2015 年 8 月 Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology

文章编号: 2095-4980(2015)04-0525-04

一种 0.3 THz 二维光子晶体定向耦合器的设计

陈 琦^{a,b}, 何晓阳^{a,b}, 张 健^{a,b}

(中国工程物理研究院 a.电子工程研究所; b.太赫兹与微系统研究中心, 四川 绵阳 621999)

摘 要:设计了一种基于二维光子晶体的太赫兹定向耦合器,通过在2个平行的横向线缺陷中 加入纵向线缺陷的方式,实现了良好的耦合结构,在太赫兹频段实现了较好的功率耦合特性。这 种二维光子晶体带定向耦合器结构紧凑,可用于太赫兹系统中信号功率的检测与监控,具有良好 的应用价值。

doi: 10.11805/TKYDA201504.0525

Design of 0.3 THz 2D photonic crystal directional coupler

CHEN Qi^{a,b}, HE Xiaoyang^{a,b}, ZHANG Jian^{a,b}

(a.Institute of Electronic Engineering; b.Terahertz and Microsystems Research Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: This paper designs a two-dimensional(2D) photonic crystal based Terahertz(THz) directional coupler. By introducing longitudinal line defect into two parallel transverse line defects in 2D photonic crystal, the ideal coupling configuration and good THz power coupling performance are realized. The proposed 2D photonic crystal directional coupler has compact structure and it can satisfy application requirements in signal detecting and monitoring in THz band.

Key words: terahertz; photonic crystal; directional coupler

太赫兹技术作为一种新的、快速发展的技术在许多领域备受关注,尤其在安全检测及反恐、医疗诊断及生物 技术、物体成像、电子对抗及信息领域等的应用方面显示出了它广阔的应用前景^[1]。在太赫兹技术中,光子晶体 主要用来制作各种功能器件,如太赫兹传输线及波导、太赫兹谐振腔、太赫兹滤波器、太赫兹偏振器、太赫兹开 关、太赫兹混频器、太赫兹天线等^[2-8],人工制备太赫兹波段的光子晶体功能器件为解决太赫兹无源器件的瓶颈 提供了一个很好的途径。

定向耦合器是一种具有方向性的功率耦合(分配)元件,可以利用耦合出的功率进行检测或功率调节。本文基 于光子晶体缺陷模式,设计了一种 0.3 THz 的二维光子晶体定向耦合器(2D Photonic Crystal Directional Coupler, PC-DC),并通过数值模拟对定向耦合器的直通损耗、耦合度、隔离度、定向性等特性进行分析。仿真结果表明, 这种光子晶体定向耦合器具备较低的直通损耗,工作频带内最低损耗 0.85 dB, 0.3 THz 频率耦合度为-6.5 dB。

1 二维光子晶体禁带设计

布拉格散射型光子晶体中禁带形成的必要条件之一就是晶格的平移对称性。因此,当一个完整光子晶体中有 缺陷时,其对应能带图中的禁带区域一定会发生改变^[9]。这个变化可以描述为:缺陷结构对应的本征色散曲线进 入到无缺陷结构时的禁带后,形成新的缺陷模通带。也就是说,以前完全禁止传输的频率范围内出现了一个或几 个可以传播的频率。不管最终缺陷模的频率为多少,光子晶体中带隙的存在是缺陷模生成的必要因素,而缺陷模 的频率必然位于光子晶体禁带中^[10]。因此,要设计光子晶体器件,首先确定光子晶体的带隙频率,较宽的光子 晶体禁带才能实现较宽的器件工作带宽。

正方形晶格的二维光子晶体结构如图1所示,单元采用圆柱形结构, a 为晶格常数, r 为光子晶体单元半径。

设晶格常数为 a=0.3 mm,介质柱采用 Si 材料,半径设为 r=0.062 5 mm,高度 h=0.355 6 mm,相对介电常数 ɛ_r=11.9, 背景材料为空气,介电常数为 ɛ₀=1。采用平面波展开(Plane Wave Expansion, PWE)法,就可以计算出光子晶体的 能带结构,其 TM 模能带结构如图 2 所示。从图中可以看出,在 0.28 THz~0.42 THz 频段,具有一个较宽完全禁 带,非常适合设计缺陷模式来实现宽带太赫兹器件。



2 光子晶体定向耦合器的设计

采用上节中的光子晶体结构参数,设计出二维光子晶体定向耦合器结构如图 3 所示。该定向耦合器以 15×14 单元的二维光子晶体为基础,引入由 2 个横向线缺陷与 2 个纵向线缺陷组成的工字形缺陷,横向线缺陷长度为 15*a*,宽度 2*a*,纵向线缺陷长度为 6*a*,宽度 2*a*,定向耦合器整体尺寸为 4.5 mm×4.2 mm。

定向耦合器的输入输出端口采用标准的 WR2.2 波导端口,端口尺寸为 0.711 2 mm×0.355 6 mm。左上方端口(port1)为耦合器输入端口,右上方端口(port2)为直通输出端口,左下方端口(port3)为隔离端口,右下方端口(port4)为耦合端口,由于采用了完全对称的结构形式,故各端口可以互易。



图 3 光子晶体定向耦合器结构模型

3 仿真结果

定向耦合器的主要技术指标包括:直通损耗、耦合度、隔离度、定向性。耦合度表征了耦合端口耦合出的功率,隔离度表征了耦合到隔离端口的功率,定向性表征了耦合端口与直通端口的功率比。

利用 HFSS 对光子晶体定向耦合器进行仿真,结果如图 4~图 8 所示。图 4 为输入端口驻波特性,在 0.28 THz~0.32 THz 范围内回波损耗均小于-10 dB;图 5 为直通端口损耗特性,在 0.28 THz~0.32 THz 范围内直通端口损耗小于 3 dB,最小损耗 0.85 dB;图 6 为隔离端口传输特性,最大隔离度-28.8 dB;图 7 为耦合端口传输特性,在 0.28 THz~0.32 THz 范围内耦合度最大-6.36 dB,最小-9.67 dB;图 8 为耦合方向性,在 0.28 THz~0.32 THz 范围内,方向性为-6.5 dB ± 0.5 dB。从仿真结果看,该定向耦合器工作中心频率在 0.3 THz 左右,带宽约 40 GHz。图 9 为 0.3 THz 时定向耦合器中的场分布。



4 结论

光子晶体最早应用于光学频段,近年来随着太赫兹技术的兴起,太赫兹频段的光子晶体应用呈快速发展的趋势。而在太赫兹技术中,太赫兹信号功率强度的检测与监控,是太赫兹雷达、通信、成像等系统应用中必不可少的环节。本文通过在太赫兹光子晶体中引入组合型线缺陷的方式,实现了良好耦合特性的太赫兹定向耦合器,为设计实用化的太赫兹光子晶体定向耦合器提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] Siegel P H. Terahertz technology[J]. IEEE Trans. MTT, 2002,50(3):90–92.
- [2] Nemec H,Kuel P,Duvillaret L,et al. Highly tunable photonic crystal filter for the terahertz range[J]. Optics Letters, 2005, 30(5):549-551.
- [3] Dunbar L A, Moreau V, Ferrini R, et al. Design, fabrication and optical characterization of quantum cascade lasers at terahertz frequencies using photonic crystal reflectors[J]. Optics Express, 2005,13(22):8960-8968.
- [4] Settle M D, Engelen R J P, Salib M, et al. Flatband slow light in photonic crystals featuring spatial pulse compression and terahertz bandwidth[J]. Optics Express, 2007,15(1):219-226.

- [5] Drysdale T D,Blaikie R J,Cumming D R S. Calculated and measured transmittance of a tunable metallic photonic crystal filter for terahertz frequencies[J]. Appl. Phys. Lett., 2003,83(26):5362-5364.
- [6] Wilk R,Krumbholz N,Rutz F,et al. Dielectric reflectors for terahertz frequencies[J]. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2007,2(1):77–82.
- [7] LI Zhangjian, ZHANG Yao, LI Baojun. Terahertz photonic crystal switch in silicon based on self-imaging principle[J]. Optics Express, 2006,14(9):3887-3892.
- [8] Noda S, Yamamoto N, Kobayashi H, et al. Optical properties of three-dimensional photonic crystals based on III-V semiconductors at infrared to near-infrared wavelengths[J]. Applied Physics Letters, 1990,75(7):905-907.
- [9] Yablonovitch E. Photonic band-gap structures[J]. Opt. Soc., 1993,10(l):283-295.
- [10] Plihal M,Maradudin A A. Photonic band structure of two-dimensional systems: The triangular lattice[J]. Phys. Rev. B, 1991,44(16):8565-8571.

作者简介:



陈 琦(1981-),男,重庆市人,副研究员, 在读博士研究生,主要研究方向为太赫兹技术、 光子晶体与超材料.email:qchen1103@163.com. 何晓阳(1983-),男,湖北省咸宁市人,博 士,副研究员,主要研究方向为太赫兹技术、光 子晶体与超材料.

张 健(1968-),男,四川省大竹县人,研究员,博士生导师,主要研究方向为电子学系统、无线电测控通信、太赫兹科学技术、集成微系统技术等.

中国高科技产业化研究会

第九届全国信号和智能信息处理与应用学术会议征文通知

中国高科技产业化研究会智能信息处理产业化分会拟定于 2015 年 10 月中下旬(具体时间和地点待定)召开全国第九 届信号和智能信息处理与应用学术会议。经由我会专家组成的论文评审委员会评审并被录用的论文,全部在国家中文核心 期刊《计算机工程与应用》出版的专刊上发表,出版的专刊赠送两册给每篇论文的第一作者。根据作者的需求,可将部分 论文,择优推荐到《电子学报》、《测控技术》、《信号处理》、《太赫兹科学与电子信息学报》、《红外与激光工程》 等杂志社的刊物上发表。欢迎社会各界踊跃投稿,望分会各位理事带头投稿并参加会议。

征文内容、征文要求、论文撰写要求,见《太赫兹科学与电子信息学报》网站(www.iaeej.com)。

论文电子投稿: xuehui121@sina.com。截稿时间: 2015 年 5 月 30 日前,过期不候。投稿一个月后,论文审查合格后 首先发电子版录用通知,然后在通过邮局寄发平信纸稿录用通知;请查收并回复是否收到。

办公室联系人: 曾 丽: 010-62228765、13611218623 组委会顾问: 郭桂蓉 毛二可 李衍达 侯朝焕 李启虎 倪光南 张彦仲 组委会负责人:龙 腾(北京理工大学信息与电子学院院长) 会议总策划兼执行秘书长: 曾义芳 13621330075 **主管单位:**中国高科技产业化研究会 主办单位: 中国高科技产业化研究会智能信息处理产业化分会 中国高科技产业化研究会信号处理专家委员会 **协办单位**:北京理工雷科电子信息技术有限公司 北京中际孚歌科技有限公司 天津英贝特航空航天科技有限公司 《计算机工程与应用》杂志社 **支持单位:**全国相关的高等院校、军内外科研院所几百家单位(略) **学会办公室:**北京理工大学新信息楼 911 室; (010)-68914734(办公)

中国高科技产业化研究会信号处理专家委员会 014 年 10 月 15 日 中国高科技产业化研究会智能信息处理产业化分会 2014年10月15日