

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Т Р У Д Ы
ПЯТНАДЦАТОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ

Томск, 17–19 мая 2018 г.



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2018

Применение двумерной терагерцовой диагностики для анализа монохромных изображений

Д.С. Бодажков, А.В. Бадьин

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

В настоящее время интенсивно развивается терагерцовая (ТГц) диагностика различных материалов. ТГц-техника работает в частотном интервале между инфракрасным излучением и микроволнами ($10^{11} - 10^{12}$ Гц).

ТГц-излучение применяется в различных сферах деятельности человека. Например, ТГц-волны используются в области контроля качества конструкций и построек. М. Швардфигер, Кастро-Камус и другие использовали ТГц-спектроскопию для просмотра воздушных зазоров между камнями [1]. Чтение ветхих книг без открытия за счет применения ТГц-спектроскопии позволяет сохранять их целостность, тем самым сберегая данные культурные наследия. Вместе с этим ТГц-технологии позволяют заглянуть под полотна известных художников и увидеть различные наброски, которые оставил автор под краской. А. Редо-Санчес, Н. Лэман, Б. Шулкин и Т. Тон проводили ТГц-сканирование картины Ф. Гойи «Жертвоприношение для Весты» и обнаружили под краской подпись художника, которую не видно при анализе в рентгеновском диапазоне [2], а это, в свою очередь, может иметь ценность для деятелей культуры. Авторы работы [3] проводили исследование папируса с нанесенной на него надписью чернилами с целью возможности считывания монохромных надписей.

В последнее время [2, 4, 5] наблюдается интерес к изучению различных культурных и исторических ценностей с помощью данных технологий. Поэтому ТГц-спектроскопия очень интересна и имеет большую практическую значимость на сегодняшний день.

Основная часть

В качестве исследуемого материала был выбран образец художественной бумаги размерами 40×40 мм. Толщина диэлектрической подложки d составляла 280 мкм. На диэлектрической подложке простым карандашом были нанесены шесть тестовых полос разной ширины, аналогично было сделано шариковой ручкой (рис. 1). Под микроскопом была определена толщина всех полос (рис. 2).

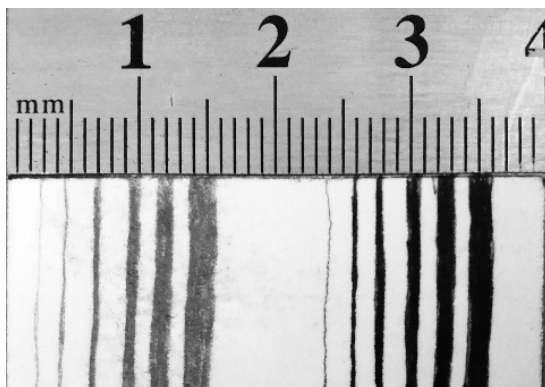


Рис. 1. Внешний вид исследуемого образца

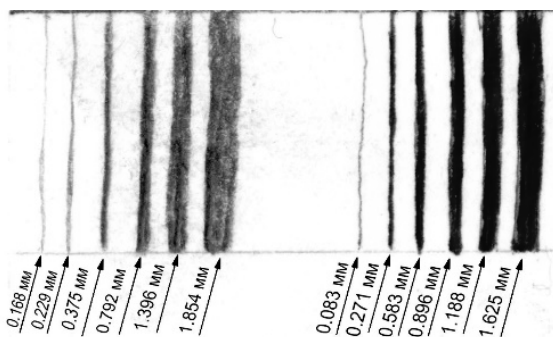


Рис. 2. Средняя измеренная толщина тестовых линий

Исследуемый образец помещался в устройство двумерного позиционирования [6], которое позволяло производить сканирование квазиоптическим пучком в плоскости XU , ортогональной направлению распространения волны в диапазоне 40×40 мм (рис. 3).

В качестве источника монохроматического излучения применялась лампа обратной волны, генерирующая монохроматические колебания. Детектирование сигнала осуществлялось акустооптическим преобразователем (ячейкой Голя) с применением механического прерывателя в качестве амплитудного модулятора. В результате двумерного сканирования исследуемого образца в квазиоптическом пучке ТГц-спектрометра получено распределение интенсивности прошедшего ТГц-излучения на частоте 863 ГГц (рис. 4).

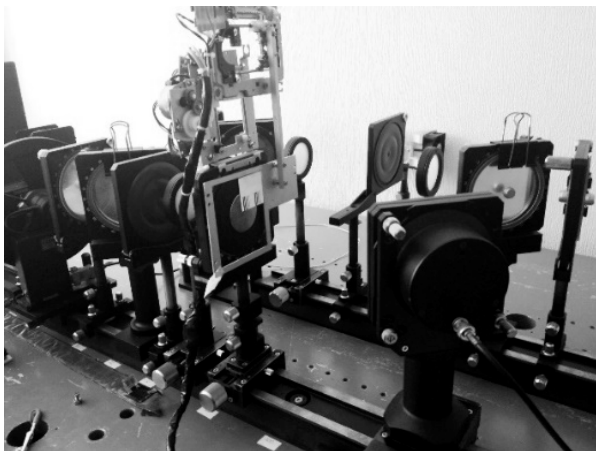


Рис. 3. Внешний вид сканирующей системы в измерительном тракте ТГц-спектрометра

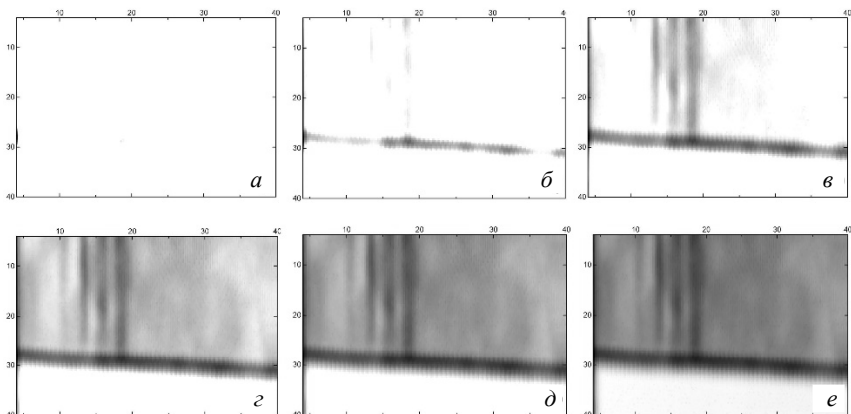


Рис. 4. Графики распределения интенсивности прошедшего ТГц-излучения на частоте 863 ГГц для различных диапазонов значений напряжения на детекторе: *a* – 0,63–1 В; *б* – 1–1,5 В; *в* – 1,5–2 В; *г* – 2–2,5 В; *д* – 2,5–3 В; *е* – 3–3,45 В

Как видно из рис. 4, монохромные изображения, нанесенные шариковой ручкой, не способны внести контраст в распределение сигнала с детектора. Полосы, нанесенные графитовым карандашом, вносят контраст в полученное изображение. Однако толщина линий влияет на раз-

решающую способность ТГц-системы. Две первые полосы со средним значением толщины 168 и 229 мкм не оказывают влияния на ТГц-излучение на частоте 863 ГГц. Это обстоятельство связано с рабочей длиной волны генератора, которая равна 347 мкм. То есть монохроматические линии, которые имеют толщину меньше длины волны используемого ТГц-излучения, становятся «невидимыми» для ТГц-сканирующей системы. Представленные экспериментальные результаты показывают применимость двумерных сканирующих ТГц-систем для анализа монохромных изображений, например для визуализации карандашных набросков, скрытых под слоями красок картины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schwerdtfeger M., Castro-Camus E., Krügener K., Viöl W., Koch M.* Beating the wavelength limit: three-dimensional imaging of buried subwavelength fractures in sculpture and construction materials by terahertz time-domain reflection spectroscopy // *Applied Optics*. 2013. V. 52. No. 3. P. 375–380.
2. *Redo-Sanchez A., Laman N., Schulkin B., Tongue T.* Non-destructive imaging with compact and portable terahertz systems // *AIP Conference Proceedings*. 2014. V. 1581. No. 33. P. 1583–1587.
3. *Labaune J., Jackson J. B., Pagès-Camagna S., Duling I. N., Menu M., Mourou G. A.* Papyrus imaging with terahertz time domain spectroscopy // *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 2010. V. 100. No. 3. P. 607–612.
4. *Krügener K., Schwerdtfeger M., Busch S. F., Soltani A., Castro-Camus E., Koch M., Viöl W.* Terahertz meets sculptural and architectural art: Evaluation and conservation of stone objects with T-ray technology // *Scientific Reports*. 2015. V. 5. No. 1. P. 14842.
5. *Кочеткова Т.Д., Тарасов А.А., Бадьин А.В., Дорожкин К.В.* Бесконтактный контроль электромагнитных свойств неоднородных диэлектриков природного происхождения в области крайне высоких частот // 26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2016). Севастополь, 4 – 10 сентября 2016 г. Т. 3. С. 2266–2272.
6. *Бадьин А.В., Бердюгин А.И., Выговский В.Ю.* Терагерцовая система двумерной диагностики неоднородностей материалов // Сб. трудов конференции NI Academic Days, 2017, Москва 13–14 апреля 2017 г. С. 214–216

Бодажков Дмитрий Сергеевич, студент; bodima96@mail.ru;

Бадьин Александр Владимирович, к.ф.-м.н., доцент; thzlab@mail.ru