

# 基于布里渊区谱的二维光子晶格线性缺陷模式分析\*

刘 圣 张 鹏 肖发俊 甘雪涛 赵建林†

(西北工业大学理学院光信息科学与技术研究所, 陕西省光信息技术重点实验室, 西安 710072)

(2008 年 11 月 11 日收到, 2008 年 12 月 16 日收到修改稿)

结合均匀光子晶格的衍射关系和晶格中正负缺陷的布里渊区谱特性, 探讨了光诱导二维光子晶格中线性缺陷模式的形成条件, 对布里渊区中各点的缺陷模式进行了模拟分析, 并得到了光子带隙结构中“嵌入点” $X_1$  点的正、负缺陷模式. 结果表明, 对于二维缺陷, 只有当衍射关系曲面中沿两个正交的横向波矢方向同时为正常(反常)衍射的区域才能存在正(负)缺陷模式, 而对于一维缺陷, 只要在一个横向波矢方向上存在正常(反常)衍射的区域就可以支持正(负)缺陷模式, 因此在某些特殊点处, 正和负的缺陷模式可以同时存在.  $X_1$  点正缺陷模式的存在预示着自聚焦非线性同样可以支持带内孤子. 研究结果有助于对光子晶格中晶格孤子(特别是带内孤子)的理解和进一步研究.

关键词: 光诱导光子晶格, 光子带隙, 线性缺陷态

PACC: 4280L, 7820P, 7820W

## 1. 引 言

近年来, 光波在周期性光学离散系统(如光子晶格)中的线性与非线性传播过程得到了广泛的关注<sup>[1]</sup>, 如反常衍射<sup>[2]</sup>、负折射<sup>[3]</sup>、离散孤子和带隙孤子等<sup>[4-21]</sup>. 特别是在非线性光子晶格中, 空间光孤子已成为研究的热点之一. 当光束在非线性光子晶格中传播时, 其空间展宽同时受离散衍射和晶格非线性(如自聚焦或自散焦)的作用, 当两者达到平衡时, 光束便形成稳定的晶格孤子<sup>[4-21]</sup>. 从另一角度看, 由于自聚焦或自散焦效应, 光波会在光子晶格中引入正缺陷或负缺陷, 当光波本身恰好就是其自身诱导缺陷的传输模式时, 它将在光子晶格中以孤子态的形式传输, 因此晶格孤子可以看成是一种自洽的非线性缺陷模式<sup>[21]</sup>. 所以, 光子晶格中线性缺陷态的分析, 对晶格孤子的理论和实验研究具有重要的意义. 人们对光子晶体中的缺陷模式已有广泛的研究(如光子晶体光纤中布拉格反射造成空气孔纤芯的导光<sup>[22]</sup>), 这对光子晶格中的缺陷模式以及晶格孤子的研究都有很大的启发<sup>[23-27]</sup>. 特别是在光诱导光子晶格中, 人们不仅对高阶缺陷模式及其稳定性进

行了理论分析<sup>[23-25]</sup>, 并且对缺陷的导光特性以及缺陷模式也作了相应的实验研究<sup>[26-27]</sup>. 但有关理论分析大多只考虑到带隙边缘的缺陷模式, 却很少有人对带内“嵌入点”<sup>[11]</sup>的模式进行研究. 文献<sup>[24]</sup>通过计算得到了各种“嵌入”的缺陷模式, 但对这些模式缺乏相应的物理解释.

布里渊区谱是近年提出的一种探测光子晶格空间频谱特性的方法, 可用于研究光诱导光子晶格的结构以及光波在光子晶格(特别是带缺陷的光子晶格)中受到的调制作用<sup>[28]</sup>. 本文通过分析光诱导光子晶格的布里渊区谱特性, 探讨晶格中正、负缺陷模式的形成条件, 并在此基础上详细研究光子晶格中的一维和二维缺陷模式特性, 得到“嵌入点” $X_1$  点的两种缺陷模式.

## 2. 理论模型

光波在光诱导光子晶格中的传输过程可由光折变动力学方程组以及定态波动方程描述. 外电场作用下铌酸锶钽(SBN)晶体中的光致折射率变化主要起因于屏蔽光折变效应. 在稳态情况下, 当扩散和光伏效应可以忽略时, 光波在光诱导光子晶格中的线

\* 西北工业大学基础研究基金和西北工业大学博士论文创新基金(批准号: CX200514)资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: jlzhao@nwpu.edu.cn

性传输过程可由如下无量纲方程描述<sup>[9]</sup>：

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{i}{2}\nabla_{\perp}^2\right)B = iE_0 \frac{I}{1+I}B, \quad (1)$$

式中  $B$  表示探测光的复振幅分布,  $E_0$  为偏置电场,  $I$  为归一化强度, 是实际光强度与暗辐照光强度之比. 对于均匀光子晶格, 晶体中的折射率变化仅由阵列光写入, 此时  $I = I_1 = I_{10}\cos^2(\pi x/d)\cos^2(\pi y/d)$ , 其中  $I_{10}$  为阵列写入光的归一化峰值强度,  $d$  为写入光的周期. 光子晶格中的缺陷可以通过引入另一束光  $I_0$  进行诱导, 此时  $I = I_1 + I_0$ .

光子晶格中的线性传播模式可以表示为  $B(x, y, z) = u(x, y)\exp(i\beta z)$ , 其中  $\beta$  为传播常数. 代入 (1) 式可得

$$\left(\beta - \frac{1}{2}\nabla_{\perp}^2\right)u(x, y) = E_0 \frac{I}{1+I}u(x, y). \quad (2)$$

(2) 式为一个本征值-本征函数问题, 本征函数  $u(x, y)$  即为本征值  $\beta$  对应的光波传播模式. (2) 式可以通过平面波展开法<sup>[29]</sup>求解, 此时传播模式  $u(x, y)$  可以表示为  $u(x, y) = b(x, y)\exp[i(k_x x + k_y y)]$ , 其中  $k_x$  和  $k_y$  为横向波矢. 代入 (2) 式可得

$$\beta b(x, y) = E_0 \frac{I}{1+I}b(x, y) + \frac{1}{2}(\nabla_{\perp}^2 + i2k_{\perp} \cdot \nabla_{\perp} - k_{\perp} \cdot k_{\perp})b(x, y). \quad (3)$$

利用平面波展开法求解本征方程 (3) 就可以得到  $\beta-k_{\perp}$  的关系曲面 (即光子晶格中光波的衍射关系) 和光波模式.

### 3. 均匀光子晶格中的布洛赫模式

对于光诱导二维光子晶格 (取  $I_1 = 0.5\cos^2(\pi x/5)\cos^2(\pi y/5)$ ), 当光折变非线性表现为自聚焦 (取  $E_0 = 2$ ) 时, 阵列光波在晶体中诱导的光子晶格为图 1(a) 所示的“柱状”晶格, 自散焦时 (取  $E_0 = -2$ ) 则形成图 1(b) 所示的“脊状”晶格, 它们的布里渊区如图 1(c) 所示. 图 1(d) 为均匀光子晶格中衍射关系曲面在第一布里渊区内的简约布里渊区图, 呈带隙结构分布. 由于光子晶格在沿其晶格矢量方向上具有对称性, 图 1(d) 中的衍射关系曲面也沿倒格矢方向对称, 从而使  $X$  与  $Y$  点完全简并. 为简单起见, 这里只对  $X$  点进行讨论. 图 1(e) 为沿图 1(d) 中曲线所示方向的带隙二维分布图, 直观地显示了光子带隙结构, 图中传播常数  $\beta$  被禁带 (即光子带隙, 图中的阴影区域) 分隔开, 禁带中的光波无法在光子晶格中传

输. 图 1(d) 中的曲面可以反映光波的衍射特性, 根据光子晶格中光波衍射 (展宽) 的定义<sup>[2,31]</sup> 可知,  $\Gamma_1$  和  $X_2$  点在  $k_x$  和  $k_y$  方向都处于正常衍射区,  $M_1$  点在  $k_x$  和  $k_y$  方向都处于反常衍射区, 而  $X_1$  点在  $x$  方向处于反常衍射区, 在  $y$  方向则处于正常衍射区. 图 1(f)–(i) 分别为通带中高对称点  $\Gamma_1, X_1, M_1$  和  $X_2$  点处对应的布洛赫波强度分布, 图 1(j)–(m) 为相应的相位分布, 它们反映了均匀光子晶格中可传输的模式, 与波导中的导模相对应. 从图 1 可看出, 带 1 中的布洛赫波强度分布 (图 1(f)–(h)) 与格点相对应, 具有基模特性, 而带 2 (图 1(i)) 则体现出 1 阶模的性质.

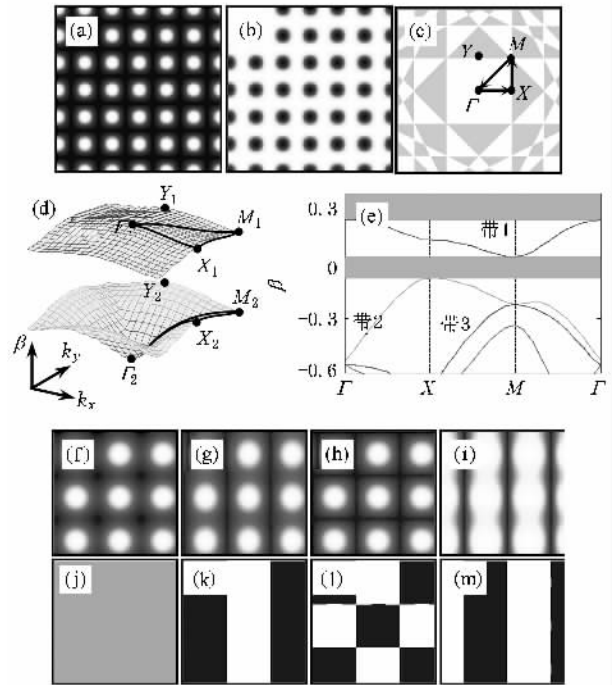


图 1 二维光诱导光子晶格及其带隙结构和布洛赫波 (a) 自聚焦光子晶格 (b) 自散焦光子晶格 (c) 布里渊区 (d) 带隙结构的三维分布 (e) 带隙的二维分布 (f)–(m) 分别为  $\Gamma_1, X_1, M_1$  和  $X_2$  点布洛赫波的强度和相位分布

### 4. 二维缺陷态

选取与图 1(a) 相同的均匀光子晶格, 则一束空间频谱范围较宽的光束穿过该晶格 (图 2(a)) 后, 在频谱面上会形成如图 2(d) 所示的布里渊区谱. 由于晶格的布拉格反射作用, 位于布里渊区边界附近的频谱成分被反射掉, 在图中显示为暗线, 从而可以很直观地反映出光子晶格的布里渊区<sup>[28]</sup>. 在 SBN 晶体

中,通过控制偏置电压的极性,利用二维高斯光束在SBN晶体中可以分别诱导出正、负缺陷.选取缺陷诱导光  $B_\delta = 0.5\exp[-(x/10)^2 - (y/10)^2]$ ,则  $I_\delta = |B_\delta|^2$ ,那么非线性自聚焦在柱状晶格中形成正缺陷(如图 2(b)),而非线性自散焦则在脊状晶格中形成负缺陷(如图 2(c)).这两种缺陷光子晶格对应的布里渊区谱分别如图 2(e)和(f)所示.从图 2 可以看出,部分相干光在正缺陷中传播时,其空间频谱经过缺陷结构的调制后主要集中在布里渊区中心处和第二布里渊区的  $X$  点处(正常衍射区),而其他区域很弱;在负缺陷中传播时,频谱则分布在布里渊区边界处(反常衍射区),而在正常衍射区则为暗区域.这说明二维正缺陷模式只在衍射曲面  $k_x$  和  $k_y$  方向的正常衍射区( $\Gamma_1$  和  $X_2$  点)形成,负缺陷模式只在  $k_x$  和  $k_y$  方向的反常衍射区( $M_1$  点)形成.在  $X_1$  和  $Y_1$  点,曲面中  $k_x$  和  $k_y$  方向并不同时为正常(反常)衍射,因此不存在缺陷模.

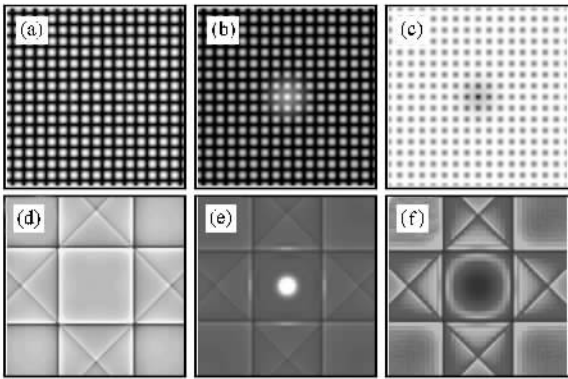


图 2 光诱导光子晶格及其布里渊区谱 (a)均匀光子晶格;(b)自聚焦情况下正缺陷(c)自散焦情况下负缺陷(d)-(f)与(a)-(c)对应的布里渊区谱

当光子晶格中引入缺陷时,其衍射曲面会发生变化,在均匀光子晶格的禁带中会出现导模,即缺陷模式.对于正缺陷,由于有效折射率的提高,各通带顶部(正常衍射区)光波的传播常数  $\beta$  增大,从而进入全反射禁带.对于负缺陷则恰好相反,各通带底部(反常衍射区)的传播常数  $\beta$  会向下进入布拉格反射禁带<sup>[24-27]</sup>.图 3(a)-(d)分别为自聚焦情况下  $\Gamma_1$ 、 $X_2$ 、 $Y_2$  点和自散焦情况下  $M_1$  点的缺陷模式强度分布,图 3(e)-(h)和(i)-(l)分别对应相位分布和空间频谱分布,其中虚线框表示第一布里渊区.选取晶格周期  $d = 8$ ,缺陷诱导光为  $B_\delta = 0.3\exp[-(x/4)^2 - (y/4)^2]$ .从图 3 可以看出,各高对称点处缺陷模式

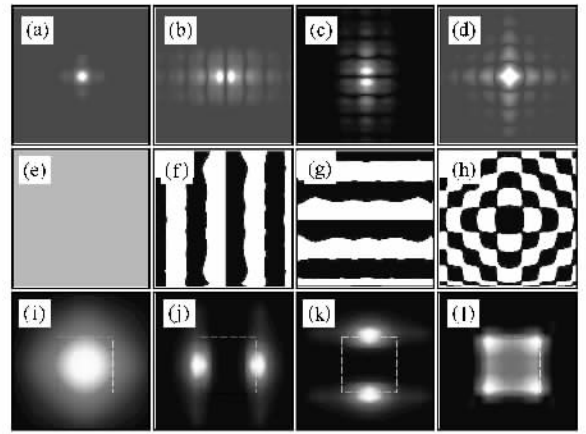


图 3 光子晶格中各高对称点对应的二维缺陷模式 (a)-(d)分别对应  $\Gamma_1$ 、 $X_2$ 、 $Y_2$  和  $M_1$  点强度分布 (e)-(h)对应的相位分布 (i)-(l)对应的频谱分布

的强度和相位分别与各点处布洛赫波的强度和相位分布相对应,只是此处的布洛赫波为空间周期延拓的模式,而缺陷模的强度则以入射格点为中心向四周逐渐衰减.值得注意的是,如图 3(d)所示, $M_1$  点的缺陷模式是在自散焦导致的脊状晶格中形成,因此格点处的光波分布呈菱形,并且沿着脊背方向有较长的拖尾.从图 3(i)-(l)可以很明显地看出,缺陷模的频谱分布与布里渊区各高对称点的位置相对应.

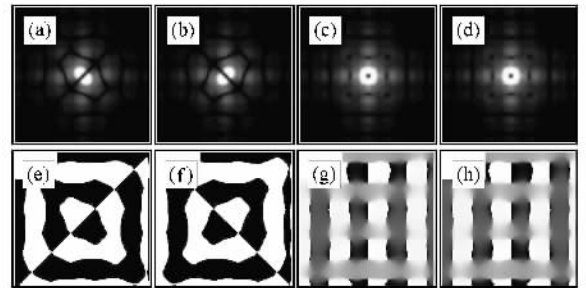


图 4 正缺陷中  $X_2$  和  $Y_2$  点的模式叠加 (a)-(d)分别对应  $X_2 + Y_2$ 、 $X_2 - Y_2$ 、 $X_2 + iY_2$ 、 $X_2 - iY_2$  的强度分布 (e)-(h)对应的相位分布

另外,对于同一缺陷而言, $X_2$  点和  $Y_2$  点分别为两个正交倒格矢方向的对称点,因此是同一传播常数的简并模式,并且两点对应的缺陷模式具有不同的对称性.显然,两种基本模式的叠加也是该缺陷的一种模式.图 4 给出了不同叠加情况时得到的新缺陷模式,其中图 4(a)-(d)分别对应于  $b_{X_2} + b_{Y_2}$ 、 $b_{X_2} - b_{Y_2}$ 、 $b_{X_2} + ib_{Y_2}$  和  $b_{X_2} - ib_{Y_2}$  时的缺陷模( $b_{X_2}$  和

$b_{y_2}$  分别表示图 3(b) 和 (c) 中的缺陷模复振幅分布。如图 4(a) 和 (b) 所示, 当两模式同相或反相叠加时, 可以得到类似于沿两个对角方向的偶极模, 与偶极孤子具有相同的结构。而当它们以  $\pi/2$  或  $-\pi/2$  的相位延迟叠加时, 则分别形成如图 4(c) 和 (d) 所示的拓扑荷为正和负的涡旋模式。

### 5. 一维缺陷态

光诱导二维光子晶格中的一维缺陷(即一维片光所诱导的缺陷)只在一维片光的强度梯度方向上才表现为缺陷态, 而沿光束方向则完全满足周期性, 因而探测光的空间频谱在此方向上不会发生变化, 而只有在片光的强度梯度方向上才会受到缺陷的调制。图 5 给出了一维( $x$  方向)光诱导缺陷的折射率分布及其布里渊区谱, 其中图 5(a) 和图 5(c) 分别对应自聚焦和自散焦情况下缺陷的折射率分布, 图 5(b) 和图 5(d) 分别为相应的布里渊区谱。这里选取与图 2 相同的阵列光, 并采用一维高斯光束  $B_\delta = 0.5\exp[-(x/10)^2]$  来诱导缺陷。由光束的布里渊区谱可以明显看出, 正(负)缺陷的频谱只在  $k_x$  方向被调制到正常(反常)衍射区, 而  $k_y$  方向则完全与均匀晶格的频谱分布相符。

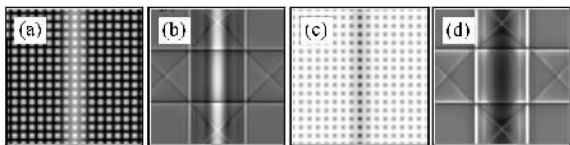


图 5 光子晶格中光诱导一维缺陷及其布里渊区谱 (a) 自聚焦诱导的一维正缺陷 (b) 自聚焦诱导的一维正缺陷布里渊区谱, (c) 自散焦诱导的一维负缺陷 (d) 自散焦诱导的一维负缺陷布里渊区谱

根据以上的讨论, 由于  $X_1$  和  $Y_1$  点沿两晶格矢量方向上的衍射特性不一致, 从而不支持二维缺陷模式。但对于一维光束诱导的缺陷而言, 它只对一维方向上的衍射特性有要求, 因此在  $X_1$  和  $Y_1$  点也可以存在缺陷模式。考虑到晶格的对称性, 这里只对  $X_1$  点进行研究。根据图 1 中带 1 在第一布里渊区的曲面分布可以看出, 在  $X_1$  点处的曲面呈“马鞍形”。沿  $k_x$  方向为凹面, 表现为反常衍射; 而沿  $k_y$  方向为凸面, 表现为正常衍射。因此, 对于正缺陷, 由强度梯度沿  $k_y$  方向的一维光束所诱导的缺陷存在缺陷模;

而对于负缺陷, 由强度梯度沿  $k_x$  方向的一维光束所诱导的缺陷存在缺陷模。选取阵列光强度  $I_1 = 0.5\cos^2(\pi x/5)\cos^2(\pi y/5)$ , 自聚焦和自散焦情况下分别采用  $B_\delta = 0.05\exp[-(y/4)^2]$  和  $B_\delta = 0.05\exp[-(x/4)^2]$  来诱导缺陷。图 6 为计算得出的两种一维缺陷的折射率分布(图 6(a) 和 (e)),  $X_1$  点的缺陷模式(图 6(b) 和 (f)), 相位分布(图 6(c) 和 (g)) 以及缺陷模式的空间频谱分布(图 6(d) 和 (h)), 其中图 6(a)(b)(c)(d) 对应于光诱导的正缺陷, 图 6(e)(f)(g)(h) 对应负缺陷。不难看出, 两种缺陷模式的强度和相位分布都具有  $X_1$  点布洛赫波的特性, 并且空间频谱都集中在布里渊区的  $X$  点处。需要指出的是, 由于  $X_1$  点的传播常数并不是处于通带与带隙的交界处, 所以当光子晶格中引入的负(正)缺陷较小时,  $X_1$  点传播常数在缺陷的调制下变化较小, 可能没有进入布拉格(全反射)带隙中, 这就导致了非线性光子晶格中带内孤子(传播常数不在完全带隙中)的形成, 自散焦情况下的带内孤子最近已得到实验证实<sup>[11]</sup>。

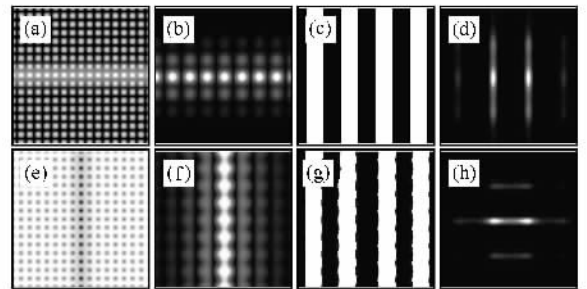


图 6 二维光诱导光子晶格中  $X_1$  点处对应的一维缺陷模式 (a) 和 (e) 为缺陷的折射率分布 (b)(c)(d)(f)(g)(h) 为缺陷模式强度、相位和空间频谱分布 (a) — (d) 对应正缺陷 (e) — (h) 对应负缺陷

通过类似的分析可以得出, 同样的缺陷中其他高对称点处对应一维缺陷模式。图 7(a) — (d) 分别给出了自聚焦情况下  $\Gamma_1, X_2, Y_2$  点以及自散焦情况下  $M_1$  点的缺陷模式强度分布, 图 7(e) — (h) 和图 7(i) — (l) 分别为对应的相位和空间频谱分布。显然, 一维缺陷模式在沿光束方向按布洛赫模式周期性拓展, 而在强度梯度方向上表现出缺陷模式的特性。这里需要说明的是, 尽管  $X_2$  和  $Y_2$  点为二维光子晶格中对称的两点, 但对于一维情况, 两点对应的缺陷模式并不简并。

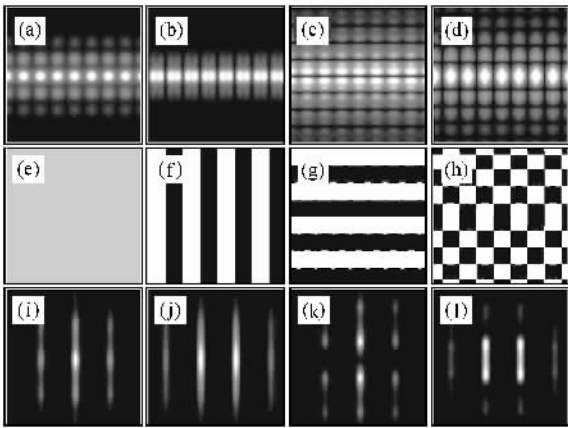


图 7 二维光诱导光子晶格中不同高对称点处的一维缺陷模式图纵向四列分别对应  $\Gamma_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_2$  和  $M_1$  点的情况, 图横向三行分别对应缺陷模式的强度分布、相位分布以及空间频谱分布

## 6. 结 论

通过数值模拟讨论了光诱导二维光子晶格中

正、负缺陷对布里渊区谱的影响, 分析了缺陷模式的形成机理, 计算得到了布里渊区中各高对称点存在的缺陷模式. 对于光诱导二维缺陷, 正缺陷模式只有在衍射曲面中沿两晶格矢量方向都为正常衍射的区域中才能形成, 负缺陷模式只在两方向都为反常衍射的区域中形成. 而在衍射曲面中的  $X_1$ ( $Y_1$ ) 点, 曲面中两方向并不同时为正常或反常衍射, 所以此时无法形成二维缺陷模式. 而对于光诱导一维缺陷, 由于缺陷模式的形成只对一维光束的强度梯度方向上的衍射特性有要求, 因此在  $X_1$ ( $Y_1$ ) 点也能存在缺陷模式, 并且正、负缺陷模式都可以形成. 需要特别指出的是,  $X_1$  点正缺陷模式的存在预示着自聚焦非线性同样可以支持带内孤子. 以上结论对于利用光子晶格中的线性缺陷控制光波的传输以及非线性光子晶格中晶格孤子的研究具有一定的参考价值, 其中关于缺陷模式形成条件的分析有助于对最近发现的带内孤子的理解.

- [ 1 ] Christodoulides D N, Lederer F, Silberberg Y 2003 *Nature* **424** 817
- [ 2 ] Pertsch T, Zentgraf T, Peschel U, Brauer A, Lederer F 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 093901
- [ 3 ] Rosberg C R, Neshev D N, Sukhorukov A A, Kivshar Y S, Krolikowski W 2005 *Opt. Lett.* **30** 2293
- [ 4 ] Christodoulides D N, Joseph R I 1988 *Opt. Lett.* **13** 794
- [ 5 ] Eisenberg H S, Silberberg Y, Morandotti R, Boyd A R, Aitchison J S 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 3383
- [ 6 ] Mandelik D, Morandotti R, Aitchison J S, Silberberg Y 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 093904
- [ 7 ] Chen F, Stepić M, Rüter C E, Runde D, Kip D, Shandarov V, Manela O, Segev M 2005 *Opt. Express* **13** 4314
- [ 8 ] Zhou J, Qi Y H, Xue C H, Lou S Y, Fang Y T 2007 *Opt. Express* **15** 6232
- [ 9 ] Fleischer J W, Segev M, Efremidis N K, Christodoulides D N 2003 *Nature* **422** 147
- [ 10 ] Lou C B, Wang X S, Xu J J, Chen Z G, Yang J K 2007 *Phys. Rev. Lett.* **98** 213903
- [ 11 ] Wang X S, Chen Z G, Wang J D, Yang J K 2007 *Phys. Rev. Lett.* **99** 243901
- [ 12 ] Qi X Y, Liu S M, Zhang G Q, Guo R, Liu Z H, Zhou L P, Li Y 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 131111
- [ 13 ] Liu S, Zhang P, Xiao F J, Yang D X, Zhao J L 2009 *Sci. China G* **52** 747
- [ 14 ] Zhang P, Zhao J L, Xiao F J, Lou C B, Xu J J, Chen Z G 2008 *Opt. Express* **16** 3865
- [ 15 ] Zhang P, Liu S, Zhao J L, Lou C B, Xu J J, Chen Z G 2008 *Opt. Lett.* **33** 878
- [ 16 ] Xiao F J, Zhang P, Liu S, Zhao J L 2007 *Chin. Phys. Lett.* **24** 3435
- [ 17 ] Xiao F J, Zhang P, Liu S, Zhao J L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2529 (in Chinese) [ 肖发俊、张 鹏、刘 圣、赵建林 2008 物理学报 **57** 2529 ]
- [ 18 ] Zhang B Z, Wang H C, Cui H, She W L 2008 *J. Opt. A* **10** 015101
- [ 19 ] Zhuo H, Fu X Q, Wu J H, Wen S C 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 252 (in Chinese) [ 卓 辉、傅喜泉、吴锦花、文双春 2007 物理学报 **56** 252 ]
- [ 20 ] Dong L W, Wang H, Zhou W D, Yang X Y, Lü X, Chen H Y 2008 *Opt. Express* **16** 5649
- [ 21 ] Sukhorukov A A, Kivshar Y S 2001 *Phys. Rev. Lett.* **87** 083901
- [ 22 ] Russell P S J 2003 *Science* **299** 358
- [ 23 ] Chen W H, He Y J, Wang H Z 2007 *Opt. Express* **15** 14498
- [ 24 ] Wang J D, Yang J K, Chen Z G 2007 *Phys. Rev. A* **76** 013828
- [ 25 ] Fedele F, Yang J K, Chen Z G 2005 *Opt. Lett.* **30** 1506
- [ 26 ] Wang X S, Young J, Chen Z G, Weinstein D, Yang J K 2006 *Opt. Express* **14** 7362
- [ 27 ] Makasyuk I, Chen Z G, Yang J K 2006 *Phys. Rev. Lett.* **96** 223903
- [ 28 ] Bartal G, Cohen O, Buljan H, Fleischer J W, Manela O, Segev M 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 163902

[ 29 ] Ho K M , Chan C T , Soukoulis C M 1990 *Phys. Rev. Lett.* **65**  
3152

## Analysis of linear defect modes in two-dimensional photonic lattices by employing Brillouin zone spectroscopy<sup>\*</sup>

Liu Sheng Zhang Peng Xiao Fa-Jun Gan Xue-Tao Zhao Jian-Lin<sup>†</sup>

( *Institute of Optical Information Science and Technology and Shaanxi Key Laboratory of Optical Information Technology , School of Sciences ,  
Northwestern Polytechnical University , Xi 'an 710072 , China* )

( Received 11 November 2008 ; revised manuscript received 16 December 2008 )

### Abstract

The formation of defect modes in optically induced photonic lattices with one-and two-dimensional defects are analyzed by combining the diffraction relationship of uniform lattices and the Brillouin zone spectra. The defect modes associated with different high symmetry points in Brillouin zone are obtained , including the positive and negative defect modes bifurcating from the  $X_1$  point , which is “ embedded ” in the photonic bandgap. It is revealed that , for two-dimensional defects , the positive ( negative ) defect modes exist only in the regions corresponding to normal ( anomalous ) diffraction along both principal axes in  $\mathbf{k}$ -space , whereas for one-dimensional defects , the positive ( negative ) defect modes can exist in the regions corresponding to normal ( anomalous ) diffraction along a single direction . The positive defect mode at  $X_1$  point predicates the existence of in-band solitons under self-focusing nonlinearity. The conclusions obtained above could be helpful to understanding the formation of lattice solitons ( especially in-band solitons ) in photonic lattices .

**Keywords** : optically induced photonic lattice , photonic bandgap , linear defect mode

**PACC** : 4280L , 7820P , 7820W

<sup>\*</sup> Project supported by the Foundation for Fundamental Research of Northwestern Polytechnical University , China and the Doctoral Dissertation Foundation of Northwestern Polytechnical University , China ( Grant No. CX200514 ).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : jlzhao@nwpu.edu.cn