

07;12
©1994

ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ МИКРОТОМОГРАФ

*А.М.Бонч-Бруевич, С.Д.Николаев,
И.О.Старобогатов, В.И.Васильев*

1. Томография как метод изучения внутренней структуры объекта в настоящее время широко распространена в различных областях (дефектоскопия материалов и технических изделий, медицинская диагностика и др.). Наиболее развиты к настоящему времени рентгеновская, акустическая и оптическая томография [1,2]. Особенностью акустической томографии является сравнительно невысокая разрешающая способность (порядка единиц или десятков мм) и возможность наблюдения границ раздела с большим градиентом плотности вещества. Рентгеновская томография характеризуется большой проникающей способностью и меньшей контрастностью, чем акустическая. Потенциально высокая разрешающая способность рентгеновской томографии, связанная с малой длиной волны излучения не достигается из-за отсутствия необходимой изображающей рентгеновской оптики. Можно полагать, что с разработкой источников когерентного излучения рентгеновского диапазона будет реализована рентгеновская голографическая томография, которая откроет совершенно новые возможности.

Перспективы использования оптической томографии ограничиваются объектами достаточно прозрачными в оптическом диапазоне и, вместе с тем, имеющими в своей структуре области с существенно различными оптическими параметрами, ее разрешающая способность определяется длиной волны излучения. Отличительная черта оптического импульсного лазерного микротомографа — возможность рассматривания и фиксации деталей структуры объекта с высоким пространственным разрешением. Это определяется как общей оптической схемой прибора, так и использованием пространственно-когерентного лазерного излучения с возможностью изменять его длину волны в широких пределах, что позволяет выбирать благоприятные условия для томографического исследования различных объектов. Плотность мощности (энергии) зондирующего излучения может быть достаточно велика для того, чтобы использовать нелинейные эффекты в рассеянии (поглощении), но, разумеется, она должна быть ограничена для того, чтобы не вызывать необратимых изменений в исследуемом объекте.

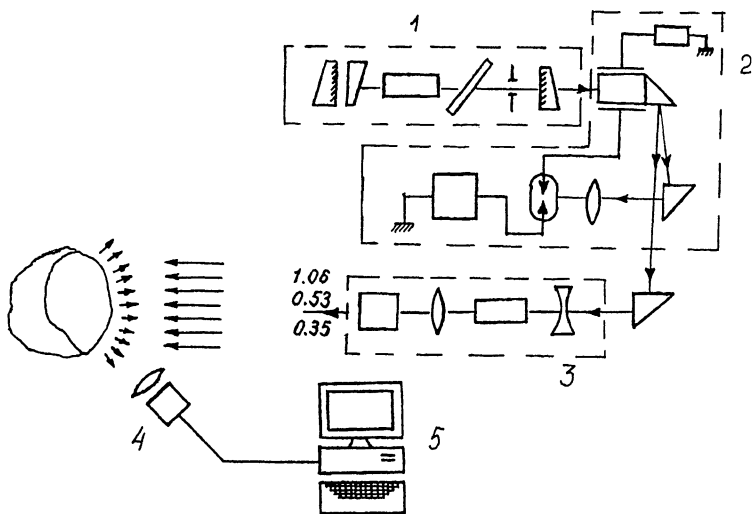


Рис. 1.

В настоящем сообщении приводятся результаты первичных исследований возможностей импульсного лазерного микротомографа, выполненных на лабораторном макете прибора.

2. Схема импульсного лазерного микротомографа представлена на рис. 1. В томограф входят пикосекундный излучатель 1-3; оптическая система, формирующая пучок для облучения объекта, оптическая система, собирающая рассеянное объектом излучение и строящая изображение выделяемой плоскости объекта на поверхности ПЗС матрицы панорамного фотоприемника 4 и автоматизированная видеостанция 5 на базе персонального компьютера IBM PC AT, позволяющая записать, сохранить и обработать записанное изображение.

Пикосекундный излучатель состоит из задающего генератора 1 на алюмоиттриевом гранате, активированном неодимом, с пассивной синхронизацией мод; схемы выделения 2 одиночного пикосекундного импульса; усилителя мощности и нелинейного кристалла 3, позволяющего получить излучение второй и третьей гармоник (0.53 и 0.35 мкм). Лазер работает в периодическом режиме, частота повторения одиночных пикосекундных импульсов излучения изменяется в пределах от единиц до десятых долей герца и устанавливается оператором с помощью компьютера, использующего специальный пакет программ из программного обеспечения автоматизированной видеостанции.

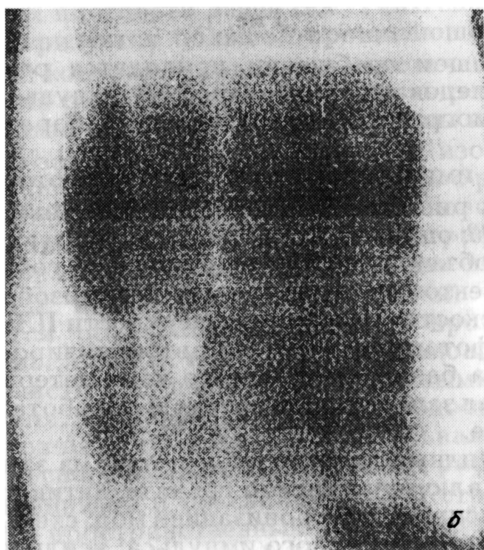


Рис. 2.

В наших экспериментах, как правило, использовался режим записи изображений в рассеянном от объекта излучении в заднюю полусферу, однако возможна также запись в проходящем, отраженном и рассеянном вперед излучениях. Запись проводилась обычно в рассеянном излучении одиночного пикосекундного импульса, однако возможно сумми-

рование изображений, получаемых от нескольких импульсов излучения.

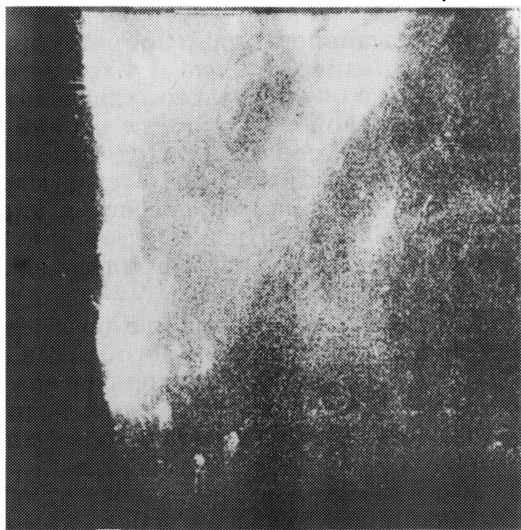
3. На рис. 2 представлены два изображения модельного объекта — кубика размером $4 \times 4 \times 4$ мм из органического стекла, в котором в объеме материала имеется трещина, начинающаяся с боковой поверхности кубика и уходящая вглубь объема почти до середины. Оптическая схема обеспечивала глубину резко изображаемого пространства около 0.5 мм, пространственное разрешение в плоскости изображения около 20–25 мкм. На рис. 2, а представлено изображение передней грани кубика с прилипшей ниткой, сферический сегмент внизу изображения — капля воска, использовавшаяся для крепления кубика на предметном столике. Рис. 2, б — изображение того же объекта в случае, когда плоскость резкого изображения перенесена вглубь объекта на 3 мм, при этом видно отчетливое белое изображение трещины, идущей от левой боковой поверхности кубика вглубь с поворотом в конце на 90 градусов.

На рис. 3 изображен угол природного кристалла алмаза с необработанной поверхностью и большим количеством трещин и поверхностных дефектов. Рис. 3, а — изображение одной из граней кристалла, стрелками отмечено начало и конец трещины, тянущейся из угла кристалла вверх почти по диагонали. На рис. 3, б — изображение плоскости, находящейся на глубине около 2 мм под поверхностью кристалла, видно, что контуры дефекта (отмечен стрелкой) заметно изменились.

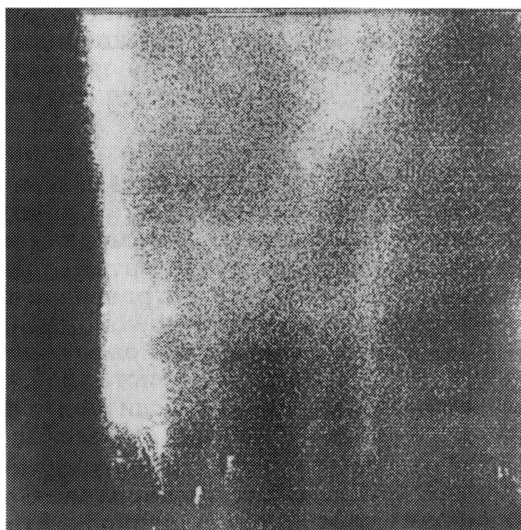
Не приводя других примеров наблюдения внутренних дефектов в естественных кристаллах, отметим, что с помощью соответствующей математической обработки на экране дисплея может быть построена трехмерная картина внутренней структуры кристалла. Эта картина, как некоторый паспорт кристалла, может быть сохранена в памяти компьютера и востребована в случае необходимости. Таким образом, лазерный микротомограф может быть использован для сертификации природных кристаллов.

4. Другое, может быть практически более важное применение лазерного микротомографа — исследование биологических объектов и, в частности, живых тканей без изготовления из них специальных препаратов. Сравнительно малая проникающая способность оптического излучения в ткани организма делает наиболее естественным его использование для наблюдения структуры кожи и подкожных тканей на глубину до нескольких миллиметров.

На рис. 4 внизу представлены два фрагмента изображения одного и того же участка кожи размером 200×200 мм, записанного при двух значениях интенсивности падающего на кожу излучения, которые отличаются в 11 раз при про-



а



б

Рис. 3.

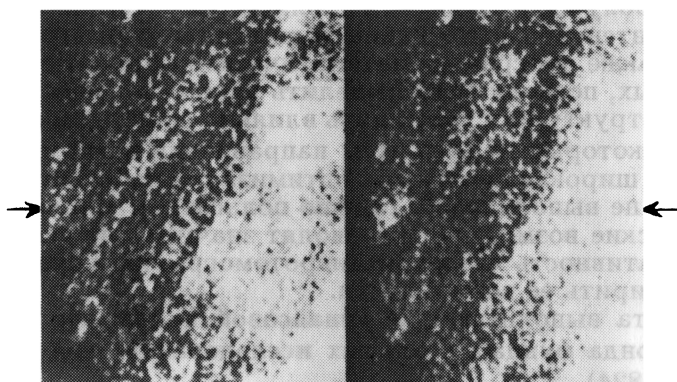
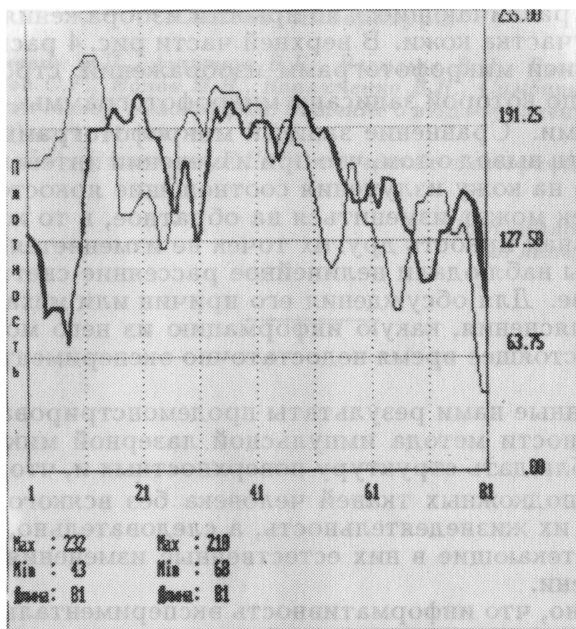


Рис. 4.

чих одинаковых условиях. Набор нейтральных светофильтров устанавливался сначала в лазерном пучке 1.06 мкм, падающем на поверхность кожи, а затем тот же набор фильтров помещался перед объективом, собирающим рассеянный свет. Таким образом проверялась зависимость коэффициента рассеяния от интенсивности падающего излучения при эквивалентных условиях его регистрации. При сравнительном анализе этих фрагментов отчетливо можно выде-

лить резко различающиеся по яркости изображения одного и того же участка кожи. В верхней части рис. 4 расположены две записи микрофотограмм изображений, строка изображения, по которой записаны микрофотограммы, отмечена стрелками. Сравнение записей микрофотограмм позволяет сделать вывод о том, что при изменении интенсивности падающего на кожу излучения соотношение яркостей некоторых точек может измениться на обратное, в то же время относительная яркость других точек не изменяется. Таким образом мы наблюдали нелинейное рассеяние света в кожном покрове. Для обсуждения его причин или механизмов, а также выяснения, какую информацию из него можно извлечь, в настоящее время недостаточно экспериментальных данных.

Полученные нами результаты продемонстрировали также возможности метода импульсной лазерной микротомографии наблюдать структуру поверхностных и, что особенно важно, подкожных тканей человека без всякого вмешательства в их жизнедеятельность, а следовательно, наблюдать и протекающие в них естественные изменения с течением времени.

Очевидно, что информативность экспериментальных результатов существенно зависит от правильного выбора геометрии облучения объекта и наблюдения рассеянного излучения, интенсивности и длины волны зондирующего излучения, а также программы математической обработки массива данных, позволяющей выделить наиболее существенные детали структуры и уменьшить влияние фоновых изображений. Некоторые меры в этом направлении нами принимались, но широкая программа оптимизации работы томографа пока не выполнялась. Можно полагать, что имеющиеся технические возможности позволят значительно увеличить информативность лазерной микротомографии и существенно расширить ее возможности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-14824).

Список литературы

- [1] Антоневич Г.Н., Антонов В.Б., Васильев В.И., Гусев В.М., Долгобродов С.Г., Ионов Л.Н., Каплюченко В.Н., Симбирцев С.А. Способ оптической томографии. Решение о выдаче патента 5000059/25 (058816) от 11.07.1991 г.
- [2] Левин Г.Г., Вишняков Г.Н. "Оптическая томография". М., 1989. 224 с.

Поступило в Редакцию
28 января 1994 г.
