

基于混合周期栅网结构的频率选择表面设计研究

张建 高劲松 徐念喜 于淼

Design and study of frequency selective surface based on hybrid period metallic mesh

Zhang Jian Gao Jin-Song Xu Nian-Xi Yu Miao

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 067302 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.067302

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.067302>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I6>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

拓扑绝缘体 Bi_2Se_3 中层堆垛效应的第一性原理研究

Stacking effects in topological insulator Bi_2Se_3 : a first-principles study

物理学报.2014, 63(18): 187303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.187303>

InAlN 材料表面态性质研究

Surface states of InAlN film grown by MOCVD

物理学报.2013, 62(17): 177302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.177302>

非对称 DBR-金属-DBR 结构的光学 Tamm 态理论研究

Optical Tamm state theory study on asymmetric DBR-metal-DBR structure

物理学报.2013, 62(16): 167303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.167303>

光学透明频率选择表面的设计研究

Design and study of optically transparent band-pass frequency selective surface

物理学报.2013, 62(14): 147304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.147304>

Cu/CeO₂(110) 界面特性的第一性原理研究

A first-principle study on the interfacial properties of Cu/CeO₂(110)

物理学报.2013, 62(11): 117301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.117301>

基于混合周期栅网结构的频率选择表面设计研究*

张建¹⁾²⁾ 高劲松^{1)†} 徐念喜¹⁾ 于淼¹⁾²⁾

1)(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 中国科学院光学系统先进制造技术重点实验室, 长春 130033)

2)(中国科学院大学, 北京 100039)

(2014年9月17日收到; 2014年10月23日收到修改稿)

在栅网结构上设计的频率选择表面能够同时实现红外高透过率和毫米波带通的物理特性. 为了提高其光学透过率, 降低表面电阻, 抑制高次衍射能量对光学系成像质量的影响, 本文通过分析基于栅网结构的频率选择表面衍射光强和表面电流, 提出一种新型基于混合周期栅网结构的频率选择表面. 计算及实验结果均表明: 在实现稳定的毫米波带通滤波的同时, 基于混合周期栅网结构的频率选择表面红外透过率提高了5%以上, 表面电阻平均降低了4 Ω , 有效地抑制了因高次衍射能量集中分布而对红外光学系统成像质量的影响.

关键词: 光电窗, 双模探测, 频率选择表面, 栅网结构

PACS: 73.20.-r, 73.61.-r

DOI: 10.7498/aps.64.067302

1 引言

在栅网结构上设计的频率选择表面 (frequency selective surface, FSS) 是由电连接的金属网栅和谐振缝隙单元组合而成, 它不仅具有光学高透过率特性, 而且还具有毫米波带通滤波特性, 从而能够兼顾光学 (可见光和红外) 波段及雷达波段双 (多) 模工作模式. 基于栅网结构的 FSS 技术是飞行器光学/毫米波双 (多) 模探测光电窗雷达隐身和抗电磁干扰有效的技术途径^[1-3].

近年来, 为了解决光学/毫米波双 (多) 模探测光电窗雷达隐身和电磁屏蔽问题, 隐身技术和电磁屏蔽技术研究领域的专家和学者已对 ITO 透明导电膜的 FSS 进行了研究, 但是 ITO 只适合透可见光, 且其电导率有限, FSS 谐振频点处的透射系数较低. 应用基于栅网结构的 FSS 技术解决未来航天器、空间天文观测仪器、深空探测仪器和空天/空地通信设备等装备的光学/毫米波双 (多) 模探测光电窗的抗电磁干扰和雷达隐身问题时, 它可同时具备以下三种功能:

- 1) 光学 (可见光、红外) 波段具有高透过率和高成像质量;
- 2) 微波波段具有优良的带通滤波特性;
- 3) 在低频及微波干扰波段具有强的低可探测性能和电磁屏蔽性能.

基于栅网结构的 FSS 设计必须同时兼顾对光学波段的高透过率、高成像质量, 对毫米波的优良带通滤波特性和对低频电磁干扰信号的电磁屏蔽性能. 哈尔滨工业大学谭久彬教授团队提出了一种基于六边形栅网结构的方孔形 FSS, 分别实现了 5.8 GHz 处的微波带通滤波功能和 1.35—3.3 μm 红外波段透射功能. 然而, 该结构由于表面电阻的增大和寄生电容的存在, 衰减了其带通频段内的透射率, 导致带通滤波产生了奇异谐振^[4]. 中国科学院长春光机所高劲松研究员团队提出了栅网微结构与谐振缝隙单元协同设计的方法, 在不影响光学透过率的前提下实现了优良的毫米波带通滤波特性. 然而, 该结构的 3—5 μm 的光学透过率以及红外成像质量还需要进一步提高^[5].

为提高基于栅网结构的 FSS 光学透过率, 降低其表面电阻, 抑制其高次衍射能量对光学系成像质

* 国家自然科学基金 (批准号: 61401424) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: gaojs@ciomp.ac.cn

量的影响, 本文通过研究基于栅网结构的FSS衍射特性以及表面电流分布, 提出了一种新型基于混合周期栅网结构的FSS模型. 实验与测试结果均表明: 在实现优良的毫米波带通滤波特性的同时, 该结构不仅在3—5 μm 光学波段透过率提高了5%以上, 而且还均匀化了高次衍射能量分布, 进一步增强了基于栅网结构的FSS在光学/毫米波双(多)模探测光电窗雷达隐身和电磁屏蔽技术中的应用.

2 物理模型的建立

在栅网结构上设计的FSS物理模型如图1(a)所示. 由于该结构的十字谐振缝隙单元与栅网结构

交错结合, 如图1(b)所示. 这不仅增加了该结构的表面电阻, 而且还将产生额外的寄生电容, 导致带通滤波曲线出现奇异谐振, 如图1(c)所示.

为了优化基于栅网结构的FSS带通滤波特性, 文献[1]提出栅网结构与谐振缝隙单元协同建模的方法, 即在谐振缝隙单元与栅网单元之间建立约束条件, 获得一种如图2(a)所示的物理模型, 这样我们只需要确定几个参数就可以将整个网栅FSS的模型确定下来, 既提高了设计效率, 也优化了其带通滤波特性. 由图2(b)可知, 当采用栅网结构与谐振单元协同建模时, 不仅能够获得接近理想导体的低表面电阻, 而且还能够有效抑制带通滤波曲线上的奇异谐振.

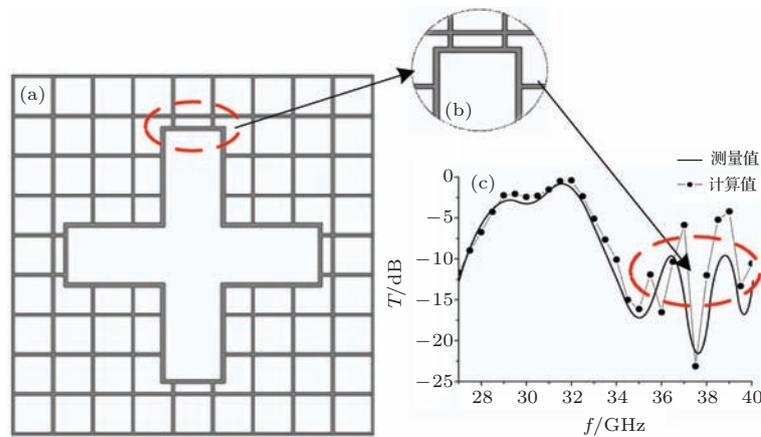


图1 基于栅网结构的FSS物理模型及其产生的毫米波带通滤波特性 (a) 基于栅网结构的FSS物理模型; (b) 基于栅网结构的FSS局部结构; (c) 基于栅网结构的FSS带通滤波曲线

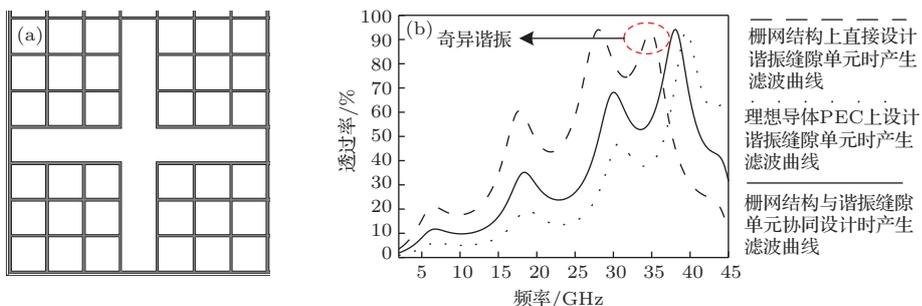


图2 栅网结构与谐振单元协同设计的物理模型及其产生的毫米波带通滤波特性 (a) 栅网结构与十字缝隙单元协同设计后的物理模型; (b) 在三种电连接表面上设计十字缝隙单元产生的滤波特性

Kohin 研究表明, 方格金属网栅的透光率可表示为

$$T = (g - 2a)^2 / g^2, \quad (1)$$

其中 T 为透光率, g 为网栅周期, $2a$ 为网栅线宽. 可见网栅周期越大, 线宽越小, 即孔隙比越大, 透过率越高. 为了进一步提高基于栅网结构的FSS光学透过率, 国内外研究学者一方面聚焦于(1)式的原理[6], 另一方面是通过优化栅网结构的微观单元

形状和空间布局, 如图3所示的辐射型栅格、交叠型、正交型圆环栅格, 以抑制集中分布的高次衍射能量, 提高光学系统成像质量[2,7].

但是, 在图3所示的栅格上设计谐振型缝隙单元时, 其加工工艺和理论分析制约了上述结构的工程应用. 为了进一步提高基于栅网结构的FSS光学透过率、降低表面电阻、抑制集中分布的高次衍射能量, 增强其在光学/毫米波双(多)模探测光电窗

雷达隐身和电磁屏蔽技术中的应用, 本文提出了一种基于混合周期栅网结构的FSS结构, 其构造过程如图4所示.

第一步是将正交栅格的拓扑结构沿着 x, y 方向分别移动 Δx 和 Δy , 形成一种由周期 g_1 和周期 g_2 构成的混合周期栅格结构. 这一步不仅能够进一步提高栅网结构FSS光学透过率, 而且同时还改变了栅网结构FSS的微观单元形状和空间布局, 从而能够抑制高次衍射能量集中分布, 提高光学系统的

成像质量.

第二步是采用混合周期栅格与谐振缝隙单元协同设计的方法, 建立基于混合周期栅格的FSS结构. 混合周期栅格与谐振缝隙单元协同设计时须要遵循以下约束条件: 十字谐振缝隙单元的臂宽等于混合周期 g_1 , 臂长必须等于混合周期 $2g_2 - g_1$. 这一步将确保基于混合周期栅格的FSS具有优良的带通滤波特性.

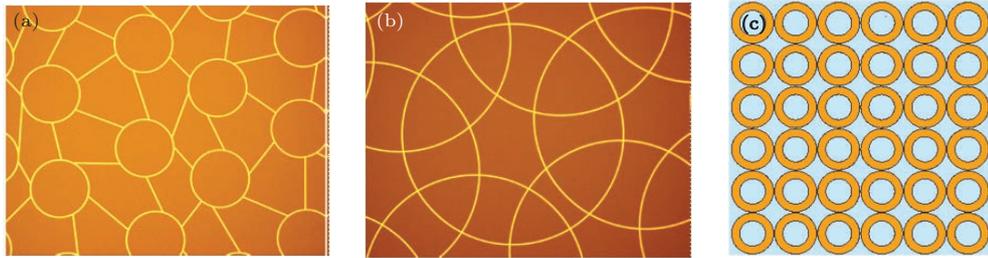


图3 (网刊彩色) 辐射型金属栅网结构与交叠圆环型金属栅网结构

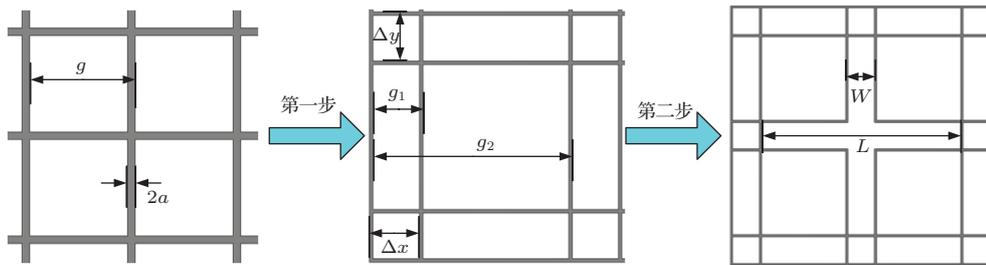


图4 基于混合周期栅网结构的FSS构造过程

为了满足空气动力学的要求, 光学/毫米波双(多)模探测光电窗通常呈现复杂曲面结构. 因此, 应用基于栅网结构的FSS技术解决光电窗的抗电磁干扰和雷达隐身问题时, 需要建立斜入射情况下的标量衍射模型并分析其斜入射情况下的衍射光强分布, 从而为优化设计栅网结构形式以及FSS结构形式提供数理模型. 文献[2]就是通过建立斜入射情况下的标量衍射模型来分析基于圆环型栅格的FSS在复杂曲面结构中的光学特性.

3 仿真计算

仿照(1)式, 由图2(a)对应的栅网结构FSS光学透过率表达式为

$$T = \frac{81(g - 2a)^2 + 12(g - 2a) \cdot 2a}{81g^2}, \quad (2)$$

式中 g 为栅网周期, $2a$ 为栅网线宽.

基于混合周期栅网结构的FSS光学透过率表

达式为

$$T = \frac{1}{81g^2} [9(g - 2a)^2 + 4(3g - 2a)^2 + 12(g - 2a)(3g - 2a) + 4(g - 2a) \cdot 2a], \quad (3)$$

式中 g 为基本栅网周期 $g_1 = g, g_2 = 4g, 2a$ 为栅网线宽.

我们采用中波红外透明材料 MgF_2 作为FSS的支撑介质, 其相对介电常数 ϵ_r 为5.25, 损耗角正切值为0.002, 厚度为3.82 mm. 根据(2)式和(3)式, 可得到图2(a)对应方格型栅网结构的光学透过率和图4对应混合周期栅网结构的光学透过率, 对比结果如图5所示. 由图5可知, 在相同金属栅格线宽 $2a$ 条件下, 新型基于混合周期的栅网结构FSS透光率提高了5%左右.

透光率的提高与带通滤波特性的稳定以及强电磁屏蔽效率之间是基于栅网结构的FSS固有的矛盾. 接下来, 采用文献[8]和文献[9]中描述的数

值计算方法对方格型栅网结构FSS和混合周期栅网结构FSS对应的频率响应特性进行仿真,验证基于混合周期栅网结构的FSS频率响应特性,计算结果如图6所示。

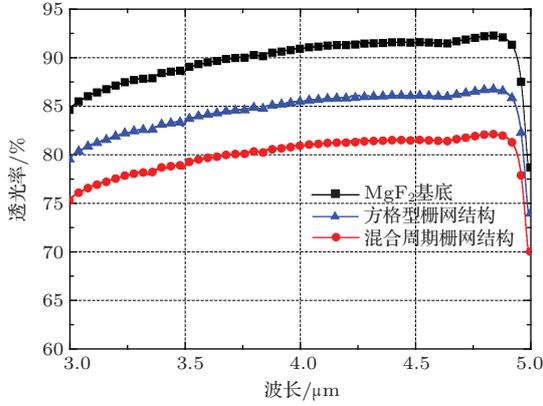


图5 (网刊彩色) 在MgF₂基底上制作的两种栅网结构FSS的中波红外透过率对比

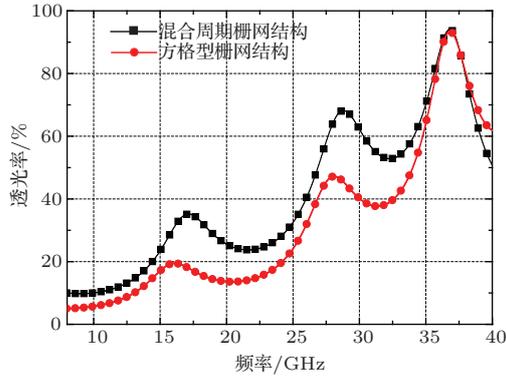


图6 (网刊彩色) 方格型和混合周期对应的栅网结构频率响应特性

由图6可知,采用混合周期栅网结构的FSS带

通滤波特性与图2所示的方格型栅网结构FSS带通滤波特性基本一致.而且,前者在光学透过率提高了5%的前提下,在频率小于10 GHz的电磁隐身频段,两者透过率均低于10%,在低频微波干扰频段,两者电磁屏蔽效率基本一致。

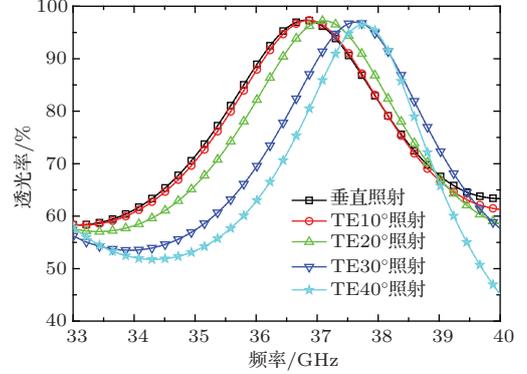


图7 (网刊彩色) 基于混合周期栅网结构的FSS不同扫描角度下的频响特性曲线

为了进一步验证基于混合周期栅网结构FSS具有稳定的带通滤波特性,以MgF₂为基底,混合周期栅网结构参数设计为: $2a = 28 \mu\text{m}$, $g_1 = 427 \mu\text{m}$, $g_2 = 761 \mu\text{m}$. 十字谐振缝隙单元结构参数设计为: 臂宽 $W = g_1$, 臂长 $L = 2g_2 - g_1$. 采用文献[8]和文献[9]中描述的数值计算方法得到如图7所示的频率响应特性曲线. 由图7可知,混合周期栅网结构与十字谐振缝隙单元协同设计的FSS具有稳定的带通滤波特性。

根据图2和图4所示的物理模型,分别构造出两种结构对应的光学窗函数,分析两种物理模型的衍射光强分布。

$$\begin{aligned}
 t(x, y) = & \left\{ \left[\sum_{m=-4}^{m=4} \sum_{n=-4}^{n=4} \text{rect} \left(\frac{x - mg}{g - 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - ng}{g - 2a} \right) + \sum_{m=-3}^{m=2} \sum_{n=-4}^{n=4} \text{rect} \left(\frac{x - 0.5g - mg}{2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - ng}{g - 2a} \right) \right. \right. \\
 & + \sum_{m=-4}^{m=4} \sum_{n=-3}^{n=2} \text{rect} \left(\frac{x - mg}{g - 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - 0.5g - ng}{2a} \right) + \sum_{m=-3}^{m=2} \sum_{n=-3}^{m=2} \text{rect} \left(\frac{x - 0.5g - mg}{2a} \right) \\
 & \times \text{rect} \left(\frac{y - 0.5g - ng}{2a} \right) - \sum_{m=-1}^{m=0} \text{rect} \left(\frac{x - 0.5g - mg}{2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{9g} \right) - \sum_{n=-1}^{n=0} \text{rect} \left(\frac{x}{9g} \right) \\
 & \times \text{rect} \left(\frac{y - 0.5g - ng}{2a} \right) - \text{rect} \left(\frac{x}{g - 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{g - 2a} \right) + \text{rect} \left(\frac{x}{g + 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{g + 2a} \right) \\
 & \left. + \sum_{m=-1}^{m=0} \text{rect} \left(\frac{x - 0.5g - mg}{2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y \pm 3.5g}{2a} \right) + \sum_{n=-1}^{n=0} \text{rect} \left(\frac{x \pm 3.5g}{2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - 0.5g - ng}{2a} \right) \right] \\
 & * * \sum_m \sum_n \delta(x - 9mg) \delta(y - 9ng) \left. \right\} \times \text{rect} \left(\frac{x}{9Mg} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{9Mg} \right), \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t(x, y) = & \left\{ \left[\sum_{m=-4}^{m=4} \sum_{n=-4}^{n=4} \text{rect} \left(\frac{x - mg}{g - 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - ng}{g - 2a} \right) + \sum_{m=-3}^{m=2} \text{rect} \left(\frac{x - 0.5g - mg}{2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{g - 2a} \right) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \sum_{n=-3}^{n=2} \text{rect} \left(\frac{x}{g - 2a} \right) \text{rect} \left(\frac{y - 0.5g - ng}{2a} \right) \right] * * \sum_m \sum_n \delta(x - 9mg) \delta(y - 9ng) \right\} \\
 & \times \text{rect} \left(\frac{x}{9Mg} \right) \text{rect} \left(\frac{y}{9Mg} \right). \tag{5}
 \end{aligned}$$

(4) 式为图 4 对应的光学窗函数, (5) 式为图 2 对应的光学窗函数. 在成像系统中, 光学窗口相当于系统的入瞳, 像面上的光强分布满足光学窗口函数的 Fraunhofer 衍射条件, 由孔径函数的傅里叶变换可求得像面的光强分布. 根据 Fraunhofer 衍射理论, 对 (4) 和 (5) 式分别进行傅里叶变换就可以得到两种物理模型对应的衍射光强分布, 计算结果如图 8 所示.

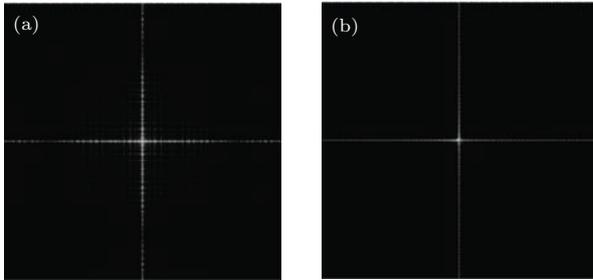


图 8 两种栅网结构 FSS 衍射光强分布对比

图 8(a) 是基于混合周期栅网结构的 FSS 衍射光强分布, 图 8(b) 是基于方格型栅网结构的 FSS 衍射光强分布. 从图 8 中可以清晰地看出, 基于方格型栅网结构的 FSS 高级次衍射光主要集中在与光栅栅线平行的两轴上, 而其他区域衍射强度则很小. 而基于混合周期栅网结构的 FSS 能够改变其高级次衍射的分布规律, 使高级次衍射能量平均分布到各个衍射级次上. 由于在无外加干扰的情况下, 基于栅网结构的 FSS 高级次衍射是其所在光学系统中产生杂散光的主要来源, 由于高级次衍射能量的集中分布将导致杂散光的集中分布, 而这一问题对光学成像系统影响较大, 尤其是在对多点目标成像时, 杂散光的集中分布极易产生虚假探测信号, 从而掩盖真实的探测目标. 因此, 基于混合周期栅网结构的 FSS 能够抑制杂散光的集中分布, 有效提升光学系统成像质量.

当基于栅网结构的 FSS 应用于复杂曲面结构时, 根据文献 [2] 建立的斜入射情况下的标量衍射模型, 我们可以计算出基于混合周期栅网结构的

FSS 在垂直照射下和斜入射 (30°) 照射下衍射光强分布规律的差异, 计算结果如图 9 所示.

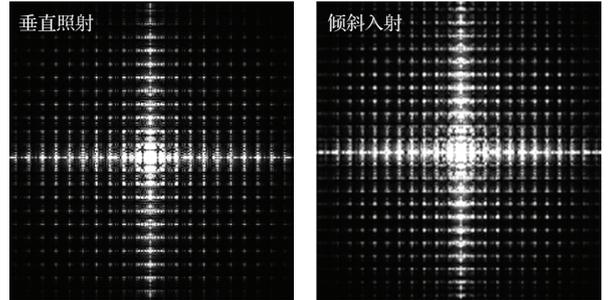


图 9 倾斜入射和垂直照射下衍射光强分布对比

由图 9 可以清晰地看出, 基于混合周期栅网结构的 FSS 高级次衍射光分布区域均匀化的同时, 衍射光强的主极大值基本不受影响. 另外, 由图 7 可知, 在倾斜入射 40° 的情况下, 基于混合周期栅网结构的 FSS 在雷达波段仍然能够实现稳定的带通滤波特性目标.

4 实验验证

按照图 7 对应的结构参数, 设计出基于混合周期栅网结构的 FSS 掩模版图案, 并采用光刻与镀膜技术制备出相应实验样件, 如图 10 所示. 采用自由空间法验证实验样件的带通滤波特性、低频电磁屏蔽特性. 测试与仿真结果对比如图 11 所示. 由于 MgF₂ 基底的介电常数介于 4.7 到 5.4 之间 (计算中使用的介电常数为 4.8) 以及金属栅格的电导率属于有限大小 (计算中使用理想导体), 测试结果中出现的 0.6 GHz 的频率漂移和 5% 的峰值透过率下降均在误差范围内. 由图 11 可知, 基于混合周期栅网结构的 FSS 具有稳定的带通滤波特性, 表面电阻接近理想导体的情况, 低频波段的电磁屏蔽效率满足设计要求.

采用美国 Perkin Elmer 公司生产的 SpectrumGX 傅里叶变换红外光谱仪验证试件的红外透过率, 分别测试 MgF₂ 基底材料、MgF₂ 基底上制

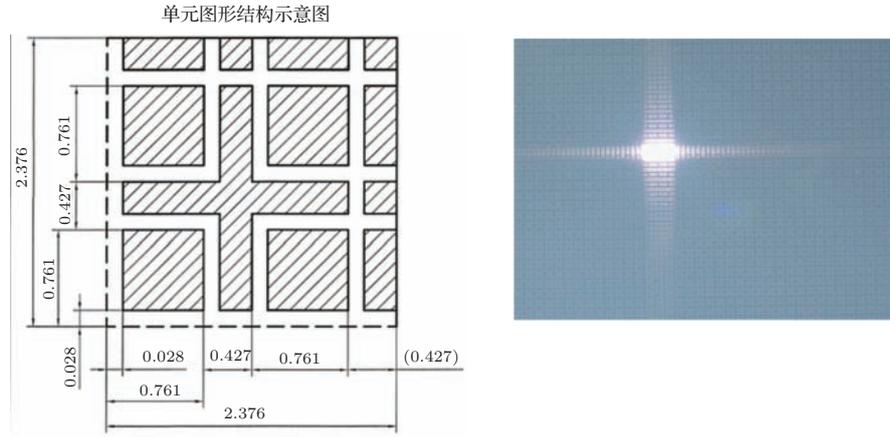


图10 (网刊彩色) 左为微结构曝光用的掩模板尺寸, 右为显影镀膜后的实物样件

作的基于方格型栅网结构FSS, MgF₂ 基底上制作的基于混合周期栅网结构FSS, 测试结果对比图如图12所示. 考虑红外材料吸收损耗和金属材料的欧姆损耗, 图12测试结果满足预期计算目标.

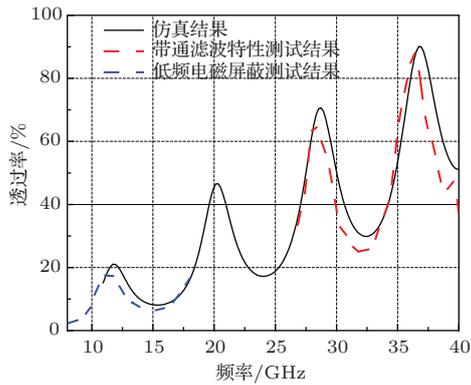


图11 (网刊彩色) 基于混合周期栅网结构的FSS频率响应特性仿真与测试结果对比

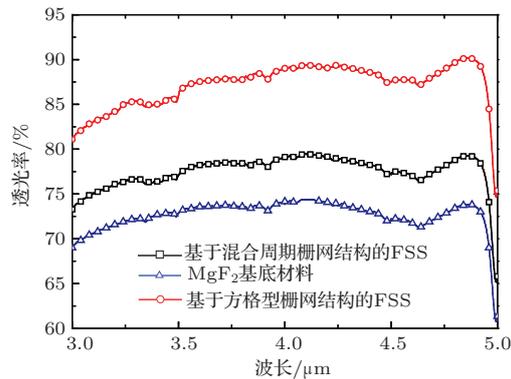


图12 (网刊彩色) 基于混合周期栅网结构的FSS红外透过测试结果对比

经过图11和图12所示的测试曲线验证, 基于混合周期栅网结构的FSS在保持优良的带通滤波特性前提下, 提高了光学透过率, 抑制了集中分布

的高次衍射能量, 提高了光学成像质量.

5 结 论

基于栅网结构的FSS设计是一种多参数、多目标的优化设计过程, 该过程必须同时兼顾对光学波段的高透过率、高成像质量, 对毫米波的优良带通滤波特性和对低频电磁干扰信号的电磁屏蔽性能. 通过分析基于栅网结构的FSS衍射光强分布和表面电流, 本文提出了一种新型基于混合周期栅网结构的频率选择表面, 并计算了其红外透过率、带通滤波特性和衍射光强分布规律. 采用光刻与镀膜技术制作出实验样件, 通过实验测试验证, 基于混合周期栅网结构的FSS在保持优良的毫米波带通滤波特性前提下, 光学透过率提高了5%左右, 表面电阻从十几欧姆降低到几欧姆, 抑制了集中分布的高次衍射能量对光学系成像质量的影响, 从而为解决光学/毫米波双(多)模探测光电窗的雷达隐身和电磁屏蔽问题提供了一种有效的技术方案.

参考文献

- [1] Zhang J, Gao J S, Xu N X 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 147304 (in Chinese) [张建, 高劲松, 徐念喜 2013 物理学报 **62** 147304]
- [2] Yu M, Gao J S, Xu N X 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 204208 (in Chinese) [于淼, 高劲松, 徐念喜 2013 物理学报 **62** 204208]
- [3] Zhu H X, Feng X G, Zhao J L, Liang F C, Wang Y S, Chen X, Gao J S 2010 *Acta Opt. Sin.* **30** 2766 (in Chinese) [朱华新, 冯晓国, 赵晶丽, 梁凤超, 王岩松, 陈新, 高劲松 2010 光学学报 **30** 2766]
- [4] Liu Y M, Tan J B 2013 *Opt. Express* **21** 4228
- [5] Yu M, Xu N X, Liu H, Gao J S 2014 *AIP Adv.* **4** 027112

- [6] Jacoby K T, Pieratt M W, Halman J I, Ramsey K A 2009 *Proc. SPIE* 7302 138401 (in Chinese) [徐念喜, 高劲松, 冯晓国 2014 物理学报 **63** 138401]
- [7] Halman J I, Ramsey K A, Thomas M, Griffin A 2009 *Proc. SPIE* 7302
- [8] Xu N X, Gao J S, Feng X G 2014 *Acta Phys. Sin.* **63**
- [9] Wang X Z, Gao J S, Liu H, Xu N X 2014 *Chin. Phys. B* **23** 047303

Design and study of frequency selective surface based on hybrid period metallic mesh*

Zhang Jian¹⁾²⁾ Gao Jin-Song^{1)†} Xu Nian-Xi¹⁾ Yu Miao¹⁾²⁾

1) (Key Laboratory of Optical System Advanced Manufacturing Technology, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

2) (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(Received 17 September 2014; revised manuscript received 23 October 2014)

Abstract

Frequency selective surface based on metallic mesh can realize the physical properties of both high infrared transmittance and millimeter-wave band-pass filter. In order to improve the optical transmittance, reduce surface resistance and suppress the effect of high order diffraction energy on the imaging quality of the optical system, a new design of frequency selective surface based on hybrid period metallic mesh is obtained. In this paper, the diffraction intensity distribution and surface current of frequency selective surface are analyzed based on metallic mesh. Simulation and experimental results show that frequency selective surface based on hybrid period metallic mesh realizes a stable millimeter-wave band-pass filter property, at the same time, it obtains 5% increase of infrared transmittance and 4 Ω reduce of surface resistance. New design of frequency selective surface based on hybrid period metallic mesh effectively suppresses the effect of high order diffraction energy on the imaging quality of the optical system.

Keywords: photoelectric window, dual mode detection, frequency selective surface, metallic mesh

PACS: 73.20.-r, 73.61.-r

DOI: 10.7498/aps.64.067302

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61401424).

† Corresponding author. E-mail: gaojs@ciomp.ac.cn