隐身材料*

赖 耘[1,2] 杭志宏[1] 黄学勤[1] 陈子亭[1,†]

(1 香港科技大学物理学系 香港)

(2 苏州大学物理学系 苏州 215006)

摘 要 由于超构材料(metamaterials)的发现,隐身(cloaking)科学近年来取得了长足的发展.与军事上的隐形(stealth)所不同的是,隐身指的是将电磁波的散射在各个方向上都完全消除,从而实现神话故事或科幻小说中那种真正的全方位、全角度的"消失".隐身也因其重要的科学价值以及将对人类生活产生跨越式的改变而成为国际上的科研热点.除了隐身之外,科学家还证明了可以将物体变成任意的幻像,从而在光学上实现了孙悟空的"七十二变",这被称为幻像光学(illusion optics).未来,隐身和幻像光学的发展有望将人类的极限想象变为现实.文章介绍了作者在隐身和幻像领域里的一些工作.

关键词 隐身,超构材料,幻像光学

Cloaking materials

LAI Yun[1,2] HANG Zhi-Hong[1] HUANG Xue-Qin[1] CHAN Che-Ting[1,†]

(1 *Department of Physics, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China*)

(2 *Department of Physics, Soochow University, Suzhou* 215006, *China*)

Abstract There has been extensive development in the study of cloaking technology since the discovery of metamaterials. Different from "stealth" technology used for military purposes, cloaking refers to a total annihilation of the scattering of electromagnetic waves in all directions, and thus achieving invisibility as depicted in mythology and sci-fiction. Because of its scientific importance and the possible dramatic impact on technology, cloaking has become a hot research topic. Moreover, illusion optics has also been demonstrated by means of which scientists can make an object "look like" anything else. The development of cloaking and illusion optics could turn human imagination to reality in the future. Some of our works in cloaking and illusion optics are reviewed here.

Keywords cloaking, metamaterials, illusion optics

1 隐身与幻像

隐身是人类自古以来的梦想.早在希腊神话里,珀耳修斯(Perseus)戴着隐形头盔,才顺利地消灭掉蛇发魔女梅杜莎(Medusa).因此,隐身这瓶"调味剂"经常出镜于小说和电影当中,从哈利波特(Harry Potter)的隐身斗篷,到铁血战士(Predator)的隐身装置,以及各种科幻电影中的隐形飞船等,无一不体现了人类天马行空的想象力.不过,想象终归是想象,多数人可能从未想过有朝一日可以利用科学的力量把脑海里想象的隐身呈现到现实中来.

2006年,英国物理学家J. B. Pendry的课题组和苏格兰物理学家U. Leonhardt分别独立地提出了利用科学的方法可以真正实现隐身这一人类自古以来的梦想[1,2].他们从麦克斯韦方程组(或亥姆霍兹方程)在坐标变换(或保角变换)下的形式不变性出发,发现可以构造出一个被称作隐身斗篷的装置来实现隐身.隐身斗篷的概念如图1(a),(b)所示.它拥有控制光线前进路线的神奇能力.当光线从斗篷任意一端进入隐身斗篷时,它会走一个弯曲的路径绕过隐身斗篷包住的一个隐藏区域,再从斗篷的另一端原方向出射.这样,任何斗篷遮盖的物体都可以被隐藏在斗篷的隐藏区域里而不和外界入射光发生作用;对入射光而言,经过隐身斗篷和通过同等体积的一块自由空间是一样的,从而消除了物体散射,

* 香港大学教育资助委员会优配研究金(批准号:Hong Kong RGC 600209)资助项目

2011-12-19收到

† 通讯联系人. Email:phchan@ust.hk

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实现了隐身.隐身斗篷一经提出,立刻引起了全世界科学界的强烈兴趣[3—5],并获得了长足的发展.隐身斗篷的类型可以分为两种:一种是全空间的隐身斗篷(图1(a))[1—5];另一种是半空间的地毯式隐身斗篷(图1(b))[6].其中,地毯式隐身斗篷是基于反射设计的,因此要依附于一片地面.

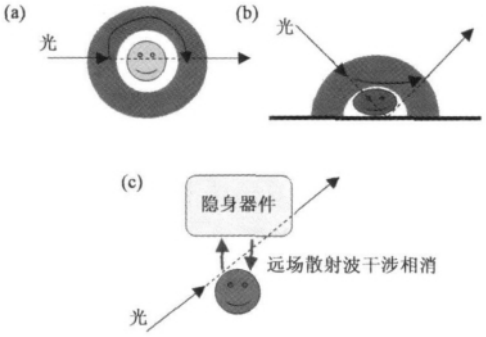


图1 几种隐身方法示意图 (a)全空间隐身斗篷;(b)地毯式隐身斗篷;(c)远程隐身

隐身斗篷的理论并不复杂,但是它要求的材料性质非常独特.要控制光线的前进路线,最简单的方法就是利用材料折射率的逐渐改变来实现.自然界中的海市蜃楼,其实就是空气折射率逐渐改变而产生的光学现象.然而,通过研究发现,要实现隐身斗篷,需要的折射率参数比较极端.比如,一种方法是需要各向异性的材料并涉及到零和接近无穷大等奇异的参数.自然界中的光学材料无法达到这些极端的材料参数.幸运的是,在近年的超构材料(metamaterails)研究中,人们发现人工微结构谐振材料可以实现自然界中不存在的一些奇特的新型材料.例如,介电常数和磁导率分别或都为负数的单负或双负材料,介电常数为零的零折射率材料,等等.因此,人们自然联想到利用超构材料来实现隐身斗篷.2006年,美国物理学家D. R. Smith的课题组利用超构材料在微波频段实现了全空间隐身斗篷[7].之后,各国学术界竞相展开了超构材料隐身斗篷的研究,向着光波段的宏观隐身进军,并在多个频段上(包括光频)实现了地毯式隐身斗篷[8—14].

要实现隐身,并非只有隐身斗篷一种方法.2009年,我们提出了另一种实现隐身的方法,即远程隐身[15].如图1(c)所示,远程隐身不需要像隐身斗篷一样包住物体,只需要把一个隐身器件放在物体附近即可.它的原理不是控制光线前进的路线,而是通过隐身器件和物体各自的散射光相互干涉相消,从而实现隐身.干涉相消是光学波动性的基本现象.但远程隐身的神奇之处在于,对于任意角度,任意形式的入射光,隐身器件都可以完美地将物体的散射光消除.与隐身斗篷相比,远程隐身的优点是显而易见的.首先,无需包住物体;其次,隐身斗篷隐藏空间里的物体无法看见入射光,即与外部世界隔绝,而被远程隐身的物体是可以看见入射光的;最后,远程隐身可以只隐身物体的一部分,从而实现透视等奇妙的功能.因为这些优点,远程隐身的研究工作一经发表即获众多媒体报道.其中*Science*的报道标题是"隐身雨伞可以让未来的哈利波特看见光"[16],而*Nature*的报道标题是"超越隐身斗篷"[17].

从坐标变换的角度看,远程隐身和隐身斗篷的区别在于,做坐标变换的时候,一个涉及到空间折叠的操作(远程型),而另一个涉及到空间一点膨胀的操作(斗篷型).因此,远程隐身器件和隐身斗篷的参数显著不同.首先,远程隐身器件的设计会依赖于物体本身的性质,如形状以及位置;其次,远程隐身器件涉及介电常数和磁导率都为负数的材料,因此要用超构材料来实现;最后,隐身器件和物体之间存在强烈的多重散射和局域场,这意味着对隐身器件的精细度、低损耗等要求比较高,现阶段还较难实现.但无论如何,远程隐身理论勾画出了人类实现隐身的另一条途径.

最近,南京大学程建春课题组又提出了另一种利用包层来实现隐身的方法[18].这种方法虽然和隐身斗篷一样要用材料包住被隐身的物体,但并不要求弯曲光线路径,而是通过包层使得物体的散射变为零.因为光线仍然会和物体发生作用,所以物体也可以看见外部世界,这和远程隐身有异曲同工之妙.武汉大学汪国平课题组则提出地毯式远程隐身的想法,可以将放在地面上的物体隐身[19].此外,他们还提出了隐身的傅里叶光学理论[20].

其实,无论是哪种隐身方法,隐身都可以看成是一种特殊的光学幻像,即自由空间的幻像.例如,把一个苹果在光学上变成一片自由空间,就是对苹果实现了隐身(图2(a)).那么,一个很自然的想法就是,既然可以实现自由空间的幻像,有没有可能实现任意一个物体的幻像呢?比如说,把一个苹果在光学上变成一根香蕉(图2(b))?答案是肯定的.2009年,我们首次提出并证明了可以利用坐标变换和超构材料把一个物体在光学上变成任意物体的概念和理论,即幻像光学[21].它把隐身作为一个特例推广到了一个更加丰富多彩的幻像领域.用通俗的话来说,幻像光学就是在光学上实现了孙悟空的"七十二变".幻像光学的研究工作一经发表立刻引起了学术

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

界广泛的兴趣和关注. 其中,隐身领域创始人 J. B. Pendry 在 *Nature* 上评论说:幻像光学彻底否定了"所见即所得"("Seeing is believing.")的人类几千年的经验常识,具有重要的科学和哲学意义[22].

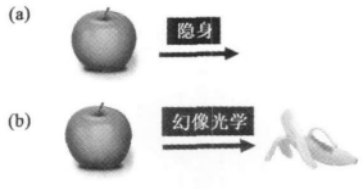


图 2 隐身与幻像的概念 (a)隐身;(b)幻像光学

要实现一个任意物体的幻像,至今有两种方法. 一种方法类似于远程隐身,即在物体旁边放一个幻像器件,把物体的散射光改变为幻像物体的散射光,从而让外界观测者看见一个幻像. 幻像器件和隐身器件一样需要用到负参数的超构材料. 另一种方法类似于隐身斗篷,需要设计一个包住物体的幻像斗篷,参数材料不需要负数(由东南大学崔铁军课题组提出[23]). 值得一提的是,虽然实验难度很大,但幻像光学的一个应用——隐蔽通道,已经被中国科学院电子学研究所李超课题组利用传输线在微波段的实验所证实[24].

令人欣喜的是,在隐身和幻像这个新兴科学领域里,中国的物理学家们走在世界前列,做出了重要的工作. 下面将要简单介绍一下我们的工作:即远程隐身[15]和幻像光学[21],以及利用波导内零折射率材料实现隐身[25].

2 远程隐身

远程隐身是指在远距离处用一个远程隐身器件实现隐身的功能. 隐身器件是由补偿介质(complementary medium)和恢复介质(restoring medium)巧妙组合而成的. 其原理如图 3 所示. 其中图 3(a)显示补偿介质的构造方法和功能. 补偿介质是通过空间折叠的坐标变换产生的. 如图 3(a)所示,将包含一个月亮形物体(蓝色,见《物理》网刊彩图,下同)的一块空间向左折叠就会产生一块介电常数(ε')和磁导率(μ')都等于 -1 的补偿介质(黑色),其中还包含了一个月亮形物体的映像(红色),其参数刚好和原物体(蓝色)相反. 补偿介质具有奇特的作用. 当光线射到虚拟边界,也就是被折叠空间的表面($x=L$)时,光线会隧穿到补偿介质的表面($x=-L$),并保持其动量和相位不变. 整体的效果就好像($-L$, L)这个区间不存在一样. 补偿介质的概念最早是由 J. B. Pendry 等提出来的[26].

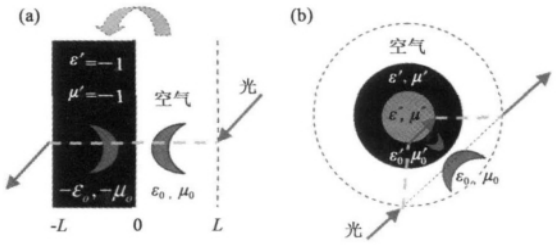


图 3 (a)补偿介质的构成和功能;(b)远程隐身器件的原理

利用补偿介质就可以实现远程隐身,原理如图 3(b)所示. 首先,制造一个圆圈形的补偿介质. 当光线射到虚拟边界的时候,会隧穿到补偿介质(黑色)的内表面并保持动量和相位不变. 然后,在补偿介质内部填满一种叫恢复介质的材料(绿色),让光线在恢复介质里传播. 当光线再次射到补偿介质的内表面时,它会再次隧穿到虚拟边界上. 如果光在恢复介质中走的光程等于光在空气中按黑色虚线(连接入射光和出射光)走的光程的话,那么,整个系统的光学性质就变得和自由空间一样. 也就是说,对月亮形物体(蓝色)实现了远程隐身.

我们利用变换光学严格证明了远程隐身的理论. 此外,我们还用有限元方法做了数值验证. 图 4 是远程隐身的数值模拟结果. 图 4(a)显示一个电介质物体($\varepsilon=2$)在平面波入射时的明显的散射. 图 4(b)显示在物体边上放置一个隐身器件时的散射情况,可以看到整个系统的散射都消失了,也就是说,对物体实现了远程隐身. 值得注意的是,在图 4(b)中,可以看到入射光是直接照射在物体上的,因此,物体可以看见外部世界. 此外,隐身器件的隐身功能对于任意方向、任意形式的入射光都是适用的.

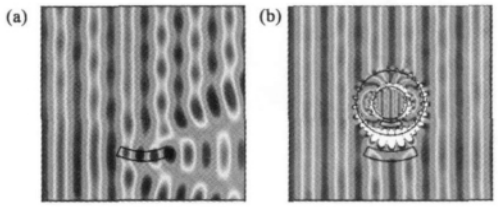


图 4 (a) 一个条形物体的散射;(b) 用一个远程隐身器件将物体隐身

远程隐身还具有很多隐身斗篷所不具备的有趣功能. 图 5 展示了远程隐身的功能之一——透视. 图 5(a)显示一堵不透明的墙($\varepsilon=-1$)将光挡在了左边. 图 5(b)显示可以将墙的一部分"隐身",从而制造一个虚拟的"洞",可以让光透过这个虚拟的洞传播到右边. 其效果和一个真实的洞(图 5(c))是一模一样的. 这个功能未来可能在医疗透视等方面具有

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重要的应用.

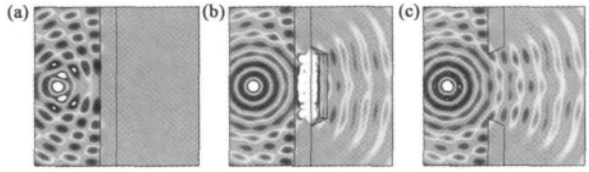


图5 (a)一堵不透明的墙;(b)在墙上开一个虚拟的"洞";(c)在墙上开一个真实的洞

3 幻像光学

幻像光学是指利用一个幻像器件将一个物体在光学上变成任意的幻像物体.隐身只是幻像光学的一个特例,即变成自由空间的幻像.因此,幻像光学是一个比隐身更加广泛和丰富多彩的范畴和领域.

幻像器件的原理和隐身器件是类似的.图6展示了利用一个幻像器件将一个男人在光学上变成一个女人的过程.要实现这一点,就必须证明一个男人和幻像器件(图6(a))的光学性质可以变得和一个女人(图6(b))的光学性质完全一样.女人存在的空间我们称之为幻像空间.图6(c)展示了真实空间(即男人和幻像器件)的物理系统描述.幻像器件是由两部分组成的,即补偿介质(区域2)和恢复介质(区域1).补偿介质负责将男人所在空间(区域3)的散射消除.而恢复介质则负责完全恢复出女人所在的幻像空间的光学性质(区域4).通过这两步变换,就可以在光学上把男人变成了女人.

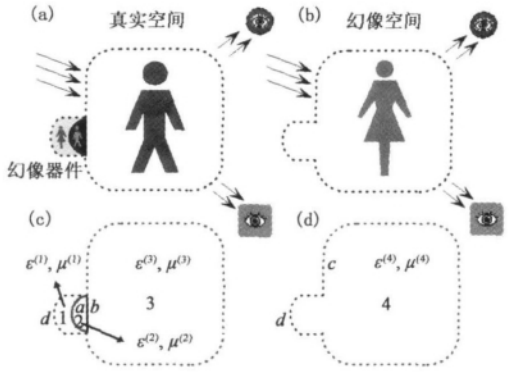


图6 在光学上将一个男人变成一个女人 (a)真实空间里的男人和幻像器件;(b)幻像空间里的女人;(c)真实空间的物理系统描述;(d)幻像空间的物理系统描述

我们同样利用变换光学严格证明了幻像光学的理论.此外,亦用有限元方法做了数值验证.图7展示了一个有趣的数值模拟:利用幻像光学将一个电介质勺子变成一个金属杯子.图7(a)显示一个电介质勺子在平面波入射下的散射.图7(b)显示当把一个幻像器件放在勺子边上的时候,其散射场发生了变化,变成了一个金属杯子在同样入射波下的散射场(图7(c)).因此,任何观测者都会看到一个杯子的幻像.同样,幻像器件的功能是不依赖于入射光的角度和性质的.

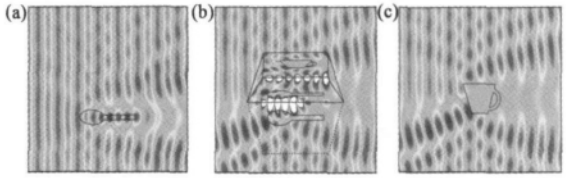


图7 (a)一个勺子的散射;(b)将勺子"变"成一个杯子;(c)一个杯子的散射

幻像光学将之前的一些研究(如超级散射体[27]、超级吸收体[28]等)高度统一起来,并具有隐蔽通道[29]、缩小光学器件[30]、远程控制光[31]等众多的新颖应用.因此,它具有非常重要的科学应用价值.

4 波导管内的隐身

除了传统意义上的隐形研究,我们还研究了波导管内的隐形问题.一般情况下,电磁波可以很好地在波导管中传播;但是如果在波导管中存在一个物体,电磁波就很容易受到散射,从而使得出射的电磁波波前(wavefront)发生改变.散射体越大,对出射波前以及出射电磁波强度的影响也越大.能不能在波导管中填上一些"特殊"材料,使得不管波导管中放什么散射体,出射电磁波的波前都不会发生改变?从这个角度来说,这个散射体就在波导管中被隐形了.

另外,传统的波导管只能沿近似直线传播;而让光转弯本身就是一个非常有趣、也很有应用价值的研究.2006年,美国宾夕法尼亚大学的Silverinha和Engheta[32]首先发现了,如果在波导管中填上零折射率的材料(zero-index material),电磁波可以完全从这个波导管中传播,即便这个波导管是弯弯曲曲、任意形状的.这种特殊的传播性质是由零折射率材料本身的性质所决定的.我们都知道,电磁波在介质中传播是由这个介质的折射率决定的.如果这个材料的折射率是零,那么在这个材料中传播的电磁波的位相不会发生任何改变,且并不和这种材料的摆放形式有关.这也就是为什么电磁波可以在填充了零折射率材料的波导管中任意转弯,而出射的位相只和入射界面的位相有关.同时,在2006年,Engheta[33]和美国杜克大学的D. R. Smith[34]研究组都分别从实验上实现了这种特殊的波导管.我们已经

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

知道，采用超构材料，利用金属构造一些特殊谐振结构，可以人为地调整材料的介电常数和磁导率. 而在之前的实验工作中，也正是利用了超构材料，通过构造介电常数等于零的材料，实现了零折射率. 进一步的理论工作发现，电磁波在填充了零折射率材料的波导管中的传播还有很丰富的物理现象. 通过改变隐藏在零折射率材料中的散射体的物理性质（大小、介电常数等），可以使通过这个波导管的透射率是可调的[35,36]. 一个很小的散射体，就可以使得入射到波导管的电磁波全部反射——这个散射体的有效散射截面可以和整个波导管的截面相同. 虽然物理机制不同，但也部分实现了前面我们利用幻像光学可以实现的现象.

之前实现的零折射率材料都运用了超构材料，并利用金属构造一些特殊谐振结构. 但是，引入金属并采用谐振结构，电磁波在材料中的损耗就不得不考虑进来，这也阻碍了零折射率材料向高频，特别是向可见光波段的发展和应用. 能不能避免使用金属，而完全利用介质材料来实现这种特殊而有用的材料呢？答案是肯定的，我们成功地利用二维介质光子晶体在微波波段的实验中实现了这种材料[25].

图 8(a)显示材料的结构示意图：在四方晶格正中间摆放上一根介质圆柱（绿色）. 这里，电场极化是沿着圆柱的轴线方向. 通过改变圆柱的介电常数或者圆柱的半径，我们可以让第二、三、四条能带在布里渊区中心发生简并. 这就是通常所说的偶然简并（accidental degeneracy）. 令人诧异的是，当这三条能带发生简并之后，我们可以证明，第二和第四两条能带在布里渊区中心附近，有着线性的色散关系. 这种色散关系，可以和电子体系中的狄拉克方程（Dirac equation）有一一对应关系. 我们在布里渊区中心实现了一个狄拉克点（Dirac point）（图 8(b)）. 我们知道，狄拉克点是石墨烯（graphene）结构的一个特殊性质，许多很特别的物理现象都能够在狄拉克点附近产生. 同样，在我们的光子晶体中，也存在着这些复杂而有趣的物理现象，由于篇幅有限，我们就不在本文中展开了.

而更奇特的是，从这二、三、四条能带的本征模式中我们发现，这三条能带正好对应电单极子和电偶极子的相互作用. 于是我们使用有效介质理论（effective medium theory）[37]，对现有的光子晶体进行有效参量化. 我们发现，正好在这个狄拉克频率（也就是三条能带在布里渊区中心发生简并的那个频率）处，我们的光子晶体结构的有效介电常数和有效磁导率恰恰都等于零. 也就是说，我们可以使用介质光子晶体实现零折射率材料. 之前的零折射率材料是利用超构材料，让结构的有效介电常数为零，从而实现零折射率. 虽然实验结果很有趣，但是因为在空气和零折射率材料之间的阻抗很不匹配，为了让电磁波有效传播，波导管的横向截面积不能太大（要求小于入射电磁波的波长和界面宽度之积）. 但是，我们的零折射率材料同时让有效介电常数和有效磁导率都等于零（双零材料），这样就避免了阻抗不匹配的问题. 此外，因为我们的光子晶体是由介质构建而成的，这就可以避免在使用金属构造超构材料时由金属带来的吸收问题. 而现有的成熟纳米光学技术使我们相信，这种材料在光学频段的出现已指日可待[38].

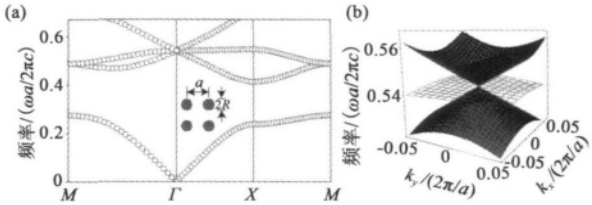


图 8 (a)零折射率二维光子晶体能带结构；(b)在布里渊区中心附近的三维能带结构

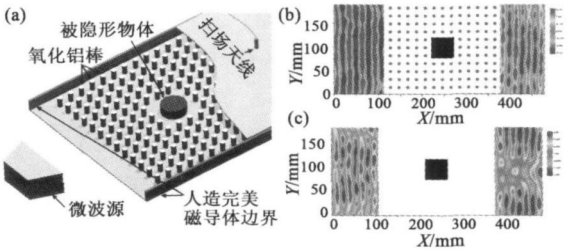


图 9 (a)实现二维光子晶体零折射率材料的实验结构图；(b)散射体在波导管中的隐形；(c)没有填充零折射率光子晶体，金属散射体（黑色）会在波导管中引起很大的散射

为了验证我们的理论构想，我们还在微波频段实现了这种材料. 图 9(a)是我们的实验结构图. 我们使用了氧化铝材料来构建光子晶体（灰色圆柱）. 通过扫描入射和出射位置的波导管内的电场分布，我们清晰地发现，如果只是在波导管中摆放一个金属散射体（黑色），因为散射体的存在，出射位置的电场受到了很大的影响（图 9(c)）. 有很大一部分波导管被挡住了；很容易就知道这个散射体存在于这个波导管中. 然而，如果我们用零折射率光子晶体包围住同样大小的散射体，正如其他理论或实验上的工作所预期的，如果用零折射率材料包裹住散射体，那么出射的电磁波的波前仍然是平面波的形式. 可以说，这个散射体在波导管中被“隐身”了. 我们的实验结果和我们用有限元方法计算得出的结果吻合得相

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当好.另外,与原本只是用介电常数为零的零折射率材料不同,我们的波导管的截面积没有任何限制.

5 总结与展望

自从麦克斯韦建立了他著名的方程组以来,已经过去了一百多年了.令人惊奇的是,一直到现在,基于这个著名的方程组之上,仍然有层出不穷的新物理现象不断地被发现.隐身和幻像理论的提出是近年来最重大的突破之一.基于其诱人的前景和各国的大力支持,相关实验的进展也非常迅速.我们相信隐身和幻像的各种应用在不远的未来就会真正实现.

参考文献

[1] Leonhardt U. Science,2006,312:1777
[2] Pendry J B *et al*. Science,2006,312:1780
[3] Milton G W *et al*. New J. Phys.,2006,8:248
[4] Chen H S *et al*. Phys. Rev. Lett.,2007,99:063903
[5] Ruan Z *et al*. Phys. Rev. Lett.,2007,99:113903
[6] Li J,Pendry J B. Phys. Rev. Lett.,2008,101:203901
[7] Schurig D *et al*. Science,2006,314:977
[8] Liu R *et al*. Science,2009,323:366
[9] Valentine J *et al*. Nature Materials,2009,8:568
[10] Gabrielli L H *et al*. Nature Photonics,2009,3:461
[11] Ergin T *et al*. Science,2010,328:337
[12] Ma H F,Cui T J. Nature Communications,2010,1:21
[13] Chen X H *et al*. Nature Communications,2011,2:176
[14] Zhang B L *et al*. Phys. Rev. Lett.,2011,106:033901
[15] Lai Y *et al*. Phys. Rev. Lett.,2009,102:093901
[16] Cho A. Science,2009,323:701
[17] Nature,2009,458:128
[18] Zhu X F *et al*. Phys. Rev. Lett.,2011,106:014301
[19] Wu K D,Wang G P. Opt. Express,2010,18:19894
[20] Wu K D,Wang G P. Opt. Lett.,2010,35:2242
[21] Lai Y *et al*. Phys. Rev. Lett.,2009,102:253902
[22] Pendry J. Nature,2009,460:579
[23] Jiang W X *et al*. Appl. Phys. Lett.,2010,96:121910
[24] Li C *et al*. Phys. Rev. Lett.,2010,105:233906
[25] Huang X Q *et al*. Nature Materials,2011,10:582
[26] Pendry J B,Ramakrishna S A. J. Phys. Condens. Matter.,2003,15:6345
[27] Yang T *et al*. Opt. Express,2008,16:18545
[28] Ng J *et al*. Opt. Lett.,2009,34:644
[29] Luo X D *et al*. Appl. Phys. Lett.,2009,94:223513
[30] Wee W H,Pendry J B. New J. Phys.,2009,11:073033
[31] Liang Z X *et al*. Opt. Express,2010,18:2049
[32] Silveirinha M,Engheta N. Phy. Rev. Lett.,2006,9X7:157403
[33] Edwards B *et al*. Phy. Rev. Lett.,2008,100:033903
[34] Liu R *et al*. Phy. Rev. Lett.,2008,100:023903
[35] Hao J *et al*. Appl. Phys. Lett.,2010,96:101109
[36] Nguyen V C *et al*. Phy. Rev. Lett.,2010,105:233908
[37] Wu Y *et al*. Phys. Rev. B,2006,74:085111
[38] Gabrielli L H *et al*. Nature Photon.,2009,3:461

·读者和编者·

订阅《物理》得好礼
——超值回馈《岁月留痕—〈物理〉40年集萃》

阅读《物理》,您将了解物理界大事,博学多闻,轻松掌握当代物理学发展脉动.

2012年《物理》创刊40周年,为答谢广大读者长期以来的关爱和支持,《物理》编辑部特推出优惠订阅活动:向编辑部连续订阅两年(2013—2014年)《物理》杂志的订户,将免费获得《岁月留痕—〈物理〉40年集萃》一本(该书收录了从1972年到2012年在《物理》各个栏目发表的四十篇文章,476页精美印刷,定价68元,值得收藏).

欢迎各位读者订阅《物理》(编辑部直接订阅优惠价180元/年).

订阅方式:

(1)邮局汇款

地址:100190,北京603信箱《物理》编辑部收

(2)银行转账

开户行:农行北京科院南路支行

户 名:中国科学院物理研究所

帐 号:250101040005699

(银行汇款请注明"《物理》编辑部")

欲了解更多详情可以登录 www.wuli.ac.cn 查询,也可来电咨询.

咨询电话:(010)82649266;82649277

Email: physics@iphy.ac.cn



?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net