

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1987.1.07>

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED.  
FÜSIKA \* MATEMAATIKA  
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ФИЗИКА \* МАТЕМАТИКА  
PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR.  
PHYSICS \* MATHEMATICS

1987, 36, 1

УДК 53.083.722; 548 : 3; 534.01+535.343.2

*М. АЙЗЕНГЕНДЛЕР, А. КИППАСТО, И. ДОЛИНДО, И. СИЛЬДОС*

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ  
ПРОПУСКАНИЯ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО  
ЛАЗЕРА И ФПЗС-ДЕТЕКТОРА**

*M. AIZENGENDLER, A. KIPPASTO, I. DOLINDO, I. SILDOS.* KRISTALLIDE LÄBILASKVUSE  
RUUMILIS-AJALINE SONDEERIMINE IMPULSSLASERI JA CCD VALGUSVASTUVOTJA ABIL

*M. AIZENGENDLER, A. KIPPASTO, I. DOLINDO, I. SILDOS.* SPATIAL-TEMPORAL PROBING  
OF CRYSTALS TRANSMISSION BASED ON THE PULSE LASER AND CCD-ARRAY  
DETECTOR

*(Представил К. К. Ребане)*

Создана система многоканальной регистрации для пространственного оптического зондирования кристаллов с временным разрешением на базе импульсного перестраиваемого лазера на красителе и линейного многоэлементного фоточувствительного прибора с зарядовой связью (ФПЗС). При изучении быстротекущих явлений переноса (диффузия частиц, перенос энергии), распространение неравновесных фононов) наиболее эффективными являются оптические методы регистрации. Обычно этими методами детектируется изменение пропускания объекта или изменение интенсивности излучения. Однако традиционная методика одноканальной регистрации (фотодиоды, фотоумножители) позволяет детектировать или сигнал из одной пространственной точки, или сигнал, интегрированный по площади.

Методика многоканальной регистрации позволяет одновременно и независимо друг от друга регистрировать сигналы из многих пространственных точек. До недавнего времени реализация этой методики задерживалась несовершенством многоканальных оптических детекторов (фотопластины, видиконы, сканисторы). Существенный прогресс в многоканальной регистрации оптического сигнала стал возможным благодаря применению в качестве детекторов оптического излучения ФПЗС [1]. ФПЗС представляет собой твердотельный датчик изображения, преобразующий изображение, создаваемое падающим излучением, в соответствующий видеосигнал. С помощью этого сигнала может быть воспроизведен аналог изображения. Работа ФПЗС состоит из трех основных ступеней. Во-первых, поток фотонов, падающий на каждую точку изображения, поглощается на соответствующей элементарной площадке дат-

чика, в результате чего образуются свободные электроны и дырки. Во-вторых, электроны или дырки (неосновные носители) собираются на локализованных узлах датчика (одно- или двухмерная матрица дискретных точек изображения). В-третьих, после процесса накопления матрица опрашивается в растре развертки, в результате чего на выходе возникает поэлементный дискретный видеосигнал. При выводе стирается запасенное распределение зарядов, так что датчик может сразу воспринимать новое изображение [2, 3].

Целью данной работы было создание системы многоканальной регистрации пространственного измерения (зондирования) пропускания кристаллов с временным разрешением  $\sim 10$  нс для исследования пространственного распространения акустических фононов в примесных кристаллах при гелиевых температурах. Именно, при оптическом возбуждении примесей  $\text{NO}_2^-$  в кристалле  $\text{KCl}$  поглощенная энергия в процессах релаксации почти полностью преобразуется в низкочастотные акустические (тепловые) фононы кристалла. Изучались процессы расплывания и термализации сильно нагретой области кристалла после возбуждения мощным лазерным импульсом. С помощью многоканального детектора света наблюдали за передвижением фронта температуры в кристалле, причем индикатором температуры служило изменение пропускания кристалла, вызванное тепловым фронтом. Пропускание измерялось на длине волны бесфононной линии примесного поглощения [4]. Таким образом, мы зондировали пропускание нагретой области и ее окружения пробным импульсом через определенные временные интервалы после нагрева и получили пространственно-временные сечения пропускания кристалла.

Блок-схема установки изображена на рис. 1. Блок синхроимпульсов 4 запускает эксимерный лазер 7, накачивающий лазер на красителе 8. Импульс света от перестраиваемого лазера на красителе 8 фокусируется на поверхность изучаемого кристалла, помещенного в криостат 6. Через интервал времени  $t_i$  после возбуждающего лазерного импульса блоком синхроимпульсов запускается аналогичная лазерная система 1, 2 и зондирующий лазерный импульс проходит сквозь кристалл. Пространст-

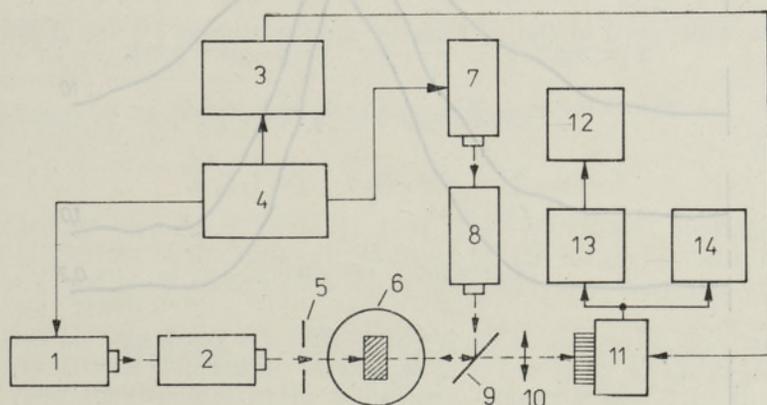


Рис. 1. Блок-схема многоканального оптического анализатора: 1 — азотный лазер, 2 — лазер на красителе, 3 — блок управления ФПЗС, 4 — блок синхроимпульсов, 5 — диафрагма, 6 — объект в криостате, 7 — эксимерный лазер, 8 — лазер на красителе, 9 — полупрозрачное зеркало, 10 — система цилиндрических линз, 11 — ФПЗС, 12 — микро-ЭВМ TRS-80, 13 — многоканальный анализатор NTA-1024, 14 — монитор.

венно разложенный спектр пропускания кристалла проецируется с помощью системы цилиндрических линз 10 на линейный ФПЗС 11, связанный с блоком управления 3. В описываемой системе применен линейный ФПЗС К1200ЦЛ1, имеющий 1024 светочувствительных элемента. Размер одного светочувствительного элемента  $15 \times 15$  мкм. Блок управления ФПЗС позволяет реализовать следующий цикл регистрации: 1) накопление (синхронно с запуском лазера) — ФПЗС чувствителен к свету; 2) считывание — заряд выводится из ФПЗС; 3) ожидание; 4) вывод шума (очистка регистра) — ФПЗС готов к приему следующего светового импульса. Запуск лазеров и фотодетектора производится от блока синхросигналов 4, позволяющего менять интервал времени между возбуждающим и зондирующим импульсами. Аналого-цифровое преобразование и накопление содержания светочувствительных ячеек ФПЗС производится многоканальным анализатором NTA-1024. Спектры обрабатываются на микро-ЭВМ TRS-80, соединенной с анализатором. Однократные спектры наблюдаемы визуально на экране монитора 14. Данная система чувствительна к свету в диапазоне 400—1100 нм и имеет абсолютную чувствительность  $\sim 10^4$  фотонов на один элемент при длине волны 600 нм. Пространственная разрешающая способность определяется структурой ФПЗС и имеет величину  $\sim 15$  пар линий на миллиметр. Для улучшения отношения сигнал:шум многоканальным анализатором производится многократное накопление спектров. Коррекция геометрического шума и неравномерности чувствительности ячеек ФПЗС устраняются программно на микро-ЭВМ. При этом сравниваются опорный (без возбуждения) и возбужденный спектры. Эти спектры регистрируются поочередно в цикле измерения.

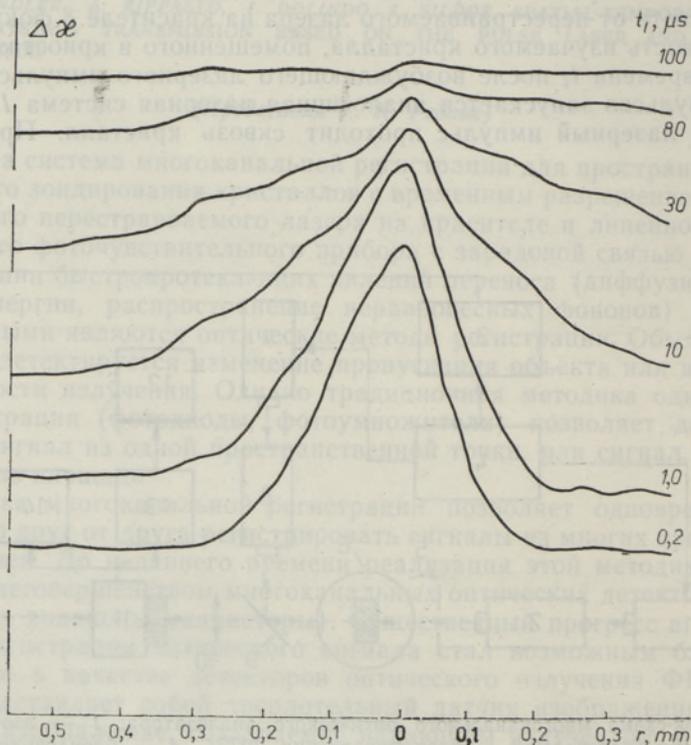


Рис. 2. Временные срезы пространственного распределения изменения поглощения при импульсном нагреве кристалла  $\text{KCl} \cdot \text{NO}_2^-$ .

Измеренные данной системой временные срезы пространственного распределения изменения поглощения  $\Delta\kappa(r, t_i)$ , где  $r$  — расстояние от центра нагретой области,  $t_i$  — момент времени измерения после импульсного нагрева (рис. 2) позволяют судить о режиме и скорости расплывания нагретого тракта. Действительно, в данном случае информацию несет изменение коэффициента поглощения  $\Delta\kappa$ . Приведем универсальную зависимость для времени прихода максимума сигнала  $t_{\max}$  от расстояния  $r$ :  $t_{\max} = r^n/D$ , где именно значение параметра  $n$  указывает на режим распространения [4]. После обработки полученных результатов имеем  $n \approx 2$ . Следовательно, режимом расплывания является диффузия. Для коэффициента диффузии получено значение  $D \sim 0,6 \text{ см}^2/\text{с}$ , которое хорошо согласуется с результатами [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вето А. В., Костюков Е. В., Кузнецов Ю. А., Пресс Ф. П. Электронная промышленность, № 7, 3—6 (1982).
2. Арутюнов В. А., Велиютный М. А., Степанов М. К. Электронная промышленность, № 5, 32—37 (1986).
3. Проектирование оптических систем. (Ред. Шеннон Р., Вайант Дж.). М., «Мир», 1983.
4. Завт Г. С., Сильдос И. Р., Долиндо И. И. Физ. твердого тела, 26, № 6, 1424—1429 (1984).
5. Sildos, I., Zavt, G., Dolindo, J. Proceedings of the 2nd International Conference on Phonon Physics, Budapest, Aug. 1985. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, 1985, 455.

Институт физики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
14/IV 1986