

## 双负介质对一维光子晶体量子阱透射谱的影响

许江勇<sup>1</sup>, 苏安<sup>2</sup>, 潘继环<sup>2</sup>, 蒙成举<sup>2</sup>, 高英俊<sup>3</sup>

(1. 兴义民族师范学院 物理系, 贵州 兴义 562400; 2. 河池学院 物理与机电工程学院, 广西 宜州 546300; 3. 广西大学 物理科学与工程技术学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 为设计高品质的光学滤波器和光学开关, 用传输矩阵法研究双负介质对一维光子晶体量子阱 $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$ 透射谱的影响, 结果表明: 当 C 层为双正介质时, 光量子阱透射谱中出现  $2n+1$  条窄透射峰, 当 C 层为双负介质时, 呈现简并现象, 光量子阱透射峰中仅出现  $2n-1$  条窄透射峰; 当 C 层双负介质折射率负值增大时, 光量子阱透射谱向禁带中心两侧移动, 同时透射峰的品质因子快速提高; 当 C 层双负介质光学厚度负值减小时, 光量子阱透射谱向禁带中心靠拢, 同时透射峰的品质因子迅速提高; 光量子阱透射品质因子对双负介质光学厚度的响应灵敏度高于对折射率负值的响应。双负介质对光量子阱透射谱特性的影响规律, 可为光子晶体理论研究及新型量子光学器件设计提供参考。

**关键词:** 滤波品质; 光子晶体量子阱; 双负介质; 透射谱

**中图分类号:** O411.9; O431; TN29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)08-2156-06

## Effect of double negative medium on the transmission spectra of one-dimensional photonic crystal quantum well

Xu Jiangyong<sup>1</sup>, Su An<sup>2</sup>, Pan Jihuan<sup>2</sup>, Meng Chengju<sup>2</sup>, Gao Yingjun<sup>3</sup>

(1. Department of Physics, Xingyi Normal University for Nationalities, Xingyi 562400, China;

2. Department of Physics and Mechanical & Electronic Engineering, Hechi University, Yizhou 546300, China;

3. Department of Physical Science and Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** To design high-quality optical filters and optical switches, the effect of double negative medium on the transmission spectrum of one-dimensional photonic crystal quantum well  $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$  was studied with transfer matrix method. The results show that when layer C is double positive medium, there are  $2n+1$  narrow transmission peaks in the spectrum. While layer C is negative medium, there are only  $2n-1$  narrow transmission peaks in the spectrum, presenting degeneration. When the negative value of refractive index of double negative medium in layer C increases, the spectrum moves towards two sides of the forbidden band center and the quality factor of the transmission peaks improves quickly. When the negative value of optical thickness of double negative medium in layer C decreases, the

收稿日期: 2013-02-15; 修订日期: 2013-03-28

基金项目: 国家自然科学基金(51161003); 广西自然科学基金重点项目(2012GXNSFDA053001);

广西高校科学技术研究重点项目(2013ZD058, 2013YB206); 贵州省黔东南州科技计划项目(2013-5);

河池学院重点科研基金资助课题(2013ZA-N003, 2013B-N005)

作者简介: 许江勇(1978-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事光子晶体方面的研究。Email: xujiangyong@163.com

通讯作者: 苏安(1973-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事光子晶体方面的研究。Email: suan3283395@163.com

spectrum draws close to the center of the forbidden band and the quality factor of the transmission peaks also speedily improves. The effect of the transmission quality factor of optical crystal quantum well on the optical thickness of double negative medium is more sensitive than the one on the negative value of refractive index. The law, the effect of the double negative medium on the characteristics of transmission spectrum in the optical crystal quantum well, can provide reference for optical crystal theoretical research and designing new quantum optical devices.

Key words: filter quality; photonic crystal quantum well; double negative medium; transmission spectrum

## 0 引言

自从光子晶体概念问世以来,它的研究、设计与应用等均取得了大量成果,特别是在光通信材料上的潜在应用前景,已经表现出光子替代电子的趋势<sup>[1-8]</sup>。为获得更加优质的光学滤波品质,人们在普通结构光子晶体的基础上,仿效半导体量子阱裁剪电子的功能,纷纷投入到光子晶体量子势阱的研究,于是,光子晶体量子势阱的研究又成为当前光子晶体研究的又一关键和热点<sup>[3-8]</sup>。光子晶体量子阱由内外两块不同禁带结构的光子晶体组合而成,当内块光子晶体的能带完成处于外块光子晶体的禁带中时,即可构成光子晶体量子阱结构,简称光量子阱(PQW)。内块光子晶体相当于光量子阱的阱,外块光子晶体相当于光量子阱的垒。当光通过存在光量子结构的光子晶体时,光子被约束限制将更加强烈,则能透射光子晶体的光频率范围将更加窄,这种特性为设计高品质、高性能的新型光学滤波器件提供设计思路<sup>[3-8]</sup>。

普通材料的介电常量、磁导率值均大于零,其折射率为正,简称双正介质(材料)或右手材料。1967年 Veselago 首先提出负折射<sup>[9]</sup>概念,即介质材料的  $\varepsilon$  和  $\mu$  值同时小于零,则介质具有负的折射率( $n = -\sqrt{\varepsilon\mu}$ ),称为双负介质(材料)。电磁波在该介质中传播的电矢量  $E$ 、磁矢量  $H$  和波矢  $k$  不构成右手螺旋关系而构成左手螺旋关系,因此,又被称为左手介质(材料)。反常的电磁特性使光在其中传播产生很多奇异的物理现象<sup>[5-6,9]</sup>。

基于双负介质的电磁特性和光量子阱的基本结构,研究一维光量子阱  $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$  模型,该模型与参考文献[5-6]中的模型不同在于:C层为双正介质时,阱层光子晶体  $(CBAABC)_n$  有 3 个能带同时完全处于垒层光子晶体  $(AB)_m(BA)_m$  的禁带中,C层为双

负介质时,阱层光子晶体由双正时的 3 个能带合并成 1 个频率范围很宽且很完整的通带,更多或更宽的能带结构的光量子阱对优化实际设计模型应更具有理论参考价值,故研究双负介质对此光量子阱透射特性的影响规律,对实际设计有积极的借鉴作用。

## 1 研究方法和模型

研究方法采用传输矩阵法<sup>[10]</sup>。根据薄膜光学、光学电磁理论,光在分层薄膜介质和周期排列的薄膜介质中传播,均可分别用各分层传输矩阵和总矩阵描述,总矩阵等于各分层传输矩阵之积。由总传输矩阵可求出光在光子晶体中传播的反射系数、透射系数、反射率和透射率,以及光子晶体内部的电场分布等<sup>[10]</sup>,详细介绍可见参考文献[1,3-8]。

研究对象为  $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$  光子晶体模型,此结构模型由中间光子晶体层插入两侧光子晶体层形成“三明治”状对称结构,这种类似于光量子阱两侧是垒、中间是阱的结构,将更加容易实现中间层光子晶体的能带完全处于两侧光子晶体的禁带中而组成光量子阱结构,而且这种量子阱结构量子化效应产生的分立窄透射峰往往也对称分布于某频率左右,即可得到既对称、简洁且变化规律明显的透射谱特性,此举将对光子晶体器件的设计和应用提供理论模型基础。因此,通过不断数值模拟和调试,得到该研究模型构成光量子阱的最佳匹配参数分别为:A层为硒化锌,B层为玻璃,C为掺杂材料(缺陷), $n_A=1.5, n_B=2.5, n_C=1.6$ (C层为双负材料时  $n_C=-1.6$ ), $n_A d_A = n_B d_B = \lambda_0/4, n_C d_C = 2\lambda_0$ (双负材料时为  $-2\lambda_0$ ),( $\lambda_0$  是禁带中心频率  $\omega_0$  对应的中心波长)。 $m$  和  $n$  分别为光子晶体排列周期数。由此模型、参数,可数值模拟出光量子阱结构的透射谱及双负介质 C 层对透射特性的影响规律,并从理论上分析预测光量子阱的透

射特性对光学器件设计的可能应用。

## 2 计算结果与分析

### 2.1 光子量子阱结构的形成

考虑正入射情况,取  $n_c=1.6$ 、 $-1.6$  时分别模拟光子晶体  $(CBAABC)_{10}$  和  $(AB)_5(BA)_5$  的透射能带谱,如图 1(a)~(c)所示,图中频率用归一化单位  $\omega/\omega_0$  表示。

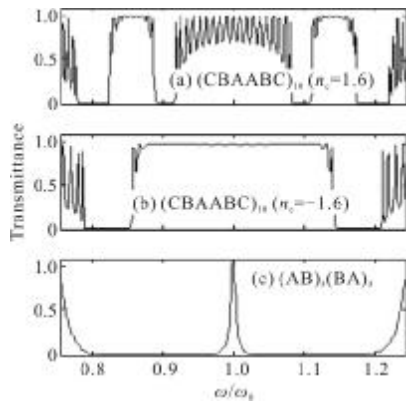


图 1 一维光子晶体的透射能带谱

Fig.1 Transmission spectrum for 1D photonic crystal

从图 1 可见,C 层双正介质时,  $(CBAABC)_n$  的 3 个能带完全处于  $(AB)_m(BA)_m$  的禁带中,构成量子阱结构,当 C 层为双负介质时,  $(CBAABC)_n$  由双正时的 3 个能带合并成一个频率范围很宽且很完整的通带,而且通带也完全处于  $(AB)_m(BA)_m$  的禁带中,构成光子量子阱结构。

### 2.2 光子量子阱结构透射谱

固定垒层光子晶体  $(AB)_m(BA)_m$  的重复周期数  $m=8$ ,取阱层  $(CBAABC)_n$  周期数  $n=1\sim 3$ ,其他参数不变,计算得 C 层为双正、双负介质时光子量子阱  $(AB)_8(CBAABC)_n(BA)_8$  的透射能带谱,分别如图 2、图 3 所示。

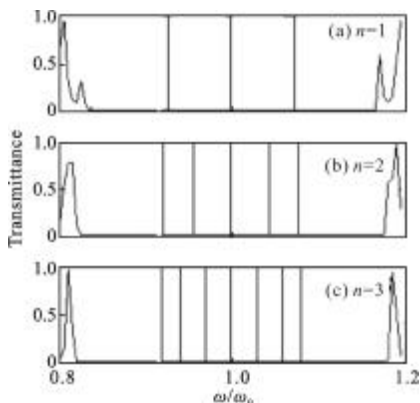


图 2  $n_c=1.6$  时,一维光子量子阱的透射能带谱

Fig.2 Transmission spectrum for PQW with  $n_c=1.6$

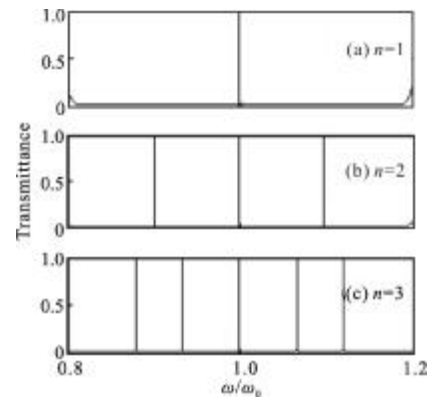


图 3  $n_c=-1.6$  时,一维光子量子阱的透射能带谱

Fig.3 Transmission spectrum for PQW with  $n_c=-1.6$

(1) 当 C 层介质为双正材料时,光子量子阱在中心禁带  $0.90\sim 1.10\omega/\omega_0$  频率范围内出现一组分立的窄共振透射峰,透射峰带宽很窄,但透射率却很高,均达到 100%,透射峰条数与阱层光子晶体周期数  $n$  有关,并等于  $2n+1$  数值,并且  $2n+1$  条透射峰以  $1.0\omega/\omega_0$  频率位置为对称中心左右分布。

(2) 当 C 层为双负材料时,光子量子阱在中心禁带  $0.85\sim 1.15\omega/\omega_0$  频率范围内也出现一组分立的窄共振透射峰,且透射峰的透射率也达到 100%,透射峰条数也与阱层光子晶体周期数  $n$  有关,等于  $2n-1$  数值,同时  $2n-1$  条透射峰也对称分布在  $1.0\omega/\omega_0$  频率位置左右。可见,C 层由双正介质换成双负介质时,光子量子阱中的透射谱发生了简并现象,这与图 1 能带简并也是对应和一致的。

从光子量子阱的模型结构可知:当光子晶体  $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$  构成光子量子阱结构,入射到光子晶体中电磁波频率处于阱层频率范围(双正介质时  $0.90\sim 1.10\omega/\omega_0$ ,双负介质时  $0.85\sim 1.15\omega/\omega_0$ )时,垒层光子晶体将起着关卡的作用,而禁止电磁波继续传播,这些被限制在阱层中的光场形成强局域电场,光子量子阱对光场的局域限制作用将导致光场频率的量子化,频率量子化后的光子态可以通过共振隧穿方式穿过光子量子阱,这种效应类似于半导体量子阱对电子裁剪一样。由于光场频率的量子化,所以共振隧穿通过光子量子阱的光频率很窄,宏观上表现为透射谱中尖锐的透射峰,且这些透射峰的透射率都达到 100%,说明对于光子量子阱局域效应产生的束缚态,光是可以完全透射的,而且透射峰的数目与束缚态数目是一致的<sup>[3-8]</sup>。

另外,从光子晶体的缺陷模产生的机理也可看出:C层为双正介质, $n=1$ 时,光子晶体 $(AB)_8(CBAABC)_1(BA)_8$ 可表示成 $(AB)_8\boxed{CBAABC}(BA)_8$ ,带边框的部分即形成了周期性排列中的三处缺陷层,则在透射谱中相应产生 3 条透射峰(缺陷模), $n=2,3,\dots$ 可依次类推,即出现  $n+2$  条的透射峰<sup>[1,3-6]</sup>。当 C 层为双负介质时,出现透射峰简并现象,此时 C 层作为光子晶体中的双负介质缺陷层,由于电磁波在负折射率材料中传播,相速度与群速度的传播方向相反,其相位会随波的传播不断消减而产生一种相位补偿效应,这也是光子晶体镜像对称结构产生的一种透射特性。在结构 $(AB)_8(CBAABC)_n(BA)_8$ 中, $n_A d_A = n_B d_B = 0.25\lambda_0$ , $n_C d_C = -2\lambda_0$ ,根据相位补偿,当  $n$  取 1、2、3 时,结构中缺陷部分的光学厚度可分别等效为  $\lambda_0, 2\lambda_0, 3\lambda_0, \dots$ ,进而使结构透射谱呈上述规律变化。正是由于双负介质的这种相位补偿效应才使得含负折射率缺陷的光子晶体有一些新奇的物理现象<sup>[5-6]</sup>。

(3) 进一步计算还发现,双负介质材料时光子晶体量子阱 $(AB)_8(CBAABC)_n(BA)_8$ 的阱(禁带)比双正介质时宽,而且分立窄透射峰分布的频率范围广,透射峰之间的距离也宽。如: $n=5, n_C=1.6$ 时,阱宽(禁带宽度)为 $\Delta\omega=0.372\omega/\omega_0$ (范围为 $0.815\sim 1.187\omega/\omega_0$ ),11 条透射峰分布在 $0.918\sim 1.082\omega/\omega_0$ 频率范围内; $n=5, n_C=-1.6$ 时,阱宽为 $\Delta\omega=0.429\omega/\omega_0$ (范围为 $0.785\sim 1.214\omega/\omega_0$ ),11 条透射峰分布范围扩宽到 $0.866\sim 1.134\omega/\omega_0$ 。

可见,无论 C 层是双正还是双负介质,光子量子阱均可实现窄带多通道的光学滤波功能,而且通道数目与阱层周期数  $n$  有关,相同  $n$  情况下若要获得更多通道数,或是频率间隔窄的窄带滤波效果,应选择 C 层为双正介质,要获得频带间隔相对较大的多通道滤波效果,则应选择 C 层为双负介质。

### 2.3 介质 C 折射率、光学厚度对透射谱的影响

光子晶体或光子晶体量子阱的透射品质一般用品质因子  $Q$  来衡量,品质因子  $Q$  定义为共振透射模的中心波长与共振透射模的半高全宽 (FWHM)<sup>[8]</sup> 的比值, $Q=\lambda_c/\Delta\lambda$ 。其中  $\lambda_c$  是共振透射模(透射峰或缺陷模)的中心波长, $\Delta\lambda$  是透射模的 FWHM。光子晶体设计的光学滤波器,滤波品质是衡量其性能的重要因素之一。因此,对于双负介质材料光子晶体量子阱

设计的多通道窄带滤波器,有必要研究双负介质对其透射品质(滤波品质)的影响规律,以为实际设计提供参考。

从光量子阱的结构参数可知,双负介质层的折射率为负值,同时它的厚度以光学厚度计量,所以在研究透射品质时,也重点研究 C 层介质的折射率  $n_C$  及其光学厚度  $d=n_C d_C$  对光量子阱透射品质的影响。首先,分别固定  $m=6, n=3$ ,取  $n_C=-1.8, -1.4, -1.0$ ,即 C 层介质折射率负值增大,则光量子阱 $(AB)_6(CBAABC)_3(BA)_6$ 的透射谱如图 4 所示。

继续保持  $m=6, n=3$ ,而取 C 层介质的光学厚度  $d=n_C d_C=-2\lambda_0, -4\lambda_0, -6\lambda_0$ ,即 C 层介质光学厚度负值减小,则光量子阱 $(AB)_6(CBAABC)_3(BA)_6$ 的透射谱如图 5 所示。从图 4 和图 5 可见。

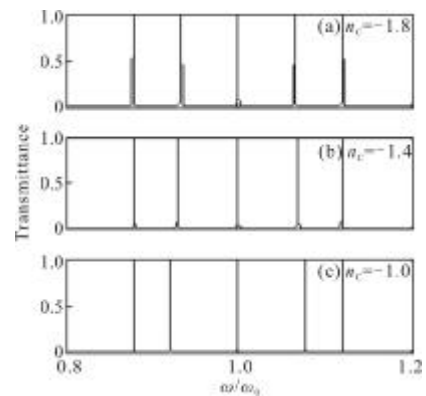


图 4  $n_C$  对一维光子量子阱透射谱的影响  
Fig.4 Transmission spectrum for PQW vs  $n_C$

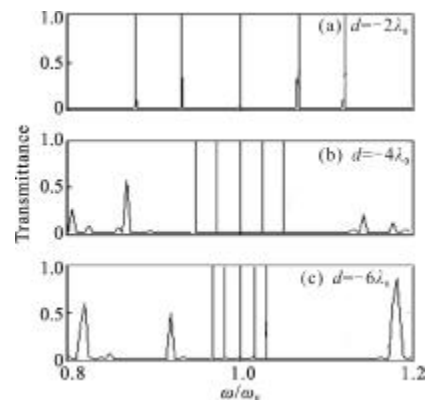


图 5 C 层光学厚度对光子量子阱透射谱的影响  
Fig.5 Transmission spectrum for PQW vs optical thickness of layer C

(1) 不论是双负介质层的折射率  $n_C$  负值增大,

还是双负介质层的光学厚度  $d=n_c d_c$  负值减小, 光子量子阱  $(AB)_6(CBABABC)_3(BA)_6$  主禁带中的透射峰数目保持 5 条不变, 但透射峰会越来越精细, 即光子量子阱的透射品质越来越高。

(2) 根据品质因子公式  $Q=\lambda_c/\Delta\lambda$ , 在测量出图 4 和图 5 中  $1.0\omega/\omega_0$  频率处透射峰 FWHM 的基础上, 即可绘制出光子量子阱透射品质随  $n_c$ 、 $d=n_c d_c$  的变化曲线, 分别如图 6 和图 7 所示。

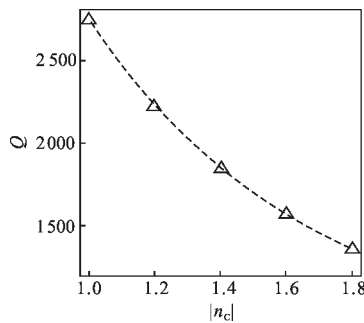


图 6 光子量子阱透射品质因子随  $|n_c|$  的变化曲线

Fig.6 Transmission quality factor of PQW vs  $|n_c|$

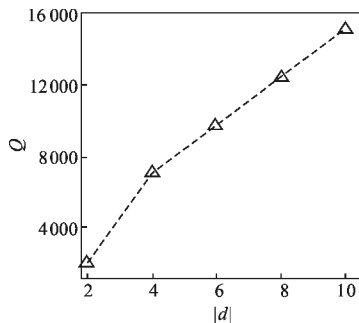


图 7 光子量子阱透射品质因子随  $|d|$  的变化曲线

Fig.7 Transmission quality factor of PQW vs  $|d|$

由图 6 和图 7 可知, 随着双负介质层的折射率  $n_c$  负值增大, 或双负介质层光学厚度  $d=n_c d_c$  负值减小, 光子量子阱的透射品质因子  $Q$  均快速提高, 而且后者提高的速度比前者快, 后者透射品质因子比前者大 1 个数量级。如  $n_c=-1.8$  时,  $Q=1.359 6e3$ ,  $n_c=-1.0$  时,  $Q=2.739 7e3$ ; 而  $d=n_c d_c=-2\lambda_0$  时,  $Q=0.207 5e4$ ,  $d=n_c d_c=-6\lambda_0$  时,  $Q=1.5152e4$ 。

(3) 随着双负介质层的折射率  $n_c$  负值增大, 光子量子阱  $(AB)_6(CBAABC)_3(BA)_6$  主禁带中 4 条对称分布于  $1.0\omega/\omega_0$  频率两侧的透射峰逐渐背离  $1.0\omega/\omega_0$  频率位置, 而  $1.0\omega/\omega_0$  频率处的透射峰位置恒定。相反地, 随着双负介质层的光学厚度  $d=n_c d_c$  负值减小, 对称分布于  $1.0\omega/\omega_0$  频率两侧的各 4 条透射峰,

则逐步向  $1.0\omega/\omega_0$  频率位置靠近, 同时  $1.0\omega/\omega_0$  频率处的透射峰位置不变。

所以, 可根据双负介质层折射率和光学厚度对光子量子阱透射特性的影响规律, 设计窄带多通道的量子光学滤波器和光学开关, 而且滤波器的滤波品质均可由双负介质层调制。

### 3 结 论

通过数值计算、模拟研究双负介质对光子量子阱  $(AB)_m(CBAABC)_n(BA)_m$  透射特性的影响, 得出:

(1) C 层由双正介质替换成双负介质时, 光子量子阱透射谱简并现象, 窄透射峰由  $2n+1$  条简并成  $2n-1$  条, 而且双负情况下光子量子阱的禁带比双正时的宽。

(2) 随双负介质层折射率负值增大, 光子量子阱透射谱以  $1.0\omega/\omega_0$  为对称中心向两侧移动, 而随着双负介质层光学厚度负值的减小, 光子量子阱的透射谱则以  $1.0\omega/\omega_0$  为对称中心向中间靠拢。

(3) 随双负介质层折射率负值增大或其光学厚度负值的减小, 光子量子阱的透射品质因子快速提高, 而且后者品质因子及其提高速度均比前者高。

双负介质对光子量子阱透射特性的影响规律, 可为光子晶体理论研究, 新型、高品质的量子光学滤波器件和光学开关的设计等提供指导。

### 参 考 文 献:

- [1] Su An. Transmission spectrum of one-dimensional photonic crystal for realizing high-performance optical transmission function [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(6): 1101-1106. (in Chinese)  
苏安. 实现高效光传输功能的一维光子晶体透射谱[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(6): 1101-1106.
- [2] Liu Min, Dong Chuanpei, Jian Duo, et al. Splitter and hybrid dual-core photonic crystal fiber [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(7): 1836-1841. (in Chinese)  
刘敏, 董传培, 简多. 混合导光双芯光子晶体光纤及分束器[J]. *红外与激光工程*, 2012, 41(7): 1836-1841.
- [3] Su An, Gao Yingjun. Light propagation characteristics of one-dimensional photonic crystal with double-barrier quantum well [J]. *Acta Physica Sinica*, 2012, 61(23): 234208. (in Chinese)  
苏安, 高英俊. 双重势垒一维光子晶体量子阱的光传输特

- 性研[J]. 物理学报, 2012, 61(23): 234208.
- [4] Su An. Photonic crystal quantum well with function of multi-channel photonic filtering and amplifying [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(3): 727-732. (in Chinese)  
苏安. 实现多通道光滤波与放大功能的光子晶体量子阱[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(3): 727-732.
- [5] Su An, Gao Yingjun. Transmission spectra of one-dimensional photonic crystal quantum well with double negative medium [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2010, 27(5): 596-601. (in Chinese)  
苏安, 高英俊. 含双负介质一维光子晶体量子阱的透射谱研究[J]. *量子电子学报*, 2010, 27(5): 596-601.
- [6] Su An. Transmission spectra of one-dimensional photonic crystal quantum well structure with double negative medium [J]. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 2011, 31(3): 36-40. (in Chinese)  
苏安. 含双负介质一维光子晶体的量子阱结构研究[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 31(3): 36-40.
- [7] Su An. The effect of lattice constants on transmission spectra of photonic crystal quantum well [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(1): 200-206. (in Chinese)  
苏安. 晶格常数对光子晶体量子阱透射谱的影响[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(1): 200-206.
- [8] Su An, Meng Chengju, Gao Yingjun. Effect of structure period number on the transmission quality of photonic quantum well [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(1): 012302. (in Chinese)  
苏安, 蒙成举, 高英俊. 结构周期数对光子晶体量子阱透射品质的影响研究 [J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(1): 012302.
- [9] Veselago V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$  [J]. *Sov Phys Usp*, 1968, 10(4): 509-514.
- [10] Wang Hui, Li Yongping. An eigen matrix method for obtaining the band structure of photonic crystals [J]. *Acta Physica Sinica*, 2001, 50(11): 2172-2174. (in Chinese)  
王辉, 李永平. 用特征矩阵法计算光子晶体的带隙结构 [J]. *物理学报*, 2001, 50(11): 2172-2174.

## 国际强激光与物质相互作用及其应用研讨会征文通知

10月27-29日 苏州

中国宇航学会光电技术专业委员会和上海交通大学激光等离子体教育部重点实验室, 联合其他相关单位将于10月27-29日在苏州市举办“国际强激光与物质相互作用及其应用研讨会”。诚挚欢迎国内外相关领域科研院所的科研人员以及大专院校的教师、研究生等踊跃投稿。

会议网站: [www.cnoenet.com/2013hpl](http://www.cnoenet.com/2013hpl)

投稿请登录: [www.manuscript-cnoenet.com](http://www.manuscript-cnoenet.com), 中英文兼收。

截稿日期: 2013年9月20日

主办单位: 中国宇航学会、上海交通大学激光等离子体教育部重点实验室

承办单位: 中国宇航学会光电技术专业委员会

联办单位: 长春理工大学理学院

支持媒体: 《红外与激光工程》(EI 收录)、《强激光与粒子束》(EI 收录)、《光学精密工程》(EI 收录)、  
中国宇航光电资讯网

征文方向:

- |              |                       |                |
|--------------|-----------------------|----------------|
| 1 激光与物质相互作用; | 2 激光照射的作用及机制;         | 3 激光等离子体物理及应用; |
| 4 强场物理和技术;   | 5 激光光谱技术及应用;          | 6 高功率激光器;      |
| 7 非线性光学;     | 8 国防领域应用(对抗、隐身等)激光加工; |                |
| 9 激光加工;      | 10 其他应用               |                |

组委会联系方式:

会议联系: 刘艳, 邓伟, 李瑾, 022-58168510

Email: [liuyan@cnoenet.com](mailto:liuyan@cnoenet.com)

地址: 天津市空港经济区中环西路 58 号 (300308)