文章编号：2095-4980(2020)01-0018-06

基于太赫兹偏振成像的砗磲材料检测

薛玉泽[1,2]，张　岩[1,2]

(1.首都师范大学 物理系，北京 100048；2.北京市超材料与器件重点实验室，北京 100048)

摘　要：太赫兹波由于其所在波谱位置的特殊性，具有穿透性高，能量低，对极性分子敏感，对非金属非极性材料友好等特性，在无损检测、安全监测方面具有独特优势。利用太赫兹时域光谱成像系统，通过改变入射与探测光的偏振方向，对包含槽型缺陷的砗磲样品进行不同偏振方向的成像实验。由于砗磲材料本身透过率不高，色散较大，传统的直接成像结果无法分辨，难以达到预期效果。通过引入琼斯矢量和琼斯矩阵概念，对偏振成像结果再处理，可进一步提高成像效果。结果表明，此方法对所含缺陷的边缘信息十分灵敏，可以有效地提高砗磲材料成像结果的分辨力。

关键词：太赫兹；偏振成像；砗磲材料；无损检测

中图分类号：TN29　　**文献标志码：**A　　**doi：**10.11805/TKYDA2018390

Nondestructive testing of tridacna material based on terahertz polarization imaging

XUE Yuze[1,2]，ZHANG Yan[1,2]

(1.Department of Physics，Capital Normal University，Beijing 100048，China；
2.Key Laboratory of Metamaterials and Devices，Beijing 100048，China)

Abstract：Terahertz wave has unique advantages in nondestructive testing and safety monitoring because of its special spectral position, penetration, low energy, sensitivity to polar molecules and friendliness to nonpolar materials. In this experiment, terahertz time-domain spectroscopic imaging system is utilized to image tridacna samples with slot defects by changing the polarization direction of incidence and detection. Due to the low transmittance and large dispersion of the tridacna material, the traditional direct imaging results cannot be distinguished, and it is difficult to achieve the desired results. The polarization imaging results are reprocessed by introducing the concept of Jones vector and Jones matrix. The results show that this method is very sensitive to the edge information of the defect and can effectively improve the resolution of the imaging results of the tridacna material.

Keywords：terahertz；polarization imaging；tridacna materials；nondestructive testing

太赫兹波通常指频率在 0.1~10 THz 范围内的电磁辐射，其频率介于毫米波和红外线之间。太赫兹波由于其所在波谱位置的特殊性，具有穿透性高，能量低，对极性分子敏感，对非金属非极性材料友好等特性，在塑料制品、壁画文物、建筑遗迹和珠宝玉石等材料的无损检测方面具有独特优势[1-7]。2009 年，首都师范大学张然兮在太赫兹波段对塑料制品和金属光栅进行了透射式偏振成像，发现样品的边缘结构更容易引起太赫兹偏振态的改变，更容易被实验观测[4]。2017 年，天津大学李健利用太赫兹硅片组成偏振器件，对汽油和柴油的混合油品进行了定性和定量的偏振检测[8]。由此可知，由于材料本身因素的制约，一般的太赫兹无损检测手段不能很好地表现出探测样品的特征，但在样品缺陷的边缘处，对偏振信息的改变更为敏感，通过不同偏振方向的成像，可以更好地展现样品缺陷的特征。随着近些年收藏热的兴起，砗磲受到了越来越多的关注。砗磲是一种由砗磲贝壳深埋海底后形成的非可再生有机宝石，清透白皙为世界之最。但是砗磲材料本身透过率不高，杂质较多，采用常规方法无法较为准确地无损检测，故而对此材料研究极少。不过砗磲材料具有天然的规则层状空间排列，具有双折射特性。通过该材料后，太赫兹偏振态会发生相应改变。利用太赫兹时域光谱(Terahertz-Time Domain System，THz-TDS)技术对其进行不同方向的偏振分量成像，可以反映出砗磲材料的太赫兹光学特性，有助于提高成像分辨力。

收稿日期：2018-12-25；**修回日期：**2019-03-04
基金项目：国家自然科学基金项目资助(1474206；11404224；1174243；11774246)
作者简介：薛玉泽(1991–)，男，在读硕士研究生，主要从事太赫兹偏振信息无损检测方向研究工作。email:YuzeXue@foxmail.com

1　透射式太赫兹偏振成像

太赫兹时域光谱技术按太赫兹辐射探测样品的方式可分为透射式 THz-TDS 和反射式 THz-TDS 系统，本实验中采用 BATOP 公司的 THz-TDS 1008 光纤系统。图 1 为实验采用的透射式光纤 THz-TDS 测试系统光路示意图。图中激光器(laser)为光纤飞秒激光器，可以产生中心波长为 780 nm，平均光功率为 120 mW，脉宽为 100 fs 的激光脉冲信号。M1~M8 为平面反射镜，BS 为分束器，L1 和 L2 为高密度聚乙烯聚焦透镜(焦距为 30 mm)，P1 和 P2 为偏振片，emitter 为光纤耦合天线发射端，detector 为光纤耦合天线探测端，stage 为电动平移台，DAQ(数据采集卡)为信号发射/数据采集单元模块。

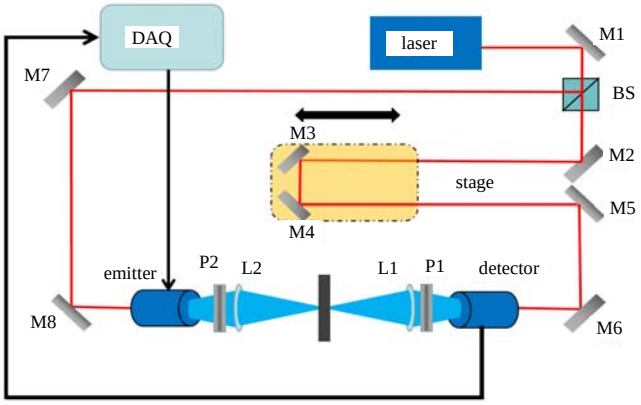
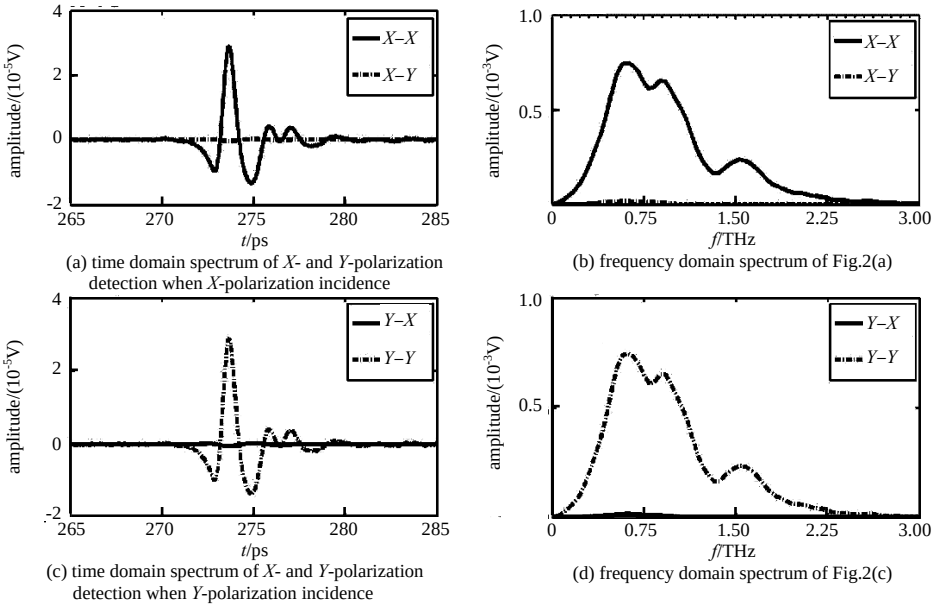


Fig.1 Diagram of optical fiber THz-TDS system
图 1　透射式光纤 THz-TDS 系统光路示意图

激光器产生的飞秒脉冲激光经由分束器分成两束光，即产生光和探测光。产生光经过平面镜反射后，通过耦合器耦合到光纤中，再进入到发射端的光电导天线中激发太赫兹脉冲；探测光在经由平移台上的反射镜后也经过耦合器耦合到探测端的光电导天线中用来探测太赫兹信号。从发射端光电导天线辐射出的太赫兹脉冲先由偏振片(P2)调制偏振方向，再经过焦距为 30 mm 的高密度聚乙烯聚焦透镜(L2)聚焦后照射到摆放在焦点处的测试样品上。携带了样品信息的太赫兹脉冲信号再进入探测端的聚焦透镜(L1)，经过偏振片(P1)的检验，最终进入探测端的光电导天线。这里，携带着样品信息的太赫兹信号转换为携带样品信息的电信号，之后该电信号与发射端光电导天线的调制频率信号进入 DAQ 模块被电脑程序接收、显示并处理[2]。在实际系统中，光电导天线、偏振片、聚焦透镜封装为一体，可以通过分别转动探头的角度来实现不同偏振入射、不同偏振检测的实验要求。



(a) time domain spectrum of *X*- and *Y*-polarization detection when *X*-polarization incidence
(b) frequency domain spectrum of Fig.2(a)
(c) time domain spectrum of *X*- and *Y*-polarization detection when *Y*-polarization incidence
(d) frequency domain spectrum of Fig.2(c)

Fig.2 Spectra of THz signals with different polarization directions for detection and incidence
图 2　系统不同偏振方向入射，不同偏振方向探测的结果

图 2(a)为在入射偏振方向为水平方向(*X* 方向)时，探测偏振分别为水平方向(*X* 方向)、竖直方向(*Y* 方向)的空气透射测试太赫兹时域信号；图 2(b)为图 2(a)经过傅里叶变换后的太赫兹频域信号；图 2(c)为在入射偏振方向为竖直方向(*Y* 方向)时，探测偏振分别为水平方向(*X* 方向)、竖直方向(*Y* 方向)的空气透射测试太赫兹时域信号；图 2(d)为图 2(c)经过傅里叶变换后的太赫兹频域信号。这说明系统的偏振性很好，适合开展偏振成像研究。

实验采用逐点扫描成像法，即二维多点扫描测量。在此过程中，太赫兹脉冲以相等时间间隔照射到砗磲样品上，通过二维平移台，样品在垂直光传播方向上的二维平面进行等间隔移动，实现了样品的二维扫描。这种方法可以直接得到测量区域内每一个测量点的太赫兹时域光谱信号，对其进行傅里叶变换，即可得到每一点的太赫兹频域光谱信息[9-11]。

2 琼斯矢量与琼斯矩阵

琼斯(R C Jones)使用一个列矩阵表示一束光电场矢量的 2 个相互垂直的分量(x 和 y 分量)[12-18]：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x \\ \boldsymbol{E}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{ox} \mathrm{e}^{\mathrm{i}\delta x} \\ \boldsymbol{E}_{oy} \mathrm{e}^{\mathrm{i}\delta y} \end{bmatrix} \tag{1}$$

这表示了一般的椭圆偏振光。当一束偏振光 $\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x \\ \boldsymbol{E}_y \end{bmatrix}$ 透射经过一个偏振器件之后，其偏振态发生改变，变为 $\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x' \\ \boldsymbol{E}_y' \end{bmatrix}$，它们之间的关系可用式(2)表示：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x' \\ \boldsymbol{E}_y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x \\ \boldsymbol{E}_y \end{bmatrix} = \boldsymbol{J} \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_x \\ \boldsymbol{E}_y \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中 A,B,C,D 表示矩阵的 4 个元素。这个 2×2 的矩阵 $\boldsymbol{J}$ 就是该偏振器件的传输矩阵，即琼斯矩阵。琼斯矩阵代表了器件改变偏振光的性能。

假设有一个沿着 Z 方向传播的光，经过具有双折射特性的样品，该样品的 2 个主轴分别为 u 和 v，此时入射光和出射光的偏振态分别为 $\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{ui} \\ \boldsymbol{E}_{vi} \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{uo} \\ \boldsymbol{E}_{vo} \end{bmatrix}$，首先这两者之间应有如下关系：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{uo} \\ \boldsymbol{E}_{vo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} & 0 \\ 0 & \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{ui} \\ \boldsymbol{E}_{vi} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中 β 为双折射样品的 v 轴相比于 u 轴的位相延迟。由于实际试验中，样品的这 2 个快慢轴和实验坐标系无法重合，此时需要引入 u 轴与实际 X 轴的夹角 θ[1,5]，此时在实验坐标系下，入射光和出射光的关系应矫正为：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{xo} \\ \boldsymbol{E}_{yo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} & 0 \\ 0 & \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{xi} \\ \boldsymbol{E}_{yi} \end{bmatrix} \tag{4}$$

经过计算可简化为：

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{xo} \\ \boldsymbol{E}_{yo} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} + \sin^2\theta \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} & \sin\theta\cos\theta\left(\mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} - \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}}\right) \\ \sin\theta\cos\theta\left(\mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} - \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}}\right) & \sin^2\theta \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} + \cos^2\theta \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\beta}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{xi} \\ \boldsymbol{E}_{yi} \end{bmatrix} = \boldsymbol{J}(\beta,\theta) \begin{bmatrix} \boldsymbol{E}_{xi} \\ \boldsymbol{E}_{yi} \end{bmatrix} \tag{5}$$

由此可知，对于双折射样品，其琼斯矩阵为：

$$\boldsymbol{J}(\beta,\theta) = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\frac{\beta}{2} + \mathrm{j}\sin\frac{\beta}{2}\cos 2\theta & \mathrm{j}\sin\frac{\beta}{2}\sin 2\theta \\ \mathrm{j}\sin\frac{\beta}{2}\sin 2\theta & \cos\frac{\beta}{2} - \mathrm{j}\sin\frac{\beta}{2}\cos 2\theta \end{bmatrix} \tag{6}$$

进而可以计算得到相位延迟参数 β 和坐标轴偏转角 θ：

$$\beta = 2\arccos\left(\frac{A+D}{2}\right),\ \theta = \operatorname{arccot}\left(\frac{A-D}{2B}\right) \tag{7}$$

3 实验结果分析

在实验开始之前，对没有缺陷的砗磲样品(见图 3)进行了一些基本测试。本次实验所使用的不含缺陷的砗磲样品均为纯白色薄片，大小为 20 mm×20 mm，厚度为 1.975 mm。基本透射测试结果见图 4 。

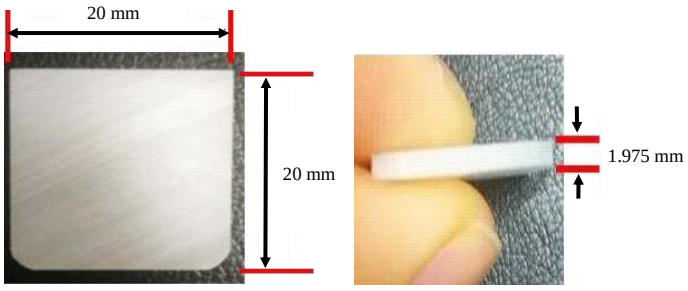
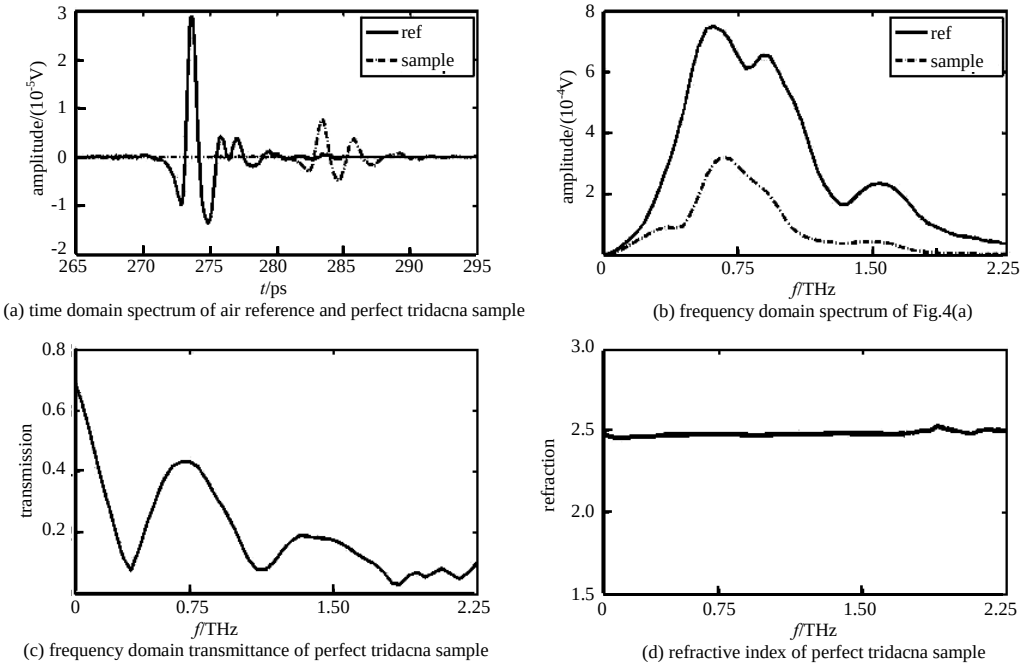


Fig.3 Optical images of perfect tridacna samples
图 3 没有缺陷的砗磲样品实物图

图 4 (a)为无缺陷砗磲样品的太赫兹时域透过光谱，图 4 (b)为经过傅里叶变换得到的砗磲材

料的太赫兹频域透过光谱，图 4 (c)为无缺陷砗磲样品的太赫兹频域透过率，图 4 (d)为经过计算得到的无缺陷砗磲样品的折射率。不难看出，砗磲材料的频域透过率较低且波动很大，不适合采用透射强度进行检测。在测试范围内色散较小，折射率大概为 2.5。



(a) time domain spectrum of air reference and perfect tridacna sample
(b) frequency domain spectrum of Fig.4(a)
(c) frequency domain transmittance of perfect tridacna sample
(d) refractive index of perfect tridacna sample

Fig.4 Basic test results of perfect tridacna samples
图 4　没有缺陷的砗磲样品基本测试结果

3.1 直接偏振成像结果

在实验的逐点扫描成像过程中，对于含有缺陷的砗磲样品(见图 5)的每一个扫描测试点，通过分别转动 THz-TDS 系统的发射探头和探测探头，来实现不同偏振入射不同偏振探测的实验要求，主要是在水平方向(*X* 方向)和竖直方向(*Y* 方向)的偏振测试。图 5 为带有缺陷的砗磲材料，实物大小为 20 mm×20 mm，厚度为 1.814 mm。图 5 左图框中区域为实际测试区域(20 mm×3 mm)，区域内含 2 个深度为 1 mm 的槽型缺陷，由左到右宽度分别为 1 mm 和 2 mm。

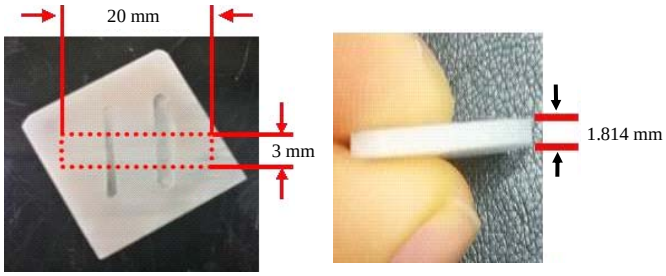


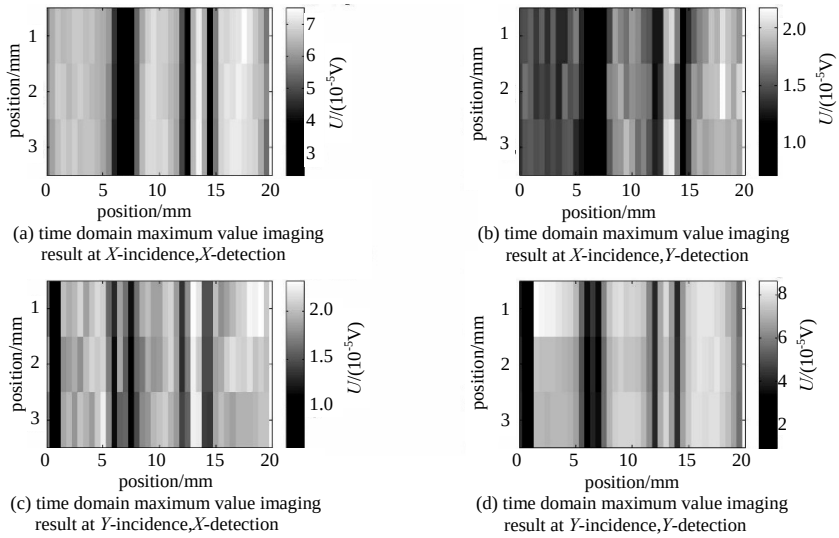
Fig.5 Optical images of defective tridacna samples
图 5 带有缺陷的砗磲样品实物图

图 6 为图 5 中的带有缺陷的砗磲样品以 0.5 mm 步长二维逐点扫描，分别在水平偏振方向(*x* 方向)或竖直偏振方向(*y* 方向)入射，水平偏振方向(*x* 方向)或竖直偏振方向(*y* 方向)检测的时域最大值成像结果。图 6(a)为水平偏振入射，水平方向探测；图 6(b)为水平偏振入射，竖直方向探测；图 6(c)为竖直偏振入射，水平方向探测；图 6(d)为竖直偏振入射，竖直方向探测。从图 6 中可以直接观测到砗磲样品中存在 2 个不同宽度的槽型缺陷，但成像结果只能模糊地观测到缺陷的大概位置，相对于 1 mm 和 2 mm 的槽型缺陷宽度，成像结果分辨力过低，误差较大，无法有效识别缺陷的具体特征。

3.2 琼斯矩阵参数成像结果

对于上述砗磲材料的不同偏振逐点扫描成像结果，引入琼斯矢量和琼斯矩阵概念进行再处理，图 6 中结果先经过式(2)运算得到每个测试点的琼斯矩阵，再由式(6)和式(7)计算得到每个测试点的相位延迟 β 和坐标轴偏转角 θ 成像结果。最终选取 0.75 THz 单一频率的实验结果进行上述处理，结果如图 7 所示。

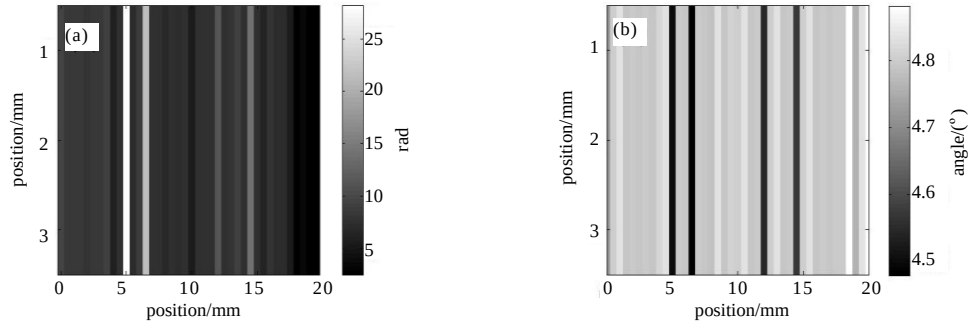
图 7 是图 6 中数据经过琼斯矩阵计算得到的参数相位延迟 β(图 7(a))和坐标轴偏转角 θ(图 7(b))的成像结果。从图 7 可以明确地看到缺陷的边缘产生了突变，可以明显地确认砗磲材料的槽型缺陷边缘的具体位置，并由此进一步地确定槽型缺陷宽度分别为 1 mm 和 2 mm，这与实物图保持了高度一致。



(a) time domain maximum value imaging result at *X*-incidence,*X*-detection
(b) time domain maximum value imaging result at *X*-incidence,*Y*-detection
(c) time domain maximum value imaging result at *Y*-incidence,*X*-detection
(d) time domain maximum value imaging result at *Y*-incidence,*Y*-detection

Fig.6 Time domain maximum value imaging results of defected tridacna samples at different polarization directions

图 6 带有缺陷的砗磲样品的不同偏振方向时域最大值成像测试结果



(a) phase delay imaging result of tridacna sample at 0.75 THz (b) axis deflection angle imaging result of tridacna sample at 0.75 THz

Fig.7 Polarization images of tridacna samples with defects at 0.75 THz

图 7 0.75 THz 的带有缺陷的砗磲样品偏振成像结果

4 结论

本文对天然的砗磲材料进行了基本测试,并对带有相同深度不同宽度的槽型缺陷的砗磲材料采用不同偏振方向入射，不同偏振方向探测的方式进行二维平面上的逐点扫描成像无损检测，直接观测到的时域成像结果较为模糊，不满足实验预期要求；因此引入琼斯矢量和琼斯矩阵对实验结果进行二次处理，经过计算得到了频率在 0.75 THz 时对应的参数相位延迟 β 和坐标轴偏转角 θ 的成像结果,清晰地确定了缺陷边缘位置进而确认缺陷特征。通过对比，本文方法提高了砗磲材料在太赫兹波段无损检测成像的分辨力，达到了检测目的。

参考文献：

[1] GEORGE Grüner. Millimeter and submillimeter wave spectroscopy of solids[M]. Berlin:Springer Berlin Heidelberg, 1998.

[2] PAN W,SHEN D J,YAN Y J. Design of broadband polarization converter for terahertz waves[J]. Optoelectronics Letters, 2018,14(6):434-437.

[3] GONZALEZ A,KANEKO K,ASAYAMA S. 1.25–1.57 THz dual-polarization receiver optics based on corrugated horns[J]. IEEE Transactions on Terahertz Science & Technology, 2018,8(3):1-8.

[4] 张然兮. 基于偏振信息的太赫兹成像研究[D]. 北京:首都师范大学, 2009. (ZHANG Ranxi. Research on terahertz imaging based on polarization information[D]. Beijing:Capital Normal University, 2009.)

[5] 袁敏杰. 基于太赫兹光谱与成像技术的壁画无损检测[D]. 北京:首都师范大学, 2015. (YUAN Minjie. Nondestructive detection of murals based on terahertz spectroscopy and imaging technology[D]. Beijing:Capital Normal University, 2015.)

[6] JACKSON J B,LABAUNE J,DULING I N,et al. Terahertz pulse imaging of stratified architectural materials for cultural heritage studies[C]// Conference on O3A–Optics for Arts,Architecture,and Archaeology III. CA:SPIE. 2011(8084): 808409-1–808409-7.

[7] 余枝. 利用太赫兹偏振成像系统对矿石和宝石鉴定的探究[D]. 北京:首都师范大学, 2011. (YU Zhi. Exploration of ore and gemstone identification using terahertz polarization imaging system[D]. Beijing:Capital Normal University, 2011.)

[8] 李健,李萍,周南,等. 太赫兹波段硅片组偏振器的设计及其应用[J]. 激光技术, 2017(3):396–402. (LI Jian,LI Ping, ZHOU Nan,et al. Design and application of silicon wafer polarizer in terahertz frequency region[J]. Laser Technology, 2017(3):396–402.)

[9] 赵自然,王迎新. 便携式太赫兹时域光谱仪的研制[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013,11(1):57–61. (ZHAO Ziran,WANG Yingxin. Development of a portable terahertz time-domain spectrometer[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(1):57–61.)

[10] 王新柯,崔烨,孙文峰,等. 太赫兹偏振实时成像[C]// 中国光学学会 2011 年学术大会摘要集. 广东,深圳:中国光学学会, 2011:1. (WANG Xinke,CUI Ye,SUN Wenfeng,et al. Terahertz polarization real-time imaging[C]// Abstracts of the 2011 Academic Conference of the Chinese Optical Society. Shenzhen,Guangdong,China:Chinese Optical Society, 2011:1.)

[11] 于斐. 脉冲太赫兹波偏振光谱研究[D]. 北京:首都师范大学, 2011. (YU Fei. Research on pulsed terahertz polarization spectrum[D]. Beijing:Capital Normal University, 2011.)

[12] 廖延彪. 偏振光学[M]. 北京:科学出版社, 2003. (LIAO Yanbiao. Polarized optics[M]. Beijing:Science Press, 2003.)

[13] 杨婷. 双折射波片的琼斯矩阵及其透射特性分析[D]. 北京:北京师范大学, 2007. (YANG Ting. Analysis of Jones matrix of birefringent wave plate and its transmission characteristics[D]. Beijing:Beijing Normal University, 2007.)

[14] JONES R C. A new calculus for the treatment of optical systems[J]. Journal of the Optical Society of America, 1941(31):488.

[15] 贺银波,熊静懿,郑伟,等. 偏振干涉滤光片性能评价的扩展琼斯矩阵方法[J]. 光电子·激光, 2002,13(2):125–128. (HE Yinbo,XIONG Jingyi,ZHENG Wei,et al. Extended Jones matrix used for the analysis of angle property of polarization interference filter[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2002,13(2):125–128.)

[16] 刘影,赵国忠,申彦春. 连续太赫兹波偏振成像检测[J]. 中国激光, 2016(1):177–183. (LIU Ying,ZHAO Guozhong, SHEN Yanchun. Polarization imaging detection based on the continuous terahertz wave[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016(1):177–183.)

[17] NUSS M C. Subpicosecond photoconducting dipole antennas[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1988,24(2):255–260.

[18] VAN–EXTER M,GRISCHKOWSKY D R. Characterization of an optoelectronic terahertz beam system[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1990,38(11):1684–1691.

(上接第 17 页)

[11] 翟博韬,梁昌洪,温海宾,等. 宽带波导滤波器的准确设计[C]// 全国微波毫米波会议. 西安:[s.n.], 2009. (ZHAI Botao,LIANG Changhong,WEN Haibin,et al. Accurate design of broadband waveguide filters[C]// National Millimeter Wave Conference. Xi'an,Shaanxi,China:[s.n.], 2009.)

[12] 周明祺. 高性能小型化平面微波滤波器研究[D]. 成都:电子科技大学, 2010. (ZHOU Mingqi. Research on high performance miniaturized planar microwave filter[D]. Chengdu,Sichuan,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2010.)

[13] 谢善益. 太赫兹滤波电路研究[D]. 成都:电子科技大学, 2013. (XIE Shanyi. Terahertz filter circuit research[D]. Chengdu,Sichuan,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2013.)

[14] 储建华,钱荣荣,王传齐. 波导滤波器的等效电路模型及实验研究[J]. 深圳大学学报理工版, 2015,32(2):183–187. (CHU Jianhua,QIAN Rongrong,WANG Chuanqi. Equivalent circuit model and experimental study of waveguide filters[J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2015,32(2):183–187.)

[15] CAMERON R J,KUDSIA C M,MANSOUR R R. Microwave filters for communication systems:fundamentals,design,and applications[M]. [S.l.]:Wiley Interscience, 2007.