



“油气光学”专题·论文

几种沉积岩的太赫兹光谱特性研究

陈晨^{①②}, 刘劲松^{①*}, 姚建铨^①, 王绍龙^②, 王阳恩^②^① 华中科技大学武汉光电国家实验室, 光学与电子信息学院, 武汉 430074;^② 长江大学物理与光电工程学院, 光电子学与技术研究所, 荆州 434023

*联系人, E-mail: jslu4508@vip.sina.com

收稿日期: 2015-03-22; 接受日期: 2015-05-26; 网络出版日期: 2015-07-02

摘要 本文采用太赫兹时域光谱技术, 研究了 5 种沉积岩的透射光谱性质. 实验显示, 不同种类的沉积岩样品在太赫兹波段有明显的峰位位移和相对峰强改变, 且各样品由于成分和含量的不同, 也在透射太赫兹光谱上表现出了不同的吸收和折射性质. 结果表明, 太赫兹光谱技术可为鉴别分析沉积岩提供方法与技术支持, 继而应用于油气开发和地质勘探领域.

关键词 太赫兹时域光谱, 沉积岩, 吸收系数, 折射率

PACS: 78.20.ci, 78.30.-j, 78.40.-q

doi: 10.1360/SSPMA2015-00146

沉积岩作为组成地壳的 3 大岩类(其他两类为岩浆岩和变质岩)之一, 是由风化碎屑物和溶解物经搬运、沉积和成岩作用形成. 其成分主要是母岩风化产物, 其次是火山喷发物、有机物和宇宙物质等^[1]. 沉积岩种类很多, 且蕴藏着绝大部分矿产, 如能源、非金属、金属、稀有元素矿产及化石群, 是产生石油和天然气的关键中间体, 其成分和结构在油气勘探和生油岩评价中起着决定性的作用^[2]. 因此, 对沉积岩进行分析检测, 具有重要意义. 目前已有多种化学物理方法被应用于岩石乃至沉积岩的谱学特征分析, 例如红外光谱、紫外光谱、拉曼光谱、X 射线成像分析、质谱法, 电化学检测器-离子色谱法、激光光声光谱法等^[3-22]. 上述方法采用不同频段的波, 得到物质的分子振动模式以不同的数据形式体现着物质结构成分的信息.

太赫兹波($1\text{ THz}=10^{12}\text{ Hz}$)是频率在 $0.1\text{--}10\text{ THz}$ 的电磁波. 太赫兹光谱包含丰富的物理和化学信息, 大多数分子的振动(含集体振动)和转动跃迁在太赫兹频段表现出了强烈的吸收和色散^[23]. 因此, 研究太赫兹光谱对于分析鉴定物质的组分具有重要的意义. 太赫兹时域光谱技术迅速发展成为研究物质特性的新方法^[24], 现已日趋广泛地被应用于安全检测、航空航天、生命科学、化学等领域^[25].

太赫兹技术也用于储层岩石及油品天然气的光学表征. 在国外, Scales 课题组针对岩石和岩石内部的流体, 如流体混合物、悬浮液、乳状液等, 进行了亚太赫兹波段的介电常数测量, 为认识储层岩石的结构和性质提供了很好的依据^[26-28]. Rice 大学的 Dorney 等人^[29,30]验证了太赫兹系统可作为涉及复杂模型系统的地震处理的一种新方法. 在国内, 一些

引用格式: 陈晨, 刘劲松, 姚建铨, 等. 几种沉积岩的太赫兹光谱特性研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2015, 45: 084206

Chen C, Liu J S, Yao J Q, et al. Spectroscopy studies on several kinds of sedimentary rocks in the terahertz range (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2015, 45: 084206, doi: 10.1360/SSPMA2015-00146

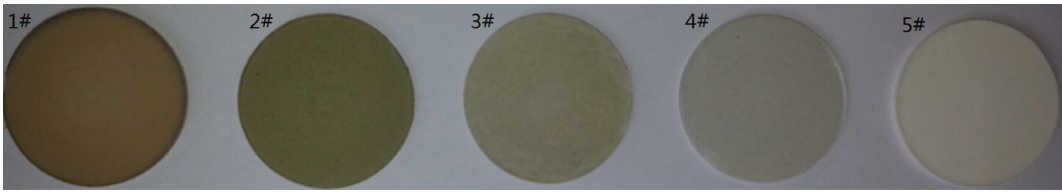


图 1 (网络版彩图)沉积岩样品经压片处理后的照片
Figure 1 (Color online) The sedimentary rocks after pelleting treatment.

科研工作者也为太赫兹技术在油气领域的应用作出了贡献. 天津大学科研人员利用 THz-TDS 研究了不同型号的汽油和柴油, 通过吸收系数和折射率的不同能够实现对成品油的鉴别和区分^[31]; 华中科技大学光电学院的科研人员研究了沥青蜡含量理论分析方法, 为建立基于太赫兹透射谱的沥青蜡含量测试方法提供了依据^[32]. 中国石油大学(北京)的科研团队建立了涵盖石油产业链的油气资源与产品太赫兹光谱数据库, 实现了主生油和主生气高峰的同时表征、原油痕量水以及高含水率检测、不同时期地质演化的判识、油页岩含油率的直接检测、储层孔隙度表征等, 论证了油气储层吸附动力学过程, 并结合统计方法对天然气、油页岩干馏气的主要成分进行了定量评价^[33–41].

本文利用 THz-TDS 分析技术对 5 种沉积岩样品的太赫兹光谱进行研究. 结果表明, THz-TDS 可为鉴别分析沉积岩提供方法与技术支持, 继而能应用于油气开发领域.

1 实验仪器与样品

实验选取透射式太赫兹时域光谱装置对样品进行光学信息的采集, 其原理及激光等仪器参数见文献[42]. 光源为钛蓝宝石飞秒锁模脉冲激光器, 中心波长为 800 nm, 脉冲宽度为 100 fs, 重复频率为 80 MHz, 输出功率为 960 mW. 采用 GaAs 晶体激发 THz 电磁波脉冲, 探测晶体为 ZnTe. 为防止空气中水蒸气对 THz 信号的影响, 并提高测量太赫兹脉冲信号的信噪比, 整个实验装置封闭在箱体, 并填充氮气, 以保证箱内的相对湿度小于 2%. 本实验实测相对湿度为 0%, 温度为 294 K.

实验采用的沉积岩样品为国家岩石成分分析标准物质, 均为粉末状, 线度约为 0.074 mm, 包括以下 5 种: 石英砂岩、页岩、泥质灰岩、石灰岩和碳酸盐. 为减小粉末颗粒物间距并粘合粉末, 实验中掺入对

太赫兹波无明显吸收的聚乙烯(PE)粉末, 样品与 PE 质量比为 1:1. 再将样品在 25 MPa 压强下压制成圆柱形薄片, 直径为 13 mm, 厚度为 1.14–1.20 mm 不等. 图 1 为 5 种标准物样品压片后的照片, 表 1 为各样品名称、编号和厚度信息.

以上标准品均已经采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)、电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)、原子荧光分析法(AFS)、原子吸收光谱(AAS)等方法测得了各主要成分的构成及含量.

2 实验结果与分析

实验测得太赫兹时域光谱如图 2. 太赫兹波通过样品信号后, 与参考信号相比, 各样品信号均在时间

表 1 沉积岩样品信息
Table 1 The information of sedimentary rocks

样品序号	名称	标准编号	厚度 (mm)
1#	石英砂岩	GBW07106	1.16
2#	页岩	GBW07107	1.14
3#	泥质灰岩	GBW07108	1.14
4#	石灰岩	GBW07120	1.18
5#	碳酸岩	GBW07136	1.20

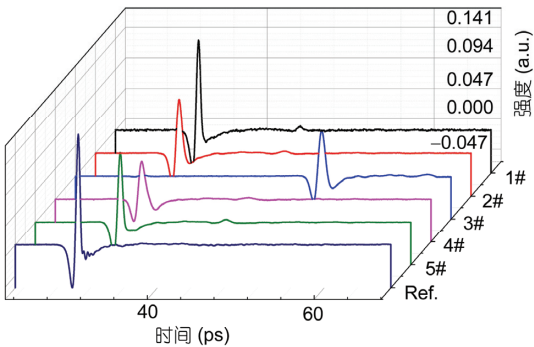


图 2 (网络版彩图)太赫兹波通过空样品池和沉积岩样品的时域光谱图

Figure 2 (Color online) Time domain spectroscopy of reference in free space and signals of five sedimentary rocks.

上有延迟, 在强度上有衰减. 产生这种现象的原因是, 太赫兹波在样品中的折射率大于在氮气中的折射率. 从图 2 中还可看出, 样品之间也有相对延迟. 这是由于样品的组分不同, 理化性也相异而引起太赫兹波对不同样品的折射率不等, 波速和光程也不同. 同时, 样品的色散也造成了时域谱的展宽. 其中 3#样品的时延和强度的衰减最大.

图 3 是将时域谱进行快速傅里叶变换所得的频域谱, 由图 3 可知, 不同频率处, 样品内部的吸收和样品表面的反射不同, 振幅相应减小, 频谱波形产生了变化, 表明样品具有不同的折射率、吸收系数及介电常数等物理信息.

沉积岩样品的光学参数, 如折射率、吸收系数及介电常数等, 可根据参考文献[43–46]进行计算. 本文计算了 5 种沉积岩样品的折射率和吸收系数. 吸收系数随频率变化的关系见图 4, 样品中相同的组分会具有相同的频率, 而含量不同, 则会体现在吸收强度

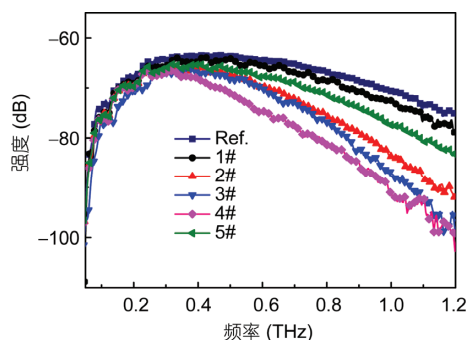


图 3 (网络版彩图)太赫兹波通过空样品池和沉积岩样品的频域谱

Figure 3 (Color online) The frequency domain spectroscopy of reference in free space and signals of sedimentary rocks.

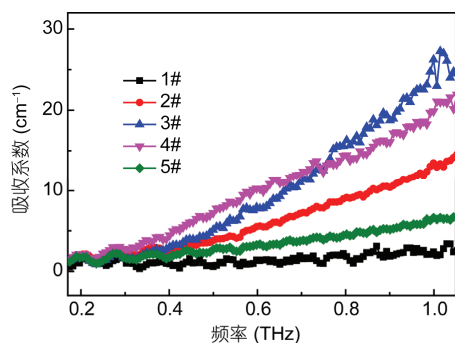


图 4 (网络版彩图)沉积岩样品的吸收谱

Figure 4 (Color online) The absorption spectra of sedimentary rocks.

的差异上; 不同组分和含量的情况下, 则频率及强度都会不同. 各沉积岩样品包含众多元素成分(大余 140 种), 所以频谱呈现较多吸收. 5 种样品在小于 0.3 THz 时, 吸收系数差别不大, 但随着频率的增大, 谱线的变化趋势各有不同, 其中 3#样品的吸收系数随频率增加而急剧增大.

图 5 是表示 5 种样品的折射率随频率变化关系的折射谱. 5 种样品在 0.4 THz 以下, 折射率都随频率的增加而减少, 但高于 0.4 THz 后, 2#, 3#和 4#样品的折射规律发生了变化. 其中 3#样品的折射率变化最大, 这也与该样品的时间延迟规律、吸收系数变化规律相对应.

表 2 列出了 5 种样品的主要成分的含量(组分含量以 $\mu\text{g/g}$ 计量, 括号内为参考值, “ $\pm$ ”后数据为不确定度), 我们可以分析各样品主要成分的差异. 1#样品为石英砂岩, 主要成分即为二氧化硅, 含水量极低; 2#样品为页岩, 二氧化硅和氧化铝所占比重较大; 3#样品为泥质灰岩, 氧化钙、二氧化碳和水的成分多; 4#样品为石灰岩, 主要成分为碳酸钙, 故氧化钙、二氧化碳及含水量大; 5#样品为碳酸盐, 与 4#样品类似, 但含量稍有不同. 烧失量(LOI)又称灼减量, 是指样品在烧成过程中所排出的结晶水, 碳酸盐分解出的 CO_2 , 硫酸盐分解出的 SO_2 , 以及有机杂质被排除后物量的损失. 本实验所选的样品, 其烧失量能代表 CO_2 成分含量(页岩含水量稍大(5.6 ± 0.03) $\mu\text{g/g}$, 其烧失量略高于 CO_2 含量). 由于各样品包含元素众多、成分复杂, 我们仅看成分含量为 10^{-2} g 的主要组分. 而以上几种组分(二氧化硅、氧化铝、氧化钙、二氧化碳或烧失量)已能将这 5 种沉积岩类型区别开来.

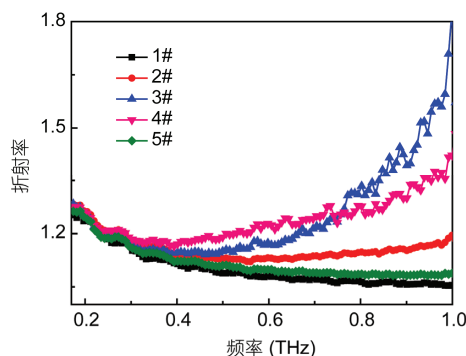


图 5 (网络版彩图)沉积岩样品的折射谱

Figure 5 (Color online) The refraction index dependence of frequency.

表 2 沉积岩样品及其组分含量

Table 2 The components content of samples

样品	含量 (μg/g)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	CO ₂	LOI
1#	93.06±0.15	3.52±0.09	0.30±0.04	(0.19)	1.10±0.07
2#	59.23±0.16	18.82±0.14	0.60±0.04	(0.1)	(5.95)
3#	15.60±0.06	5.03±0.08	35.67±0.25	32.4±0.3	34.10±0.02
4#	6.65±0.14	0.68±0.05	51.10±0.4	39.8±0.3	42.2±0.4
5#	8.25±0.06	0.10±0.02	33.07±0.09	(41.5)	39.73±0.27

由图 4 还可看出, 各样品的吸收系数和频率之间存在近线性关系. 因而对吸收曲线作线性拟合可分别得到样品-吸收系数的斜率值 k . 图 6(a) 是各样品的吸收系数拟合曲线斜率图. 再将此图与各样品的组分含量相对照, 见图 6(b). 分析可得, 样品中(除氧化

铝外)二氧化硅、氧化钙、二氧化碳及烧失量的含量变化恰与斜率突变点相对应. 对于组分含量与斜率的确切对应关系, 可能还需分析更多的沉积岩样品以及各样品中更多的物质成分. 但这已为我们利用太赫兹光谱技术分析沉积岩成分含量提供了一种新的思路.

由于太赫兹波能量涵盖分子的转动振动能级, 因而其能量只要位于分子能级共振的位置, 其透射太赫兹波就能表现出吸收特性. 沉积岩作为岩石类物质, 组成成分众多且内部结构复杂. 具体某一组分对应太赫兹特定波段的吸收, 折射的变化对应太赫兹波段的具体振动模式, 以及某频率下组分含量与吸收强度的定量关系等, 还有待对组成成分进行理论模拟.

3 结论

本文利用太赫兹时域光谱技术在室温氮气环境下对 5 种沉积岩标准物质样品进行了光谱分析, 得到了样品的太赫兹光谱, 并获得了吸收和折射率光谱. 通过对光谱的进一步分析, 得到了反映不同样品组分的关键中间体——沉积岩的定性分析. 随着太赫兹时域光谱技术本身的不断发展完善, 其将有望广泛应用于油气资源开发领域.

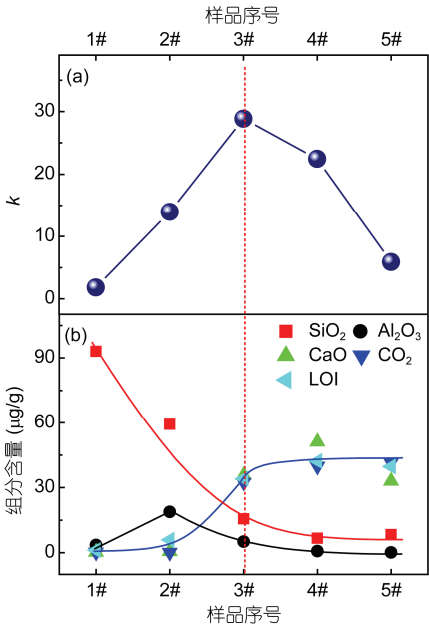


图 6 (网络版彩图)沉积岩样品吸收系数斜率图(a)和组分含量关系图(b)

Figure 6 (Color online) The slope of absorption coefficient curve (a) and components content of samples (b).

致谢 感谢中国石油大学(北京)油气光学探测技术北京市重点实验室给予的测试帮助.

参考文献

1 冯增昭. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 1996
2 Cheng W H, Di W. Genetic connection between formation of sedimentary rock and petroleum (in Chinese). J Graduates Sun Yat-sen Univ (Nat Sci Med), 2005, 26: 74–82 [程卫华, 邸文. 沉积岩的形成与石油的成生关系. 中山大学研究生学刊(自然科学、医学版), 2005, 26:

74–82]

- 3 Clark R N. Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: Rencz A N, ed. *Manual of Remote Sensing: Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences*. New York: John Wiley and Sons, 1999. 3–58
- 4 Lesmes D P, Morgan F D. Dielectric spectroscopy of sedimentary rocks. *J Geophys Res Solid Earth* (1978–2012), 2001, 106: 13329–13346
- 5 He M C, Lü X B, Yao S Z, et al. Raman spectrum of residual organic matter from sedimentary rocks (in Chinese). *Geol Sci Technol Inform*, 2005, 24: 67–69 [何谋春, 吕新彪, 姚书振, 等. 沉积岩中残留有机质的拉曼光谱特征. *地质科技情报*, 2005, 24: 67–69]
- 6 Gong Y L, Wang S Q, Shen B. Simultaneous determination of 15 elements in sedimentary rock samples by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (in Chinese). *Rock Miner Anal*, 2007, 26: 230–232 [龚迎莉, 汪双清, 沈斌. 电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定沉积岩中 15 个元素. *岩矿测试*, 2007, 26: 230–232]
- 7 沉积岩中金属元素的电感耦合等离子体原子发射光谱分析方法. 中华人民共和国石油天然气行业标准. SY/T 6404—1999
- 8 Zhang G G, Huang F, Sun X G. Determination of Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V and Zn impurities in silicon metal by ICP-AES (in Chinese). *Spectrosc Spect Anal*, 2000, 20: 71–73 [张桂广, 黄奋, 孙晓纲. ICP-AES 法测定纯硅中的 Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V 和 Zn 杂质元素. *光谱学与光谱分析*, 2000, 20: 71–73]
- 9 Tan X Y. Simultaneous determination of 19 elements in carbonate rocks by ICP-AES (in Chinese). *Rock Miner Anal*, 1999, 18: 275–279 [谭雪英. 电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定碳酸盐岩石中 19 个元素. *岩矿测试*, 1999, 18: 275–279]
- 10 Xie C, Zhou B G, Liu L, et al. Characteristics of Raman spectra of minerals in the veins of Wenchuan earthquake fault zone (in Chinese). *Spectrosc Spect Anal*, 2015, 35: 118–121 [谢超, 周本刚, 刘雷, 等. 汶川地震断裂带岩脉矿物拉曼谱峰特征. *光谱学与光谱分析*, 2015, 35: 118–121]
- 11 杨醒华, 张虹. 电化学检测器-离子色谱法测定沉积岩中微量溴. *分析化学*, 1988, 16: 932–934
- 12 吕伟, 李通化. 离子色谱技术在岩矿测试中的应用. *岩矿测试*, 1992, 11: 268–272
- 13 王磊. X 射线荧光光谱法熔融制样测定硅酸盐岩石样品中的主、次成分. 硕士学位论文. 长春: 吉林大学, 2012
- 14 Xu K A, Lü W, Zhou Z G. Study of simultaneous determination of the quantities of Cl⁻ and trace F⁻, Br⁻ in hydrogeology samples by mobile phase ion chromatography with dual conductance detector (in Chinese). *Chromatogr*, 1991, 9: 315–50 [徐魁安, 吕伟, 周振国. 流动相离子色谱法(串联双电导检测器)测定地质样品中高含量 Cl⁻和微量 F⁻、Br⁻离子. *色谱*, 1991, 9: 315–50]
- 15 Chen N, Chen G Y. The waveform analysis of spectrum of rock specimens collected from quartz vein no. 51 in linglong gold deposit in Shandong province (in Chinese). *Remote Sens Technol Appl*, 1993, 8: 21–25 [陈宁, 陈光远. 山东玲珑金矿 51 号脉岩石光谱波形分析. *遥感技术与应用*, 1993, 8: 21–25]
- 16 Wu Z H, Guo D F, Cui J Y, et al. Determination of trace Born in geological samples by HR-TCP-MS (in Chinese). *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2000, 21: 83–85 [武朝辉, 郭冬发, 崔建勇, 等. 高分辨等离子体质谱法测定地质样品中微量硼的方法研究. *质谱学报*, 2000, 21: 83–85]
- 17 Jehlicka J, Urban O, Pokorný J, et al. Raman spectroscopy of carbon and solid bitumens in sedimentary and metamorphic rocks. *Spectrochim Acta A*, 2003, 59: 2341–2352
- 18 Richter K, Götte D, Götze T, et al. Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology. *Miner Petrol*, 2003, 79: 127–166
- 19 Cavé L, Al T, Xiang Y, et al. A technique for estimating one-dimensional diffusion coefficients in low-permeability sedimentary rock using X-ray radiography: Comparison with through-diffusion measurements. *J Contam Hydrol*, 2009, 103: 1–12
- 20 Beyssac O, Goffé B, Chopin C, et al. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: A new geothermometer. *J Metamorph Geol*, 2002, 20: 859–871
- 21 Vaculikova L, Plevova E. Identification of clay minerals and micas in sedimentary rocks. *Acta Geodyn Geomater*, 2005, 2: 167–175
- 22 Wang Y E. Study on the laser photoacoustic power spectrum of different rock (in Chinese). *Laser J*, 2012, 33: 48–49 [王阳恩. 不同种类岩石的激光光声频谱研究. *激光杂志*, 2012, 33: 48–49]
- 23 许景周, 张希成. 太赫兹科学和技术应用. 北京: 北京大学出版社, 2007
- 24 Horiuchi N. Searching for terahertz waves. *Nat Photonics*, 2010, 4: 662
- 25 Zhang C L, Mu K J. Terahertz spectroscopy and imaging (in Chinese). *Laser Optoelectron Prog*, 2010, 47: 1–14 [张存林, 牧凯军. 太赫兹波谱与成像. *激光与光电子学进展*, 2010, 47: 1–14]
- 26 Greeney N S, Scales J A. Non-contacting characterization of the electrical and mechanical properties of rocks at submillimeter scales. *Appl Phys Lett*, 2012, 100: 124105
- 27 Scales J A, Batzle M. Millimeter wave analysis of the dielectric properties of oil shales. *Appl Phys Lett*, 2006, 89: 024102

- 28 Scales J A, Batzle M. Millimeter wave spectroscopy of rocks and fluids. *Appl Phys Lett*, 2006, 88: 062906
- 29 Dorney T D, Rossow M J, Symes W W, et al. Single-cycle terahertz electromagnetic pulses: A new test bed for physical seismic modeling. *Geophys*, 2003, 68: 308–313
- 30 Dorney T D, Johnson J L, Van Rudd J, et al. Terahertz reflection imaging using Kirchhoff migration. *Opt Lett*, 2001, 26: 1513–1515
- 31 Li J, Li J, Li Y N, et al. Identification of refined oil by terahertz spectroscopy (in Chinese). *Chin J Spectrosc Lab*, 2012, 29: 1947–1951 [李健, 李杰, 李逸楠, 等. 太赫兹光谱用于成品油的识别. *光谱实验室*, 2012, 29: 1947–1951]
- 32 Fan C F, Liu J S, Zhuo Y. Preliminary research of containing wax quantity of asphalt terahertz transmission spectrum (in Chinese). *Western China Commun Sci Technol*, 2011, 4: 28–32 [范成发, 刘劲松, 卓越. 沥青含蜡量太赫兹透射谱初步研究. *西部交通科技*, 2011, 4: 28–32]
- 33 Zhan H L, Wu S X, Bao R M, et al. Qualitative identification of crude oils from different oil fields using terahertz time-domain spectroscopy. *Fuel*, 2015, 143: 189–193
- 34 Jiang C, Zhao K, Zhao L J, et al. Probing disaggregation of crude oil in a magnetic field with terahertz time-domain spectroscopy. *Energy Fuels*, 2014, 28: 483–487
- 35 Bao R, Wu S, Zhao K, et al. Applying terahertz time-domain spectroscopy to probe the evolution of kerogen in close pyrolysis systems. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2013, 56: 1603–1605
- 36 Jin W, Zhao K, Yang C, et al. Experimental measurements of water content in crude oil emulsions by terahertz time-domain spectroscopy. *Appl Geophys*, 2013, 10: 506–509
- 37 Bao R M, Tian L, Zhao K, et al. Spectroscopy studies on the Tuha crude oil in the terahertz range. In: *Proceedings of International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011*. Beijing, 2011. 81951J
- 38 Qin F, Li Q, Zhan H, et al. Probing the sulfur content in gasoline quantitatively with terahertz time-domain spectroscopy. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2014, 57: 1404–1406
- 39 Tian L, Zhou Q L, Jin B, et al. Optical property and spectroscopy studies on the selected lubricating oil in the terahertz range. *Sci China Ser G-Phys Mech Astron*, 2009, 52: 1938–1943
- 40 Zhao H, Zhao K, Bao R. Fuel property determination of biodiesel-diesel blends by terahertz spectrum. *J Infrared Millim Terahertz Wave*, 2012, 33: 522–528
- 41 Leng W X, Ge L N, Xu S S, et al. Pressure-dependent terahertz optical characterization of heptafluoropropane. *Chin Phys B*, 2014, 23: 107804
- 42 Li J S. Optical parameters of vegetable oil studied by terahertz time-domain spectroscopy. *Appl Spectrosc*, 2010, 64: 231–234
- 43 Duvillaret L, Garet F, Coutaz J L. Highly precise determination of optical constants and sample thickness in terahertz time-domain spectroscopy. *Appl Opt*, 1999, 38: 409–415
- 44 Duvillaret L, Caret F, Coutaz J L. A reliable method for extraction of material parameters in terahertz time-domain spectroscopy. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*, 1996, 2: 739–746
- 45 Dorney T D, Baraniuk R G, Mittleman D. Material parameter estimation with terahertz time-domain spectroscopy. *J Opt Soc Am A*, 2001, 18: 1562–1571
- 46 Marquez E, Ramirez-Malo J, Villares P, et al. Calculation of the thickness and optical constants of amorphous arsenic sulphide films from their transmission spectra. *J Phys D Appl Phys*, 1992, 25: 535–541

Spectroscopy studies on several kinds of sedimentary rocks in the terahertz range

CHEN Chen^{1,2}, LIU JinSong^{1*}, YAO JianQuan¹, WANG ShaoLong² & WANG YangEn²

¹ Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

² School of Physics and Optoelectronic Engineering, Yangtze University, Institute of Photoelectric Technology, Jingzhou 434023, China

In order to study sedimentary rocks, the key intermediate of oil and gas, in the terahertz range. We have measured five kinds of sedimentary rocks by terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS). The absorption coefficients and refractive indexes have been obtained. By analyzing the spectra, we get different drops in amplitude and delays in time. The absorption and refractive properties of samples are changed with its components and types. In addition, we also find that there is a nearly linear relationship between the absorption coefficient and the frequency. We calculate the slope value (K) of each sample by linear fitting, and find the K is corresponding to the contents of the samples. The results show THz-TDS is an effective method to the analysis of sedimentary rock, and it will have a bright future in the field of developing oil and gas.

terahertz time-domain spectroscopy, sedimentary rock, absorption coefficient, refractive index

PACS: 78.20.ci, 78.30.-j, 78.40.-q

doi: 10.1360/SSPMA2015-00146