

# 近代物理实验

## 电磁特异材料研究

实验者：姚 娟 **08300190087**

合作者：李耀轩 **08300190052**

# 电磁特异材料的研究

**摘要：**通过网络分析仪对实验室提供的亚波长电磁特性材料即分形板进行研究。实验中探测了不同分形板的共振频率，并与理论模拟相比较。同时还对分形板的近场分布进行测量，以此来研究金属棒内部电流场分布情况。

**关键词：**微波 网络分析仪 分形板 近场

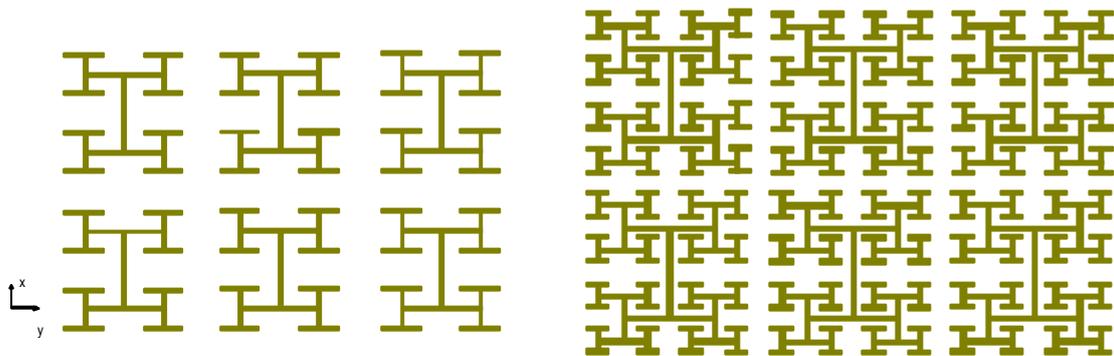
## 1 引言

微波是指频率为 300MHz-300GHz 的电磁波，电磁波与电磁特异材料的相互作用一直以来吸引了很多人的探究。本实验中通过网络分析仪，测量了一些电磁特异材料的透射微波特性，并利用模拟软件将实验参数带入得到理论结论，实验与理论相互比较。另外进一步探索材料中的近场分布情况，使用不同的探针，不同的探测方法，探索近场分布情况。

## 2 实验材料及实验仪器介绍

### 1) 分形板

数学上，分形指一种自相似的图像的重复操作产生的结果。实验室提供的分形板是金属材料的工字型分形，镶嵌在一种低介电常数的材料上形成的分形板。根据分形板表面的基本重复单元工字型类型的不同，实验室提供的分形板分为4级，6级分形，其表面工字型的分布如图一，二。各自参数如表一。



图一 4 级分形板结构

图二 6 级分形板结构

	4 级分形板	6 级分形板
一级长度 (mm)	16	16
金属棒宽度 (mm)	1	1
金属厚度 (mm)	0.03	0.02
衬底厚度 (mm)	2	1

表一 分形板参数

### 2) 安捷伦网络分析仪

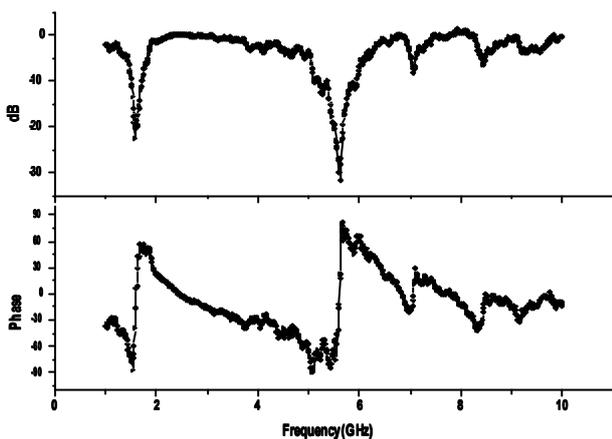
在微波射频电路设计研发和生产调试工作中，矢量网络分析仪是最基本的测试仪器之一，对于各种微波电路和器件的特性分析具有至关重要的作用。它具有频域和时域两类测试功能，可以很好地完成诸如滤波器、放大器、混频器以及系统中有源和无源微波组合等各种参数的调试、测试。矢量网络分析仪实质上是由扫频信号源,检测器和接收机三大部分组成并在内部微处理器控制下运行的自动测试仪器,可测量全部S参数:反射,传输。本实验主要通过将S1端口的输出信号通过传输线连接到双脊天线喇叭,作为发射源,透过材料的信号,被另一双脊天线喇叭接收,将S2接收端口与此接收信号的双脊天线喇叭相连,作为探测端。通过网络分析仪产生材料在不同频率下的透射曲线。

实验中还对分形板金属内电流的分布,通过对近场的测量进行探究。需要探测金属表面的场分布,所以需要探针测量金属表面的场分布。接收端以探针代替双脊天线喇叭,并将探针贴着金属测量,防止短路用透明胶带将探针绝缘,透明胶带对实验微波几乎没有吸收。并尝试在背面和正面,及不同的探针探测。

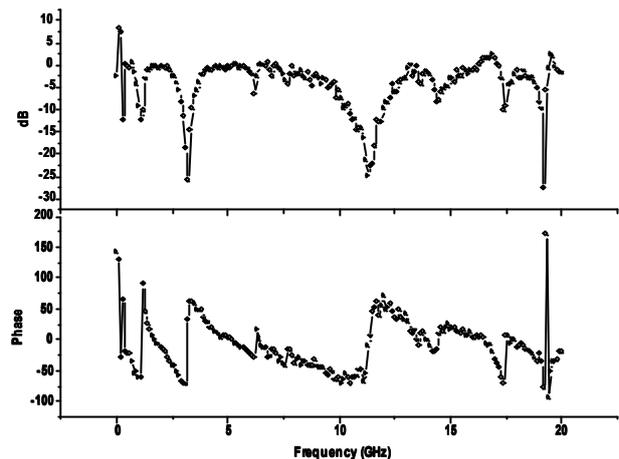
### 3 实验内容及实验结果与分析

#### 1) 分形板透射特性测量

首先对四级分形板测量,已知经过双脊天线喇叭出射的微波的电场极化方向为X方向。为了图像中谷更好辨认,对透射率取对数,记为dB。



图三 4级分形板透射曲线及相位图



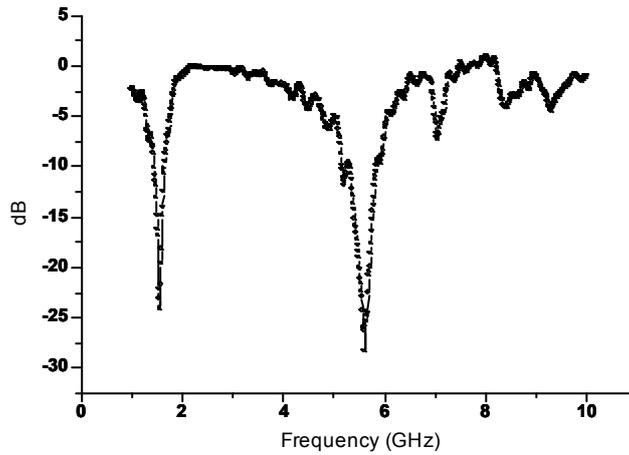
图四 6级分形板透射曲线及相位图

图中可知4级分形板有两个谷,谷对应透射率很小,即反射很高,反射率极小处的频率又称共振频率,对4级而言其透射极小值有两处,分别为1.57GHz和5.64GHz,而6级分形对应透射极小值有1.11GHz,3.21GHz和11.3GHz。形成透射率极小的原因:微波以共振频率入射到分形板,使得分形板中的工字型金属棒内产生电流,同时产生的电流在这段金属棒内震荡,透射率减小,这一现象又叫电共振。对X极化的微波而言,电共振只能产生于X方向排列的金属棒,这也是4级分形有两个共振频率而6级分形有三个共振频率的原因。

由文献可知,电共振产生时,相位差为 $90^\circ$ ,所以对6级分形频率为19.2GHz的谷未将其归入共振频率,由图可知这一频率下对应的相位差大约为 $180^\circ$ 。比较图三,四,可以发现6级分形板的测量得到的数据点少很多,因为其共振频率对应的范围较大,需要较大的频率范围的定标文件,而数据点的多少应该由定标文件在定标时确定好了。

同时有频率处对应透射率大于1,dB大于0,其原因是微波进入分形板之后,满足条件的微波在分形板之间形成干涉加强,导致出射的信号增大,进而测得的透射率大于1。另外由于喇叭的接收效率有限,

有可能未能将所有透射的信号接收到，空间上而言喇叭只接收到空间中一部分信号，所以要改变喇叭与分形板之间的距离，测得多组数据求平均，又称为空间求平均。



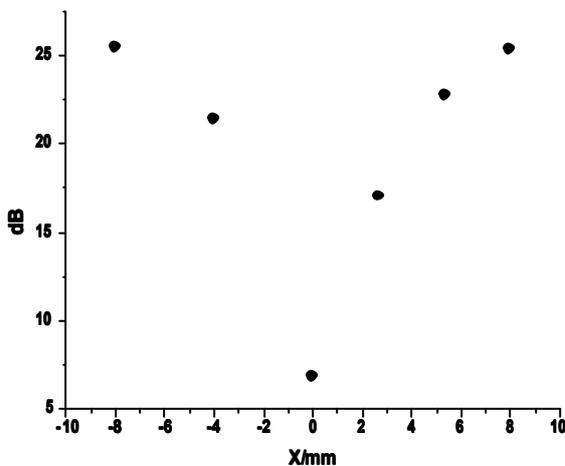
图五 空间求平均后 4 级分形板透射曲线图像

由图像可知，对空间求平均后 4 级板的共振频率为 1.56GHz 和 5.61GHz 与未求空间平均相比相差 6.4% 和 5.3%，另外图七相对而言曲线的光滑度较好，同时大于 0 的数据点较少，这与对空间求平均的密集程度有关。还有一些透射率稍微变小的谷，可能与实验室中除了分形板之外的桌子，墙壁，地板等散射有关，同时分形板本身还有可能因为循环结构的缘故造成类似晶体布拉格散射的情况，此外衬底的影响还未探索清楚。

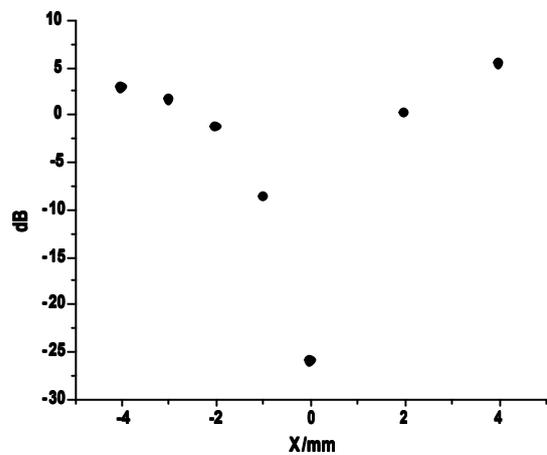
## 2) 分形板金属棒近场效应测量

为了探测金属棒中电共振时电流的分布情况，用探针靠近金属棒表面进行近场探测。对某一金属棒的不同位置处测得不同频率下的透射率，只对此金属棒共振频率处得透射率大小进行分析。另外还尝试过在金属棒的背面直接探测，但发现测得曲线的小峰很多，无法分清相对趋势，故而采用探针直接接触金属棒的测法。

对 4 级分形板一级金属棒，长 16mm，中心处记为 0，远离中心处以距离的大小标记位置。测得 4 级分形一级金属棒，及三级金属棒不同位置处近场分布如图六，七所示。

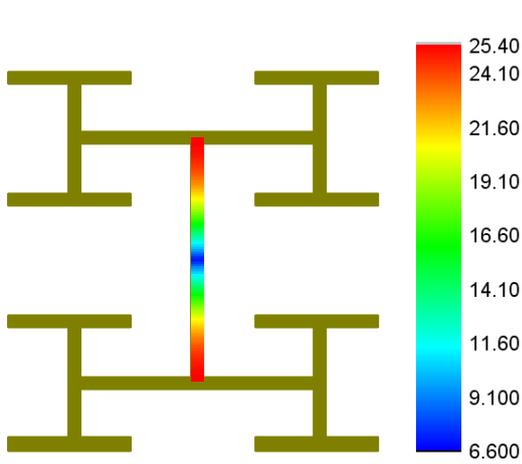
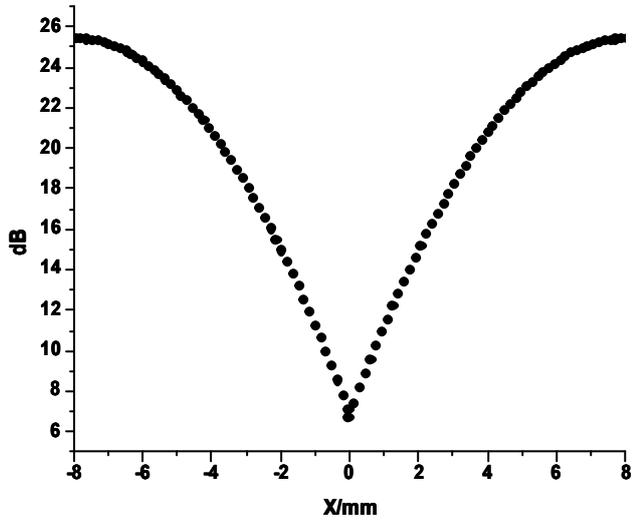


图六 4 级分形一级金属棒近场分布

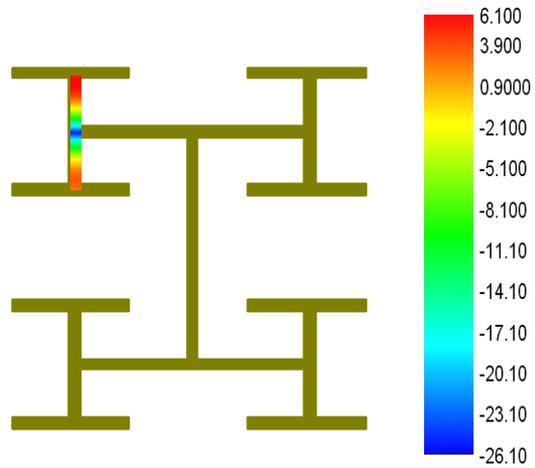
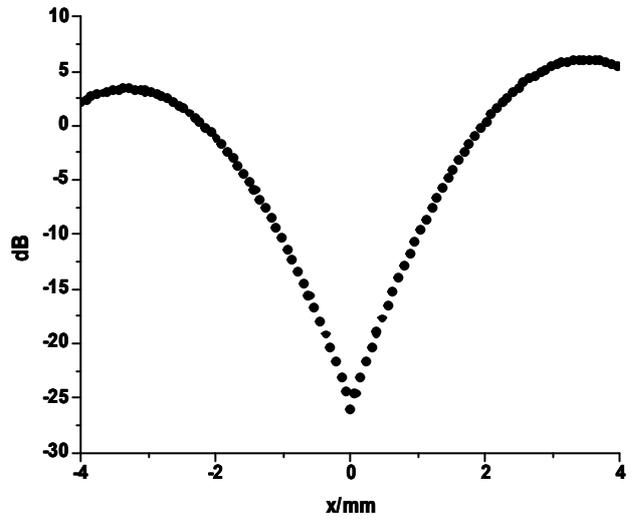


图七 4 级分形三级金属棒近场分布

由于金属棒本身长度较短，移动几次探针就到达金属棒尾端，故数据点不是很多，尽管如此由上图可以看出场分布相对于中心基本对称，并且变化趋势近视为正余弦曲线，用三角函数拟合如图八，图九。

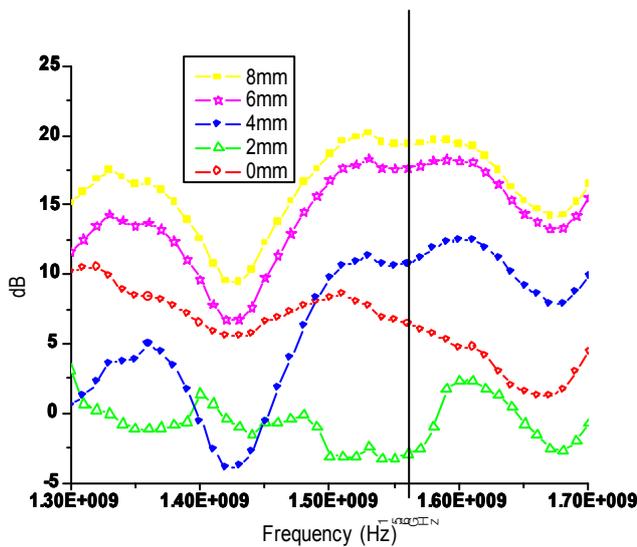


图八 4 级分形一级金属棒近场分布

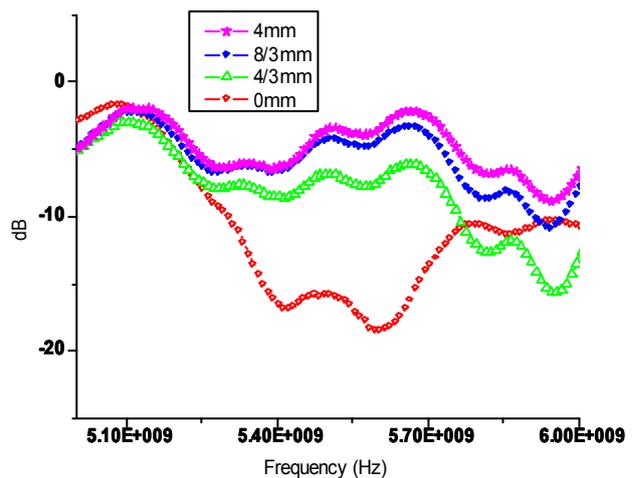


图九 4 级分形三级金属棒近场分布

由上图可以发现就一级棒而言，关于中心对称度比三级棒要高。对三级棒而言，其在一个重复循环单元中，所处得位置并不对称，进而导致远离一级棒中心的三级棒的一端场分布较强。由于探针是通过偶极效应探测信号的，每一探针的本征频率不相同，同一探针对不同频率不同极化方向的微波的探测效率也不相同，我们的实验采用的是直角形的探针，并且探针的探测部位与金属棒垂直探测信号。此外还尝试过使用直探针探测近场分布。



图十 4级分形一级金属棒近场分布



图十一 4级分形三级金属棒近场分布

当采用垂直形探针时可以发现在一级金属棒附近测到的数据不是很好，但是三级棒附近至少整体趋势一致。这可能与探针的探测效率有关，对一级共振频率，探针的探测效率较差，而对于三级共振频率与探针的本征频率比较接近。上述两种探针的探测结果都在一定程度上反应了金属棒内部共振电流的场分布情况。

#### 4 结论

使用网络分析仪，正确的测到了实验提供4级分形板的共振频率为1.57GHz和5.64GHz，而6级分形板得共振频率为1.11GHz, 3.21GHz和11.3GHz，实验结果能够跟理论较好的相符。此外还探索了分形板的近场分布情况，使用两种不同的探针，尝试过不同的探测方法，最后得到图六到图十一的结果，整体而言金属棒的中心场分布最小，向两端靠近时场分布增强。

#### 参考文献:

- [1] 徐杰谌. 亚波长分形结构光子带隙的研究.
- [2] Lei Zhou, CT chen and Ping Sheng. Theoretical studies on the transmission and reflection properties of metallic planar fractals. J.Phys.D: Appl. Phys.37(2004) 368-373
- [3] Weijia Wen, Lei Zhou et al. Subwavelength Photonic Band Gaps form Planar Fractals. PhysPevLett. 89. 223901.