

УДК 535.5

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛАСТИНЕ КРЕМНИЯ В УСЛОВИЯХ КОНТАКТНОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ

К. ф.-м. н. И. Е. Матяш, И. А. Минайлова, д. ф.-м. н. Б. К. Сердега

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины
Украина, г. Киев
bserdega@isp.kiev.ua

Сведения о величине и знаке термонапряжения в образце получены исследованием линейного двулучепреломления, выполненного техникой модуляционной поляриметрии зондирующего излучения. Обнаружена многолучевая интерференция циркулярно поляризованного излучения, из параметров которой построена кинетика температуры в определенной координате.

Ключевые слова: термоупругость, анизотропия, двулучепреломление, модуляция поляризации.

Проблема термоупругости, состоящая в установлении закономерностей, связывающих величины напряжений, температуры и параметры веществ, остается одной из наиболее важных в современном материаловедении. В свою очередь, в исследовании напряженного состояния твердого тела большую популярность имеет использование интерференционных методик [1, 2]. Их достоинство состоит в большой пространственной информативной способности, сопровождаемой, однако, невозможностью использования ее в масштабе реального времени. Более качественный результат можно получить с помощью модуляционной поляриметрии, если в интерференционных методах детектирования термоупругости учитывать состояние поляризации излучений.

Для исследования интерференции поляризованных волн в условиях термоупругости в работе были использованы образцы в виде плоскопараллельных пластинок из монокристаллического кремния, установленные на контактный нагреватель. Градиент температуры в образце создавался от одной из поверхностей источником тепла мощностью 1 Вт, что обеспечивало в приближении плоскость теплового фронта.

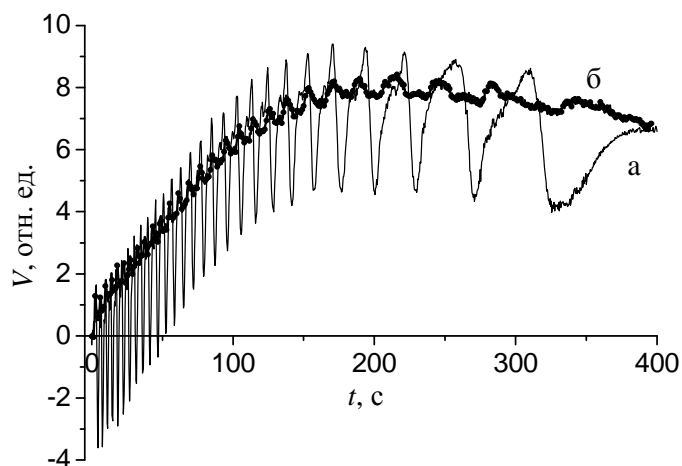


Рис. 1. Зависимость $V(t)$ как суперпозиция двух- и многолучевой интерференции при расположении образца в фокусе луча (а) и при расфокусировании луча (б)

Наличие в образце неоднородного градиента температуры приводит к образованию внутренних механических напряжений и к возникновению явления двулучепреломления, которое в свою очередь приводит к изменению состояния поляризации излучения, прошедшего сквозь образец. Поляризационный анализ указанного излучения производился с помощью установки, оптическая схема и работа которой подробно рассмотрена в [3]. При этом регистрируемая циркулярно поляризованная компонента вектора Стокса $V(t)$, которая выделяется модулятором поляризации, является линейной мерой величины механического напряжения при малых температурах нагрева.

При исследовании двулучепреломления в кристалле кремния, как результата термоупругости, вызванной неоднородным температурным полем от контактного нагрева, была обнаружена суперпозиция двух- и многолучевой интерференции поляризованных лучей [4]. Результат, однозначно доказывающий интерференционную природу осцилляций величины циркулярной компоненты излучения

прошедшего образец, показан на рис. 1. Обе кривые соразмерны по амплитуде и отражают распределение механического напряжения от времени в точке. Однако кривая *a* получена при расположении образца в фокусе зондирующего луча, а вторая зависимость (кривая *б*) получена в условиях специально расфокусированного луча, при этом, хотя обе зависимости являются суперпозицией двух- и многолучевой интерференции, вторая имеет практически монотонный вид. Такой результат объясняется усреднением осциллирующей величины $V(t)$ на градиенте температуры в границах увеличенного светового пятна.

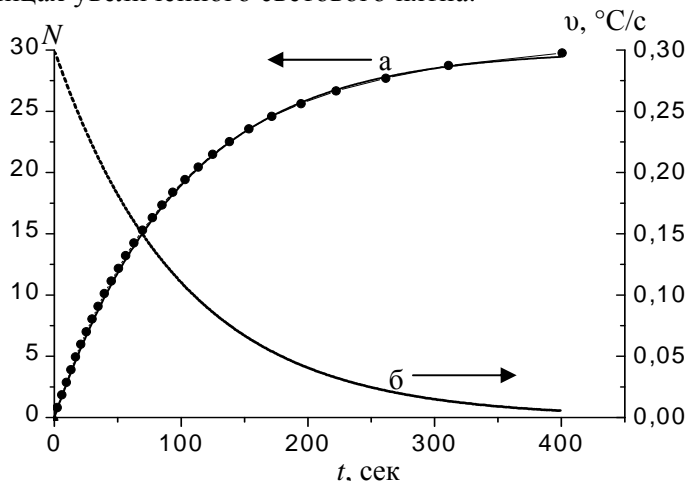


Рис. 2. Временная зависимость N при нагреве (*a*) и скорости изменения температуры v (*б*).

Было обнаружено, что кинетика механического напряжения $\sigma(t)$, представленная как зависимость количества осцилляций V циркулярной компоненты излучения от времени (кривая *a* на рис. 2), практически идеально аппроксимируется зависимостью $N=30\exp(-t/\tau)$ при $\tau=100$ с, а зависимость $\Delta N/\Delta t$ отражает скорость изменения температуры v в точке наблюдения (кривая *б* рис. 2).

Экспериментальный результат хорошо описывается математическим формализмом на основе формул Френеля только в случае учета зависимости от температуры таких параметров кремниевой пластинки, как толщина и показатель преломления. То есть, плоскопараллельная

пластинка является для зондирующего луча резонатором Фабри—Перо, оптическая толщина которого изменяется с ростом температуры, что приводит к осцилляциям величины циркулярно поляризованной компоненты излучения, а затухающий характер осцилляций объясняется уменьшением кривизны температурной функции при выходе нагрева на стационарный режим. Выявленные особенности исследования двух- и многолучевой интерференции позволяют определить теплофизические, оптические и механические параметры материала с высокой точностью.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Островский Ю. И., Щепинов В. П., Яковлев В. В. Голографические интерференционные методы исследования деформаций.— Москва: Наука, 1988.
2. Чернышов Г. Н., Попов А. Л., Козинцев В. М., Пономарев И. И. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах.— Москва: Наука. Физматгиз, 1996.
3. Матяш И. Е., Минайлова И. А., Мишук О. Н., Сердега Б. К. Кинетика и динамика двулучепреломления, индуцированного тепловым потоком в стекле, в изображении модуляционной поляриметрии // ФТТ.— 2013.— Т. 55, № 5.— С. 1003—1010.
4. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика.— Москва: Наука, 2004.

I. E. Matyash, I. A. Minailova, B. K. Serdega

Interference of polarized radiation in a silicon plate under conditions of contact thermoelasticity.

The data on the value and sign of the mechanical thermal stresses in the sample was obtained by investigation of linear birefringence, which was realized using the technique of modulation polarimetry of the probe radiation. Multipath interference of circularly polarized radiation was detected, and the temperature kinetics in a certain coordinate was constructed from the parameters of the interference.

Keywords: *thermoelasticity, anisotropy, birefringence, polarization modulation.*