

РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2 ЛАЗЕРА НА НЕОДНОРОДНЫХ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н. В. Карлов, Б. Б. Конечный,

В. А. Мишин, А. И. Мошкунов

В ИК диапазоне одним из возможных методов контроля оптических поверхностей является метод оценки поверхностных неоднородностей, основанный на исследовании диаграммы рассеяния диффузной компоненты.

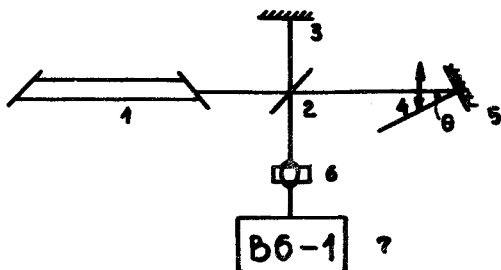
Угловая зависимость диффузной компоненты рассеянного излучения позволяет получить информацию о характере рассеивающей поверхности, определить размеры поверхностных неоднородностей, оценить радиус корреляции неоднородностей и т.д. /1/, /2/.

Проблеме рассеяния электромагнитных волн объектами с нерегулярной структурой поверхности посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ (см., например, обзор /3/). Для хорошо обработанных поверхностей, какими являются поверхности оптических элементов, шероховатости можно считать малыми по сравнению с длиной волны и плавными. Решение задачи рассеяния на неоднородностях такого вида в первом приближении теории возмущений дано в /4/. Интенсивность рассеянного излучения имеет угловую зависимость вида

$$I(\theta) = gk^4 \langle \xi^2 \rangle a^2 \cos^4 \theta \exp \left(- \frac{a^2 k^2}{4} \sin^2 \theta \right), \quad (1)$$

где θ — угол между нормалью к поверхности и направлением угла падения, $\langle \xi^2 \rangle$ — средний квадрат высоты неоднородностей, a — радиус корреляции, k — волновое число падающего излучения, g — коэффициент пропорциональности. Из (1) видно, что характер зависимости $I(\theta)$ определяется параметром a . При $ak \gg 1$, т.е. для весьма плавных неоднородностей, зависимость интенсивности

рассеянного излучения от угла определяется в основном множителем $\exp\left(-\frac{a^2k^2}{4}\sin^2\theta\right)$, и интенсивность рассеяния быстро падает с увеличением угла θ . При малом радиусе корреляции ($ak \ll 1$) угловая зависимость рассеянного излучения определяется множителем $\cos^4\theta$.



Р и с. 1. Схема экспериментальной установки. 1 - CO_2 -лазер, 2 - расщепитель луча, 3 - гетеродинное зеркало, 4 - линза, 5 - последующий образец, 6 - фотоприемник, 7 - селективный вольтметр В6-1.

Экспериментальное исследование диффузного рассеяния металлизированных лазерных зеркал на волне 10,6 мкм было выполнено гетеродинным методом /5/. Аналогичная методика применена для исследования прозрачных диэлектриков.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Излучение от CO_2 -лазера попадало на модифицированный интерферометр Майкельсона. Одно из зеркал интерферометра было заменено вращающимся исследуемым образцом. Вращение образца применялось для создания доплеровского сдвига рассеянного излучения, что является необходимым для его регистрации гетеродинным методом. Рассеянное излучение складывалось на расщепителе с несмещенным по частоте гетеродинным лучом, отраженным от зеркала в другом плече интерферометра, и затем попадало на фотодетектор, выделявший бинария гетеродинного и сигнального лучей.

Вся установка, за исключением вращающегося образца, была смонтирована на массивной стальной плите, установленной на амортизирующих прокладках.

На пути сигнального луча устанавливалась линза из CaCl_2 . Линза фокусировала излучение CO_2 -лазера на исследуемую поверхность и обеспечивала пространственную когерентность по апертуре приемника. Нетрудно видеть, что применение линзы не нарушает общности решения задачи /4/. Формула (I) справедлива и для случая совокупности плоских волн, если только направление их прихода лежит в достаточно узком интервале углов. Этот интервал должен быть меньше, чем интервал, на котором распределение (I) может быть значительно измененным. В экспериментах для фокусировки на рассеивающую поверхность использовалась линза с фокусным расстоянием 30 см при ширине падающего луча 6 мм. Таким образом, облучение поверхности производилось внутри угла $1^{\circ}2$, что удовлетворяет условию справедливости (I).

Исследуемая поверхность закреплялась на истрируемой подставке и вращалась со скоростью 3000 об/мин. Истрируемая подставка была смонтирована на поворотном столе, позволяющем изменять угол падения сигнального луча.

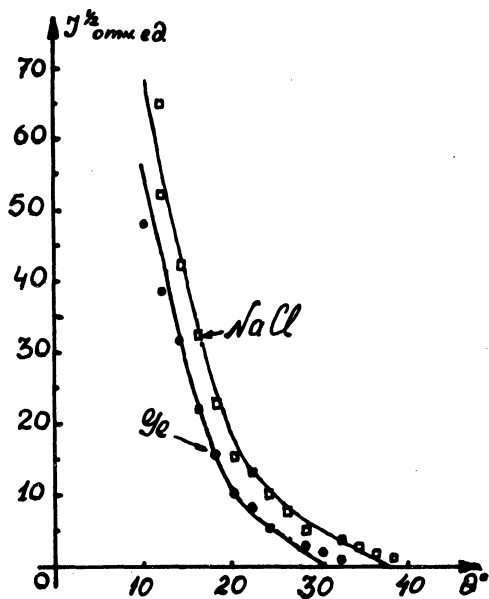
Для того, чтобы исключить паразитное влияние отражений от металлических деталей держателя образца, позади него располагалась пластина из поглощающего материала.

Излучение лазера фокусировалось на вертикальную ось симметрии вращающегося образца с тем, чтобы при изменении угла падения положение точки фокуса на исследуемой поверхности не менялось.

В экспериментах использовался одномодовый CO_2 -лазер с выходной мощностью 5 Вт. В качестве приемника ИК излучения применялось фотосопротивление Ge-Hg , работающее при температуре твердого азота ($T \sim 63^{\circ}\text{K}$). Сигнал на частоте дошмеровского сдвига регистрировался вольтметром В6-1.

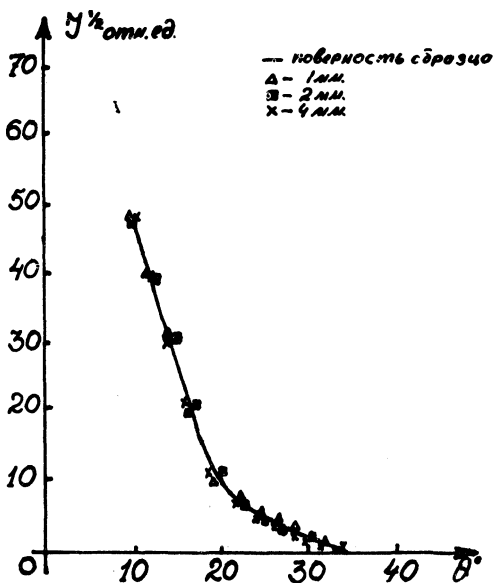
Описанная установка позволяла измерить амплитуду углового распределения диффузной компоненты излучения CO_2 -лазера, рассеянного на поверхности диэлектрика в направлении, обратном, падающему лучу, с точностью до 2° .

На рис. 2 приведены результаты измерений угловой зависимости амплитуды диффузной компоненты для различных материалов. Были исследованы образцы германия (p -тип, $r = 60$ см см) и CaCl_2 . Исследуемые образцы представляли собой диски диаметром 60 мм и толщиной 7 мм, обработанные микронным алмазным порошком по I4 классу точности. Из приведенных результатов видно, что угло-



Р и с. 2. Угловая зависимость амплитуды
диффузной компоненты.

Кривые - теоретическая зависимость, точки - экспериментальные данные.



Р и с. 3. Угловая зависимость амплитуды диффузной компоненты при различных положениях фокальной точки внутри образца (германий).

вая зависимость амплитуды диффузной компоненты хорошо аппроксимируется множителем $\exp\left(-\frac{2k^2}{g} \sin\theta\right)$.

На основании экспериментальных данных были определены радиусы корреляции поверхностных неоднородностей a , которые составляли для германия 20 мкм и для NaCl 17 мкм. На основании полученных значений корреляционных радиусов были вычислены угловые зависимости амплитуды диффузной компоненты для исследуемых образцов. Совпадение расчетных кривых с экспериментальными результатами подтверждает правильность сделанного выше предположения о малости и плавности поверхностных неоднородностей.

Был исследован вклад внутренних неоднородностей образцов в диффузную компоненту рассеянного излучения. Угловая зависимость амплитуды диффузной компоненты при различных положениях фокальной точки внутри образца приведена на рис. 3. Из приведенных результатов видно, что в пределах точности эксперимента для исследуемых образцов вклад от внутренних неоднородностей в диффузную компоненту пренебрежимо мал.

Таким образом, применение гетеродинамического метода приема при исследовании диффузной компоненты ИК излучения, рассеянного на диэлектрической поверхности, позволяет получить информацию о характере поверхностных неоднородностей, и он может быть использован для контроля поверхности элементов, изготовленных из оптических непрозрачных диэлектриков Ge , GaAs и ИК стекло (As_2S_3), $(\text{Se}(\text{As}))$ и т. д.

Малое изменение характера рассеяния при перемещении исследуемой площадки вглубь образца свидетельствует, по-видимому, о том, что структура хорошо обработанной поверхности воспроизводит изменения плотности по объему образца.

Авторы благодарны А. М. Прохорову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

Поступила в редакцию
6 июля 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. С. Топорец. Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. Минск, "Наука и техника", 1971 г., стр. 137.
2. А. Я. Хайруллина, А. П. Иванов. ЖПС, 10, 92, 1969.
3. А. Б. Шмелев. УФН, 106, 459 (1972).
4. Ф. Г. Басс. Изв. высш. учебн. завед., Радиофизика, 4, 58 (1961).
5. И. И. Душков, Н. В. Карлов, Б. Б. Крынецкий, В. А. Минин, Р. П. Петров. Краткие сообщ. по физике ФИАН, № 10, 10 (1971).