方法的改进是由四块扇形半波片变为八块半波片,这样使产生的光更接近完美的径向偏振光^[35];利用扭转向列液晶偏振转换器产生径向偏振光^[36,37];利用螺旋型双折射晶体模拟空间变换的光旋^[1,38];利用干涉仪相干叠加两束偏振方向相互垂直的(TEM_{01} 和 TEM_{10})线偏振光得到径向偏振光^[39,40]。下面详细介绍几种常见的径向偏振光的产生方法:

2.1 利用八块扇形半波片构成的空间变换延迟器^[35]

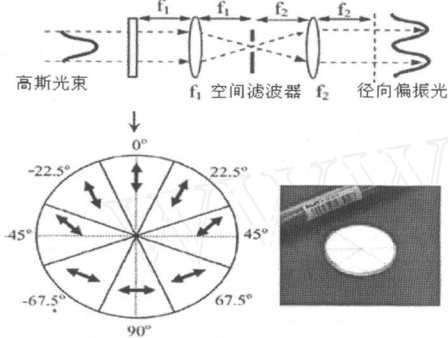


图2 分块的延迟器及光学系统

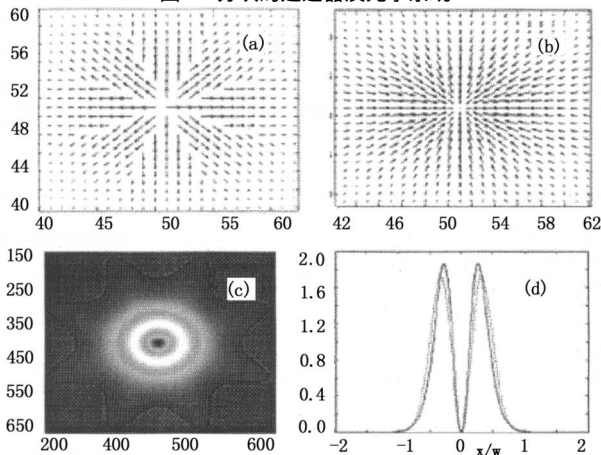


图3 变换后的径向偏振态及能量分布

如图2所示,这是以色列的Machavariani等人改进后的空间变换延迟器,它是由八块扇形的半波片拼接在一起的,每一块双折射晶体的慢轴都指向不同的方向,慢轴的方向在图中用箭头表示,这样的延迟器近似一个连续的元素,比起其他方法来具有设计简单,操作方便,不需要很高的调节精度等优点,利用这种器件可以将高斯光束转化为高纯度的径向和角向偏振的拉盖尔-高斯(0,1)模的光束。当线性偏振的高斯光束通过延迟器时,每一块半波片都会将偏振方向转移不同的角度,以便使偏振沿径向方向,通过琼斯矩阵计算得出了通过延迟器后的偏振分布(如图3a),除了不同分块边缘的结合部分以外,其他部分都十分接近理想的径向偏振分布,图3b给出了相应远场的偏振分布,图3c是通过近场光束的傅立叶变换计算得到的远场的能量分布,这个远场的能量分布十分接近理想的拉盖尔-高斯(0,1)模的圆环状分布,但在中心圆环周围有一个细微的八角星型晕轮,很明显这是由八块结构的空间变换延迟器产生的,图3d是远场能量分布的截面图,实线是由这个器件产生的能量分布截面图,虚线表示理想拉盖尔-高斯(0,1)模的能量分布截面图,这两者十分吻合。但图3c中的八角星状晕轮包含大约百分之十的能量,可以通过图2中的光学系统,在其频谱面上放置一个空间低通滤波器将其高频部分滤掉,在其能量分布图

上便可去掉晕轮。图4给出了各个过程中光能量的分布,图4a是在延迟器内的高斯光束,图4b是光束经延迟器后几厘米远处的能量分布,图4c是没有滤波的径向偏振光远场的能量分布,图4d是经过滤波后的远场能量分布,这个结果十分接近纯粹的径向偏振拉盖尔-高斯(0,1)模的光束。

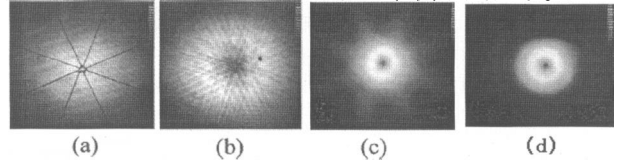


图4 实验得到的径向偏振光强分布

2.2 利用线双折射晶体制作的螺旋位相器件^[1,38]

南洋理工大学利用线双折射晶体制作螺旋型的延迟器件,用来模拟圆双折射的旋光性,附加一个半波片和两个四分之一波片来实现将线偏振光转化为径向偏振光。如图5所示,它是一个随角度变化的螺旋状位相器件,当偏振光经过延迟器时分布在不同位置的偏振光被延迟了不同的位相,进而改变不同位置的偏振状态。首先线偏振光经过一个半波片用来调整线性偏振光的偏振方向,这样可以降低对螺旋位相板精度的要求,光经过第一个四分之一波片时变为圆偏振光,关于圆偏振光在空间中传播的偏振态如图5所示,在一个周期内偏振方向沿不同的方向,如果能将这一个周期内的不同偏振方向压缩在一个平面上,这样就可以得到径向偏振光,图5中的这个螺旋位相器件正是起到这个作用,它通过控制不同角度方向上的厚度延迟不同角度的偏振,使其压缩到同一时刻的振动面上,从而得到径向的偏振光。

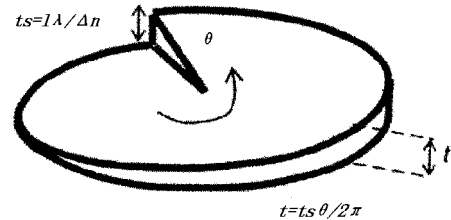


图5 螺旋位相器件

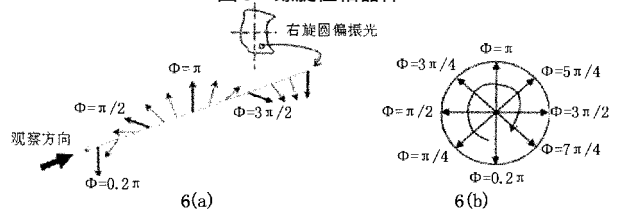


图6 一个周期内圆偏振光电场分布(a)及压缩到一个平面上的设想(b)

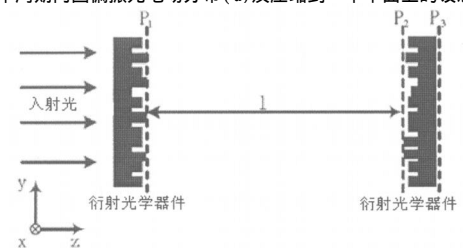


图7 位相衍射器件

2.3 用衍射光学器件实现径向偏振光

中科院物理所的牛春辉等人^[41]在双折射材料上制作了两个位相衍射器件如图7所示,第一个位相衍射器件将线偏振的 TEM_{01} 模分成o光和e光,这两束光具有相互垂直的偏振方向,第二个位相衍射器件是用来补偿由第一个器件造成的o光和e光的位相差,然后在迭加这个器件调制的o光和e光便可以得到径向偏振光。其原理示意图如图8所示。

除此之外,瑞士的 Moser^[42]等人在激光腔的后反射镜上制作了一个二元电介质衍射光栅,它可以实现对 TE 模和 TM 模的反射选择,使 TE 偏振反射遭到削弱,而 TM 模的偏振反射加强,最后在激光腔内产生 TM 模偏振的振荡。

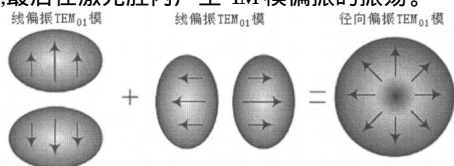


图 8 迭加两个偏振垂直的 TEM01 模产生径向偏振光

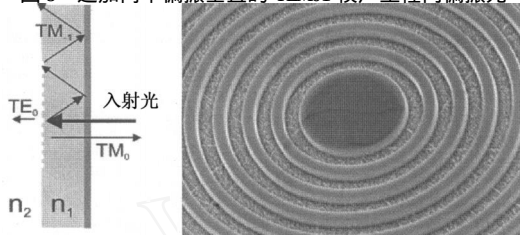


图 9 二元衍射光栅以及模式选择示意图

2.4 干涉法产生径向偏振光

如图 10 为两种借助干涉仪产生径向偏振的方法,图 10a 为利用 Sagnac 干涉仪附加道威尔棱镜、角型反射器等产生径向偏振光^[40]。图 10b 利用 Mach-Zehnder 干涉仪以及半波片产生径向偏振光^[39]。借助干涉仪产生径向偏振光是根据图 8 的原理设计的,首先是用分束器将 TEM01 模分成两束,然后用半波片将它们的偏振方向调整成相互垂直的偏振,最后在干涉仪的输出端迭加而产生径向偏振光。

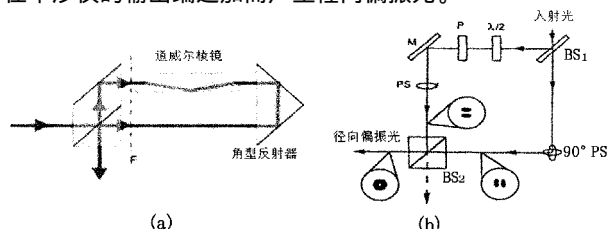


图 10 利用萨尼亚克干涉 (a)、马赫-增德尔干涉仪 (b) 产生径向偏振光

2.5 其他的一些方法

日本人^[30]采用了双重圆锥棱镜在掺镜的双包层光纤激光器中产生了径向偏振光,如图 11 所示,在一条两米的光纤激光器中得到了 6.2 毫瓦的径向偏振光,这也是首次在光纤激光器中得到径向偏振光,后来又用单个圆锥体在光纤激光器中产生了径向偏振光^[43]。以色列的 Moshe 等人^[29]利用径向偏振光和角向偏振光在热应力各向同性的激光棒中的聚焦不同,改进了 Nd:YAG 激光腔,用来产生单一偏振的低损耗稳定的振荡,由于激光腔内的热透镜和双折射相结合产生热致双折射效应,对于径向偏振光和角向偏振光来说它们的焦点不同,在它们的聚焦面上放置一个小孔,用来选择需要的偏振模式,抑制另外一种偏振模式。另外也有用液晶^[37]的方法产生径向偏振光,不过这一般只能用于低功率的产生。

3 径向偏振光的应用

3.1 牵引、捕获和加速金属粒子

普遍认为金属粒子由于具有很强的散射和吸收作用是很难被捕捉到,而径向偏振光做光源的光镊可以在三维空间中稳定的捕捉金属粒子。由于高度聚焦的径向偏振光束有非常强的轴向成分,它可以提供较大的梯度力,同时对沿光轴方向的坡印廷矢量没有贡献,因此它不会产生轴向的散射和吸收作用,文献^[11]用径向偏振光进行了捕捉金属瑞利粒子的实验。文献^[10]利用聚焦的径向偏振光束捕捉到大约

10^8 个原子,并维持了 150ms 的时间。径向偏振光由于其聚焦点处径向电场矢量非常强,在文献^[20]中利用聚焦的径向偏振光将电子加速到千兆电子伏特。

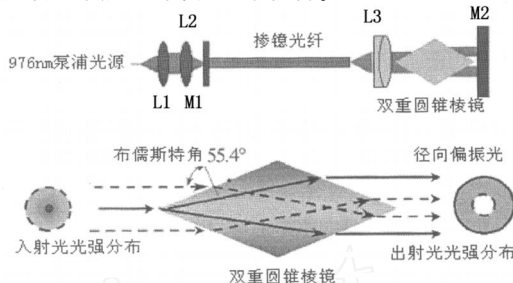


图 11 利用双重圆锥棱镜在光纤激光器中产生径向偏振光

3.2 提高纵向分辨率

在高数值孔径透镜聚焦下,径向偏振光可以聚焦到突破衍射极限的 $0.16\lambda^2$ 大小的尺寸,这比线偏振光和圆偏振光聚焦的最小尺寸 $0.26\lambda^2$ 要小得多^[2],并且径向偏振光产生的焦点其纵向电场成分非常强,对于径向偏振光的聚焦已有很多文章从理论和实验方面进行了讨论^[3-5]。鉴于径向偏振光的这种聚焦特性在文献^[16,17]中利用径向偏振光来优化扫描光学显微镜的探针,在文献^[44]中用径向偏振光代替线偏振光用作增强拉曼光谱技术中的针尖,文中分析得出径向偏振光用于显微探针有潜力达到原子尺寸量级的分辨率。在文献^[4]中讨论了数值孔径对偏振光的影响,分析认为对数值孔径低于 0.8 的聚焦系统,圆偏振光可以得到很好的聚焦,而对于数值孔径大于 0.8 时,径向偏振光是最好的选择。

3.3 切割金属

径向偏振激光束由于自身的轴对称性,在切割金属时要比线偏振光和圆偏振光切割效率高 1.5 到 2 倍^[18,19]。

3.4 提高光学存储的密度^[20]

径向偏振光在近场光学聚焦面上能产生比圆偏振光更强的纵向电场以及更小的聚焦点,这种特性可以用来缩小在存储面上光点的尺寸以便增加光学存储的面密度。径向偏振光在介质表面产生的光点比圆偏振光小 20%,但是研究表明在介质层堆中纵向的电场矢量峰值密度锐减并且其横向成分占主要地位,这就使得径向偏振光不适合用于近场记录系统,但可以用于近场只读系统。

对于径向偏振光的研究虽然才刚刚开始,但由于具有诸多的优点,使其在捕获和加速金属粒子和提高分辨率、存储密度以及切割金属效率等领域展现出了重大的潜在应用价值。相信通过对径向偏振光更加深入的研究以及新的性质不断被发现,径向偏振光将具有更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] K.J. Moh, X. - C. Yuan, et al. Generating radial or azimuthal polarization by axial sampling of circularly polarized vortex beams [J]. App. Opt., 2007, 46(30): 17544 - 1751.
- [2] R. Dorn, S. Quabis and G. Leuchs. Sharper Focus for a Radially Polarized Light Beam [J]. Phys. Rev. Lett., 2003, 91 (23): 233901 - 233904.
- [3] S. Quabis, R. Dorn, M. Eberler, et al. Focusing light to a tighter spot [J]. Opt. Comm., 2000, 179(1 - 6): 1 - 7.
- [4] T. Gosjean, D. Courjon. Smallest focal spots [J]. Opt. Comm., 2007, 272(2): 314 - 319.
- [5] I. Cooper, M. Roy, C.J. Sheppard. Focusing of pseudoradially polarized beam [J]. Opt. Express, 2005, 13(4): 1066 - 1071.
- [6] Nir Davidson, Nandor Bokor. High - numerical - aperture focusing of radially polarized doughnut beams with a parabolic mirror and a flat diffractive lens [J]. Opt. Lett., 2004, 29(12): 1318 - 1320.
- [7] Bing Hao, James Leger. Experimental measurement of longitudinal component in the vicinity of focused radially polarized beam [J]. Opt. Express, 2007, 15(6): 3550 - 3556.
- [8] Yuichi Kozawa, Shunichi Sato. Focusing property of a double - ring - shaped radially polarized beam [J]. Opt. Lett., 2006, 31(6): 820 -

- 822.
- [9] Yuichi Kozawa, Shunichi Sato. Sharper focal spot formed by higher - order radially polarized laser beams [J]. JOSA A, 2007, 24(6) :1793 - 1798.
- [10] Yukiko Shimizu, Hiroyuki Sasada. Novel optical trap of atoms with a doughnut beam [J]. Phys. Rev. Lett., 1997, 78(25) :4713 - 4716.
- [11] Qiwen Zhan. Trapping metallic Rayleigh particles with radial polarization [J]. Opt. Express, 2004, 12(15) :3377 - 3382.
- [12] Hikaru Kawauchi, Kazuhiro Yonezawa, et al. Calculation of optical trapping forces on a dielectric sphere in the ray optics regime produced by a radially polarized laser beam [J]. Opt. Lett., 2007, 32(13) : 1839 - 1841.
- [13] Salamin, Yusef I. Mono - energetic Gev electrons from ionization in a radially polarized laser beam [J]. Opt. Lett., 2007, 32(1) :90 - 92.
- [14] Devki Nandan Gupta, Niti Kant. Electron acceleration to Gev energy by radially polarized laser [J]. Phys. Lett. A., 2007, 368(5) :402 - 407.
- [15] C. J. R. Sheppard, A. Choudhury. Annular Pupils, Radial Polarization, and Superresolution [J]. Appl. Opt., 2004, 43(22) :4322 - 4327.
- [16] Kouyou Watanabe, Nobuhiro Horiguchi, et al. Optimized measurement probe of the localized surface Plasmon microscope by using radially polarized illumination [J]. Appl. Opt., 2007, 46(22) :4985 - 4990.
- [17] Weibin Chen, Qiwen Zhan. Numerical study of an apertureless near field scanning optical microscope probe under radial polarization illumination [J]. Opt. Express, 2007, 15(7) :4106 - 4111.
- [18] V. Niziev, A. Nesterov. Influence of beam polarization on laser cutting efficiency [J]. J. Phys. D., 1999, 32(13) :1455 - 1461.
- [19] M. Meier, V. Romano, T. Feurer. Material processing with pulsed radially and azimuthally polarized laser radiation [J]. Appl. Phys. A., 2007, 86(3) :329 - 334.
- [20] Wan - Chin KIM, No - Cheol PARK. Investigation of near - field imaging characteristics of radial polarization for application to optical data storage [J]. Opt. Rev., 2007, 14(4) :236 - 242.
- [21] D. Deng, Q. Guo, L. Wu, and X. Yang. Propagation of radially polarized elegant light beams [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2007, 24(3) : 636 - 643.
- [22] Deng D, Guo Q. Analytical vectorial structure of radially polarized light beams [J]. Opt. Lett., 2007, 32(18) :2711 - 2713.
- [23] H. Guo, J. Chen, and S. Zhuang. Vector plane wave spectrum of an arbitrary polarized electromagnetic wave [J]. Opt. Express, 2006, 14(6) : 2095 - 2100.
- [24] Y. Zhang, L. Wang, and C. Zheng. Vector propagation of radially polarized Gaussian beams diffracted by an axicon [J]. J. Opt. Soc. Am. A, 2005, 22(11) :2542 - 2546.
- [25] Peter Muys, Tobias Moser, T. Feurer. Polarization eigenstates of an axially symmetric laser beam in a c - cut uniaxial crystal [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2007, 24(10) :2627 - 2631.
- [26] Y. I. Salamin, Fields of a radially polarized Gaussian laser beam beyond the paraxial approximation [J]. Opt. Lett., 2006, 31(17) :2619 - 2621.
- [27] Mushiaki, Y. Matsumura, K. Nakajima, N. Generation of Radially Polarized optical beam mode by Laser oscillation [J]. Proc. IEEE., 1972, 60(9) :1107 - 1109.
- [28] 庄杰佳等. 径向偏振分布激光场的理论分析和实验验证 [J]. 物理学报, 1985, 34(6) :752 - 759.
- [29] Inon Moshe, Steven Jackel, Avi Meir. Production of radially polarized or azimuthally polarized beams in solid - state laser and the elimination of thermally induced birefringence effect [J]. Opt. Lett., 2003, 28(10) :807 - 809.
- [30] Jian - lang Li, Ken - ichi Ueda. Generation of radially polarized mode in Yb fiber laser by using a dual conical prism [J]. Opt. Lett., 2006, 31(20) :2969 - 2971.
- [31] Ram Oron, Shmuel Blit, Nir Davidson, et al. The formation of laser beams with pure azimuthal or radial polarization [J]. Appl. Phys. Lett., 2000, 77(21) :3322 - 3324.
- [32] Nesterov A. V., Niziev V. G., Yakunin V. P. Generation of high - power radially polarized beam [J]. J. Phys. D: Appl. Phys., 1999, 32(22) :2871 - 2875.
- [33] I. J. Cooper, M. Royl, C. J. R. Sheppard. Focusing of pseudoradial polarized beams [J]. Opt. Express, 2005, 13(4) :1066 - 1071.
- [34] S. Quabis, R. Dorn, G. Leuchs. Generation of a radially polarized doughnut mode of high quality [J]. Appl. Phys. B, 2005, 81(5) :597 - 600.
- [35] G. Machavariani, Y. Lumer, I. Moshe, et al. Efficient extracavity generation of radially and azimuthally polarized beams [J]. Opt. Lett., 2007, 32(11) :1468 - 1470.
- [36] M. Stalder. Linearly polarized light with axial symmetry generated by liquid - crystal polarized converters [J]. Opt. Lett., 1996, 21(23) : 1948 - 1950.
- [37] Hongwen Ren, Yi - Hsin Lin, Shin - Tson Wu. Linear to axial or radial polarization conversion using a liquid crystal gel [J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 89(5) :051114 - 1 - 3.
- [38] P. B. Phua, W. J. Lai, Yuan Liang Lim, et al. Mimicking optical activity for generating radially polarized light [J]. Opt. Lett., 2007, 32(4) :376 - 378.
- [39] Steve C. Tidwell, Dennis H. Ford, Wayne D. Kimura. Generating radially polarized beams interferometrically [J]. Appl. Opt., 1990, 29(15) :2234 - 2240.
- [40] V. G. Niziev, R. S. Chang, A. V. Nesterov. Generation of inhomogeneously polarized laser beams by use of a Sagnac interferometer [J]. Appl. Opt., 2006, 45(33) : 8393 - 8399.
- [41] Chun - Hui Niul, Ben - Yuan Gul, et al. A new method for generating axially - symmetric and radially - polarized beams [J]. J. Phys. D: Appl. Phys., 2005, 38(6) :827 - 832.
- [42] Moser Tobias, Balmer J. U. et al. Intracavity generation of radially polarized CO₂ laser beams based on a simple binary dielectric diffraction grating [J]. Appl. Opt., 2006, 45(33) :8517 - 8522.
- [43] Jian - lang Li, Ken - ichi Ueda, Mitsuru Musha, et al. Converging - axicon - based radially polarized ytterbium fiber laser and evidence on the mode profile inside the gain fiber [J]. Opt. Lett., 2007, 32(11) : 1360 - 1362.
- [44] Norihiko Hayazawa, Yuika Saito, Satoshi Kawata. Detection and characterization of longitudinal field for tip - enhanced Raman spectroscopy [J]. Appl. Phys. Lett., 2004, 85(25) :6239 - 6241.

会 讯

LASER 2009 Beijing 第十九届全国激光学术会议征文通知:

一、会议时间

会议将于 2009 年 10 月中旬在北京召开。

二、征文时间

作者请于 2009 年 6 月 30 日前,将 500 - 800 字的论文摘要(用于审稿)和 300 字提要(用于出版)各一份,发文 Laser 2009 @ncrrio.com.cn 来稿时请附第一作者的详细通讯地址、单位、电话、职务、职称等。经审稿录用或参加会议交流的论文将推荐给机关核心期刊出版。

三、会议咨询:李燕兰 电话:010 - 84321070

传真:010 - 64362779、电子邮箱:kjc@ncrrio.com.cn

投稿咨询:林晓明 电话:010 - 84321112