

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

05

Журнал технической физики, т. 62, в. 3, 1992

© 1992 г.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ ФОТОТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫМ МЕТОДОМ*В. И. Миргородский, Г. А. Орлова, А. Л. Филатов*

В последнее десятилетие появился ряд новых методов исследований конденсированных сред, отличительной особенностью которых является высокая чувствительность к малым поглощениям электромагнитного излучения в объектах и относительная простота реализации [1, 2]. Эти методы, названные фототермоакустическими, основаны на анализе распространения в объекте или в его окрестности термоупругих волн, возникающих при поглощении объектом модулированного электромагнитного излучения.

Одной из сравнительно новых разновидностей фототермоакустических методов является "фототермодеформационный" метод, который по сравнению с другими фотоакустическими методами обладает рядом преимуществ, среди которых наиболее важной (по наш взгляд, является возможность работы на высоких частотах модуляции (что делает доступным исследование тонких, вплоть до 1 мкм, слоев на поверхности твердых тел) и в вакууме.

Теория эффекта "фототермодеформации" и изложение первых экспериментов содержатся в работах [3, 4]. В работе [3] проведено сравнение выводов теории с результатами экспериментов для стекла, при этом обнаружилось неплохое согласие. Однако в работах [3, 4] не анализировались возможности практического использования эффекта "фототермодеформации", который, как нам представляется, перспективен, в частности, для определения температуропроводности твердых тел. Исследованию этих возможностей и посвящена данная работа.

Поскольку теоретическое описание фототермодеформационного эффекта для сфокусированного на поверхности исследуемого объекта "греющего" излучения весьма сложно, а приведение его к виду, допускающему простое использование (что необходимо для практики), маловероятно, то основной упор данной работы сделан на установление эмпирических зависимостей, связывающих температуропроводности исследуемых веществ и результаты экспериментов.

Метод "фототермодеформации" состоит в измерении кривизны поверхности образца, вызванной тепловым расширением вещества при поглощении энергии "греющего" луча. Обычно образец облучается сфокусированным, модулированным по интенсивности "греющим" лазерным излучением, а периодическое изменение наклона поверхности регистрируется по отклонению отраженного от поверхности зондирующего лазерного луча. Измеряются зависимости амплитуды и фазы этого отклонения (фототермодеформационного сигнала) от величины разнесения "греющего" и зондирующего лучей и от частоты модуляции "греющего" луча. Из теории [3] следует, что характер получаемых зависимостей должен определяться температуропроводностью, коэффициентом Пуассона исследуемых материалов и частотой модуляции "греющего" луча. Хотя для большинства твердых тел коэффициент Пуассона меняется в относительно небольших пределах (от 0.2 до 0.5), из этого, вообще говоря, не следует, что влиянием этого коэффициента на результаты измерений можно пренебрегать; этот вопрос требует изучения как теоретического (в [3] этот вопрос не рассматривался), так и экспериментального.

Схема экспериментальной установки, представленная на рис. 1, подобна предложенной в работе [3]. В качестве источника "греющего" излучения исполь-

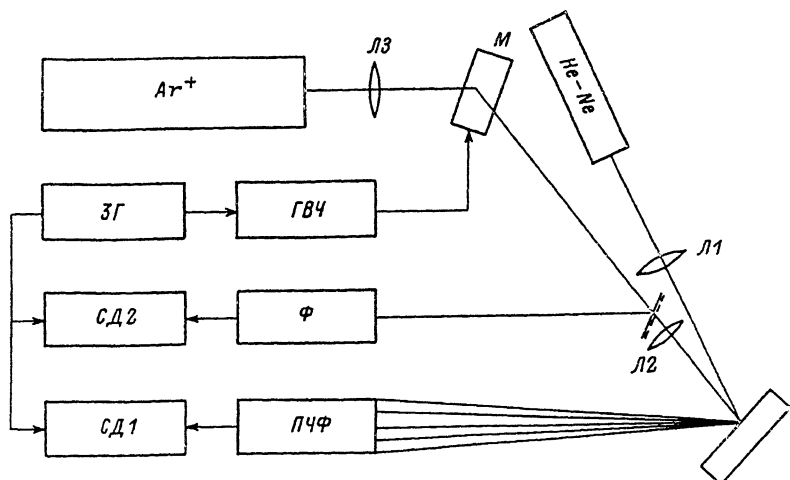


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

зовался Ar^+ лазер, а для зондирования — He—Ne лазер. Оба луча фокусировались до размеров ≈ 50 мкм на поверхность исследуемого образца линзами L_1 и L_2 . Линза L_2 использовалась также для перемещения “греющего” луча по поверхности образца. Модуляция “греющего” излучения осуществлялась акустооптическим модулятором M , питаемым генератором высокой частоты ГВЧ. Частота модуляции задавалась звуковым генератором ЗГ. Фокусировка луча линзой L_3 была необходима для эффективной работы акустооптического модулятора. Прием зондирующего излучения проводился с помощью позиционно-чувствительного фотоприемника ПЧФ. Определение модуля и сдвига фаз выходного сигнала осуществлялось синхронным детектором СД1 с квадратурными каналами. Влияние на точность эксперимента нестабильности мощности “греющего” излучения устранялась введением опорного канала с фотоприемником Ф.

Было исследовано пять образцов чистых металлов с поликристаллической структурой и два образца монокристаллических полупроводников (Mg, Si, Co, GaAs, Pb, Fe, V) (вещества приведены в порядке убывания коэффициента температуропроводности). Образцы имели размеры $\approx 1 \times 1 \times 1$ см. В результате экспериментов были получены зависимости, которые, как оказалось, качественно подобны друг другу для всех материалов. На рис. 2 приведены зависимости амплитуды (отн. ед.) и фазы (град) фототермодеформационного сигнала в зависимости от взаимного расположения лучей (мкм) для трех (чтобы не загромождать рисунок) из исследованных материалов Mg, Pb и V при частоте модуляции “греющего” излучения $f = 10$ Гц. Видно, что в точке $X = 0$ (место совпадения “греющего” и зондирующего лучей) происходят скачок фазы на 180° и резкое падение амплитуды сигнала. По обе стороны от этой точки амплитудные и фазовые зависимости подобны для каждого материала соответственно. Причем по мере уменьшения температуропроводности (от Mg к V), как и следовало ожидать, амплитудные и фазовые зависимости становятся круче. В фазовых зависимостях, как видно, наблюдается близкое к линейному поведение для всех исследуемых образцов.

Для выяснения характера наблюдаемых зависимостей был проведен анализ угла наклона (θ) фазовых кривых в предположении, возможности аппроксимации зависимости $\text{tg}(\theta)$ степенной функцией типа $F = AK^\alpha P^\beta$, где A , α , β — параметры, K — коэффициент температуропроводности, P — коэффициент Пуассона. В результате оказалось, что предположение о степенной зависимости неплохо согласуется с полученными результатами при следующих значениях коэффициентов: $A \approx 5.48$, $\alpha \approx 0.5$, $\beta \approx 0.03$. Как видно, наряду с достаточно сильной зависимостью

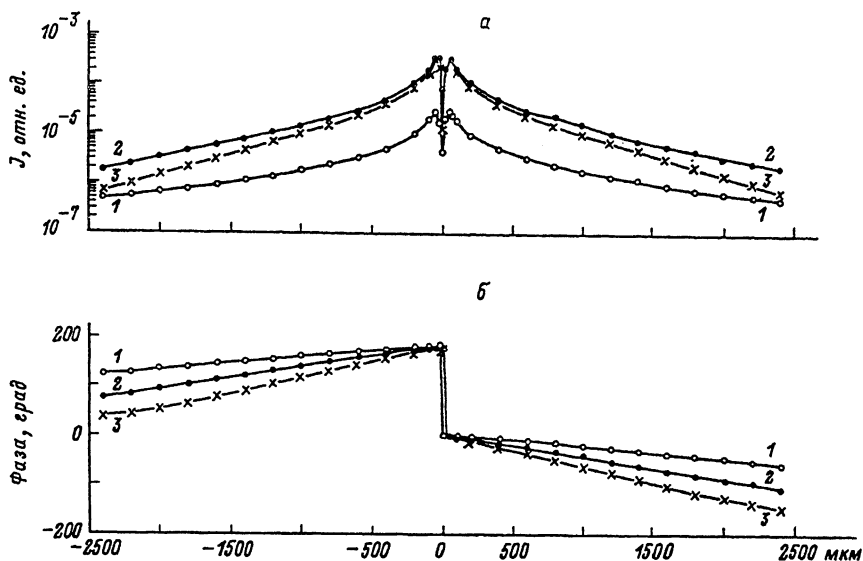


Рис. 2. Амплитудные (а) и фазовые (б) зависимости фотоакустического сигнала от разнесения греющего и зондирующего лучей для различных образцов.

1 — Mg, 2 — Pb, 3 — V.

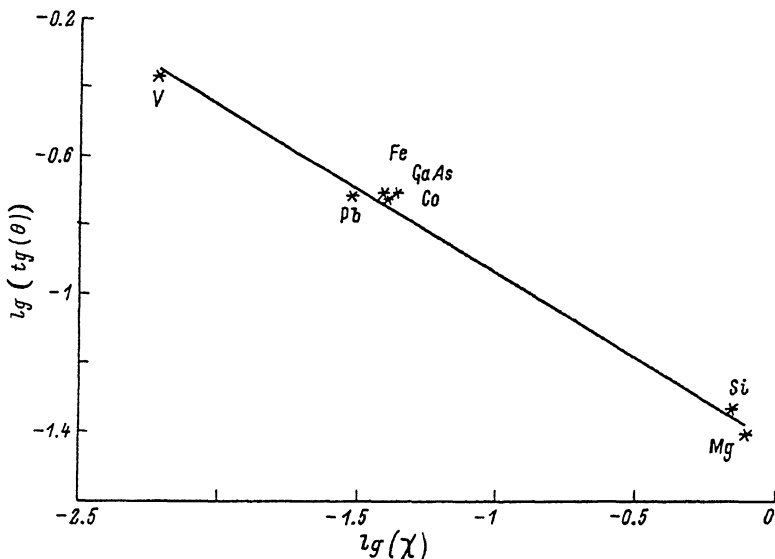


Рис. 3. Зависимости $\lg(\text{tg}(\theta))$ от логарифмов табличных значений температуропроводности исследуемых веществ.

наклона фазовых характеристик от температуропроводности ($\text{tg}(\theta) \sim K^{0.50}$) зависимость от коэффициента Пуассона значительно более слабая ($\text{tg}(\theta) \sim \nu^{0.03}$), что, учитывая небольшие пределы изменения коэффициента Пуассона для различных веществ, означает практическую независимость результатов измерения от коэффициента Пуассона.

Для иллюстрации точности аппроксимации степенной функцией зависимость $\lg(\theta)$ в фазовых кривых от температуропроводности на рис. 3 представлена зависимость $\lg(\lg(\theta))$ от логарифмов табличных значений температуропроводности исследуемых веществ, приведенных в [5—7]. Как видно, отклонения точек, соответствующих экспериментальным результатам, от степенной зависимости $K^{0.5}$ невелики: среднее квадратическое отклонение составляет около 5%, что, по-видимому, и может считаться оценкой точности предлагаемого метода.

Список литературы

- [1] *Rosenzweig A., Gersho A.* // J. Appl. Phys. 1976. Vol. 47. N 1. P. 64—69.
- [2] *Fournier D., Boccaro C., Skumanich A.* // N. Amer. J. Appl. Phys. 1986. Vol. 59. N 3. P. 787—795.
- [3] *Olmstead M.* // N. Amer. Appl. Phys. A. 1983. Vol. 32. P. 141—154.
- [4] *Opsal J., Rosenzweig A., Willibory D.* // Appl. Opt. 1983. Vol. 32. N 20. P. 3169—3176.
- [5] *Шаскольская М. П.* Акустические кристаллы. М.: Наука, 1982. 632 с.
- [6] *Лариков Л. Н., Юрченко Ю. Ф.* Тепловые свойства металлов и сплавов. Киев: Наукова думка, 1985. 437 с.
- [7] *Кикоин И. К.* Таблицы физических величин. Справочник. М.: Атомиздат, 1976. 1006 с.

Институт радиотехники и электроники РАН
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
19 марта 1990 г.
В окончательной редакции
15 апреля 1991 г.

04:07

Журнал технической физики, т. 62, в. 3, 1992

© 1992 г.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА, НАПРАВЛЯЕМОГО ЛАЗЕРНОЙ ИСКРОЙ

Э. И. Асиновский, Л. М. Василяк, С. Ю. Унковский

Исследования электрических разрядов, направляемых лазерной искрой, были вызваны необходимостью создания новых типов коммутаторов [1], плазменных антенн [2] и молниеотводов [3], каналов для транспортировки пучков заряженных частиц в установках инерционного термоядерного синтеза [2, 3], а также для моделирования процессов в линейной молнии. В выполненных работах в основном изучалась возможность создания таких разрядов в зависимости от условий эксперимента и высказывались различные предположения о возможных механизмах развития разряда, например о ступенчатом характере его распространения [5]. В [6] на основе измерений электрического потенциала вдоль траектории направляемого разряда предложена модель распространения фронта разряда в виде волны ионизации. Для построения моделей и получения направляемых разрядов с заданными параметрами необходимо знание механизмов развития разряда. В настоящей работе сообщаются результаты электронно-оптических исследований возникновения и движения светящихся фронтов волн ионизации в электрическом разряде при его иницировании как одиночным очагом плазмы, так и длиной лазерной искрой (ДЛИ) с большим числом лазерных очагов, приведены результаты исследования устойчивости разряда при длительном протекании тока.

Электрический разряд между двумя сферическими электродами (рис.1) диаметром 3 см в промежутке длиной 20 см иницировался лазерной искрой длиной от 1 до 50 см, которая создавалась фокусировкой излучения импульсного неодимового лазера (5—150 Дж, 50—100 нс) и имела дискретную структуру с плотностью очагов оптического пробоя 3—4 шт. на сантиметр длины вдоль луча. После лазерного импульса через регулируемое в диапазоне 1—2000 мкс время задержки на промежуток подавался импульс напряжения с амплитудой 600 кВ,