

# ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ И МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ДЕТЕКТИРОВАНИЮ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В. Г. Гужва, Н. Г. Кокодий, В. М. Кузьмичев*

Харьков

Для измерения мощности моноимпульса лазерного излучения его преобразуют в электрический импульс такой же формы и длительности, амплитуду электрического импульса измеряют пиковым вольтметром. Применяемые обычно с этой целью фотоэлектрические приемники имеют высокую чувствительность, но весьма ограниченный рабочий диапазон длин волн излучения, притом спектральная характеристика очень неравномерна. Кроме того, фотокатоды подвержены утомляемости и старению, а также температурным изменениям. Фотоприемники инфракрасного диапазона требуют охлаждения до азотной или гелиевой температуры, их рабочий диапазон длин волн также ограничен.

Для детектирования коротких импульсов излучения можно применять пироэлектрические приемники. В них используется зависимость спонтанной поляризации некоторых веществ от температуры, поэтому они пригодны для индикации электромагнитного излучения в видимой, инфракрасной, ультрафиолетовой и микроволновой областях спектра. Широкополосность пироэлектрических приемников сочетается с высоким быстродействием, ограниченным принципиально лишь инерционностью пироэлектрического эффекта. Это делает их незаменимыми при детектировании коротких импульсов излучения в дальней ИК-области спектра. Пироэлектрические приемники не требуют охлаждения, работают при комнатной температуре и потому широко применяются для индикации излучения лазеров на  $\text{CO}_2$ . Наконец, пироприемники позволяют контролировать энергию излучения лазеров, работающих с частотой [1].

В нашей работе [2] сообщалось о воспроизведении гигантского импульса излучения рубинового ОКГ длительностью около 50 нсек пироэлектрическим детектором с датчиком из керамики титаната бария с краевыми электродами. Форма импульса напряжения на сопротивлении  $R$ , включенном параллельно датчику, повторяет форму импульса излучения длительностью  $t_n$  при длительности фронта  $t_\phi$ , если выполняются условия  $\tau_{эл} = RC \ll t_\phi$ ,  $\tau_{тепл} \gg t_n$ , где  $C$  — сумма емкостей датчика и схемы его включения;  $\tau_{тепл}$  — тепловая постоянная времени датчика.

Необходимым условием правильности воспроизведения пироэлектрическим детектором излучения (ПДИ) формы импульса является линейность амплитудной характеристики — зависимости амплитуды импульса напряжения  $U$  от пиковой мощности  $P$  в импульсе излучения. Из выражения для амплитуды импульса напряжения на выходе ПДИ [2]

$$U = \frac{\gamma P}{mc} \cdot S_p R$$

( $mc$  — теплоемкость датчика;  $S_p$  — площадь электродов) следует, что амплитудная характеристика линейна, если входящие в это выражение величины не зависят от температуры. В действительности пироэлектрический коэффициент  $\gamma$  зависит от температуры. Кроме того, эксперименты [3] показали заметное расхождение между величинами пирокоэффициентов, измеренных статическим и динамическим методами. Поэтому амплитудные характеристики ПДИ требуют экспериментальной проверки при рабочих длительностях импульсов и плотностях мощности излучения. Из амплитудных характеристик определяются чувствительность, предельные уровни плотности энергии и мощности, а также максимальный сигнал, который можно получить с ПДИ при заданной величине сопротивления нагрузки.

Нами были измерены амплитудные характеристики ПДИ с датчиками из керамики ЦТС-23 и ЦТС-19, а также из монокристаллов триглицинульфата (ТГС), сульфата лития и ниобата лития при детектировании импульсов лазерного излучения длительностью 80 нсек на длине волны 1,06 мкм.

Керамические датчики имели размеры  $20 \times 20 \times 3$  мм<sup>3</sup>, электроды были нанесены на противоположные узкие грани вжиганием серебра из специальной пасты. Датчики из ТГС, размерами  $20 \times 20 \times 4$  мм<sup>3</sup> и из сульфата лития размерами  $20 \times 20 \times 10$  мм<sup>3</sup> имели электроды на узких гранях, перпендикулярных полярной оси. Электроды выполнялись напылением алюминия в вакууме, контакты прижимные. Электроды на кристаллах ниобата лития были приклеены проводящим клеем. Керамические датчики были поляризованы при температуре 120°C напряжением 1,5 кВ/мм, сульфат лития обладает естественной униполярностью. Ниобат лития был поляризован в процессе выращивания, датчики из ТГС поляризовались перед каждым измерением напряжением порядка 1 кВ/см. Монокристаллические датчики облучались на просвет, у керамических датчиков приемной поверхностью служила широкая грань, свободная от электродов.

Энергия в импульсе излучения лазера на стекле с неодимом поддерживалась по возможности постоянной, ослабление излучения достигалось светофильтрами, калиброванными в луче лазера.

Импульс напряжения с ПДИ через усилитель УР-4 поступал на вход осциллографа С1-11, экран фотографировался. Усиление высокочастотного тракта было калибровано с помощью импульсного милливольтметра МВИ-1М на периодических импульсах длительностью 1 мксек. Энергия в импульсе контролировалась калориметром, часть излучения ответвлялась в него стек-

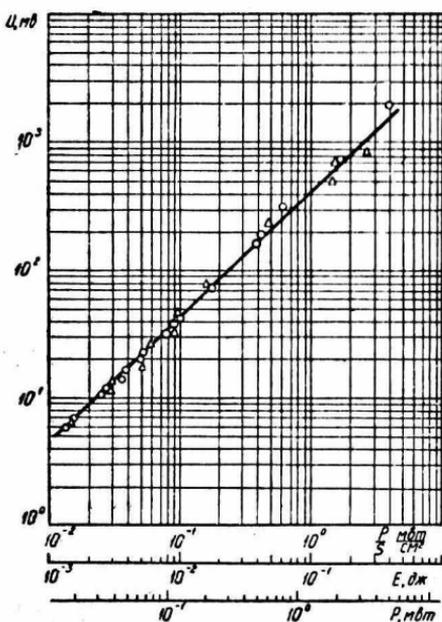


Рис. 1.

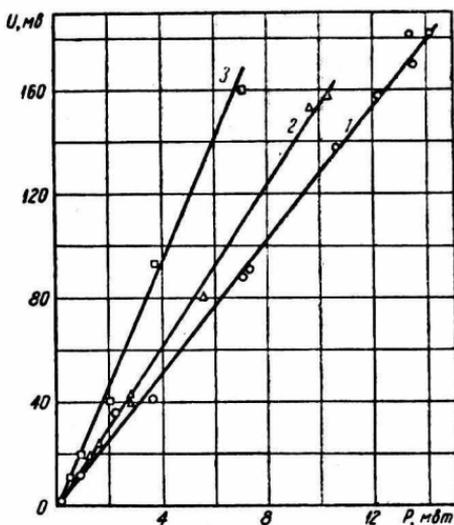


Рис. 2.

лянной пластинкой. Пиковая мощность в импульсе излучения вычислялась из энергии и длительности импульса по половинному уровню.

Нагрузкой всех ПДИ было входное сопротивление усилителя УР-4, равное 150 ом. Емкость датчиков равна 10—20 пф, с учетом входной емкости усилителя электрическая постоянная времени ПДИ составляла величину порядка 10 нсек.

Измеренные характеристики представлены на рис. 1—2. Амплитудная характеристика ПДИ с датчиком из керамики ЦТС-23 (рис. 1) измерена в широком диапазоне плотностей мощности, перекрывающем три порядка. Точки соответствуют первичному облучению датчика импульсами с возрастающей мощностью, треугольниками показаны результаты повторного снятия характеристик через три суток. Хорошая воспроизводимость результатов свидетельствует об отсутствии необратимых изменений. Линейность характеристики подтверждает правиль-

ность воспроизведения формы импульса излучения. Мы также сравнивали на экране двухлучевого осциллографа С1-7 импульсы, полученные с ПДИ, с импульсами от фотоэлемента ФЭК-09 (разрешающая способность  $5 \cdot 10^{-10}$  сек) и убедились в отсутствии искажений формы импульса. На рис. 3 представлены осциллограммы импульса с ФЭК-09 (верхняя) и с ПДИ (нижняя), период меток 10 нсек.

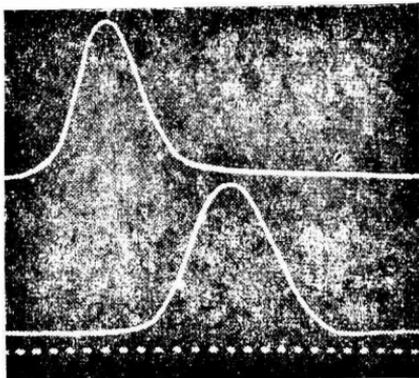


Рис. 3.

Импульс излучения длительностью по половинному уровню около 50 нсек воспроизводится ПДИ без искажений, задержка во времени (около 70 нсек) и некоторое уширение имеют место в усилителе (в данном случае УЗ-11).

Импульс излучения плотностью мощности выше некоторой предельной ( $5 \text{ Мвт/см}^2$  для ЦТС-23) приводит к видимому разрушению поверхности датчика, импульс напряжения на нагрузке ПДИ получается при этом искаженным: правильно воспроизводится лишь часть переднего

фронта, далее импульс резко убывает. Искажения формы импульса можно объяснить тем, что при нагревании керамики до температуры возгонки перед поверхностью датчика образуется непрозрачное облако раскаленной плазмы: на поверхности датчика наблюдается яркая вспышка, сопровождаемая характерным шелчком, — и энергия импульса излучения расходуется в основном на разогрев плазмы. Чувствительность и линейность поврежденных датчиков ухудшаются, увеличивается разброс экспериментальных точек до 50%. Разброс экспериментальных точек при возвращении к слабым импульсам излучения обусловлен нарушением однородности поверхностного слоя керамики, который является рабочим. Разрушенный керамический датчик может быть полностью восстановлен, если поврежденный слой удалить шлифованием.

Измеренная чувствительность ПДИ с датчиком из керамики ЦТС-23 при сопротивлении нагрузки 150 ом равна 330 мв/Мвт, максимальная амплитуда неискаженного импульса около 2 в при диаметре лазерного луча 15 мм. Очевидно, датчик с большей площадью приемной поверхности выдерживает большую мощность и позволяет получить большую амплитуду неискаженного сигнала.

Керамика ЦТС-19 имеет линейный участок амплитудной характеристики (на рисунках не представлена) до 2,5 Мвт; при

плотностях энергии более  $0,16 \text{ Дж/см}^2$  керамика резко изменяет окраску, темнеет, за счет увеличения поглощения падающего излучения крутизна характеристики увеличивается. При плотности энергии более  $1 \text{ Дж/см}^2$  начинается разброс экспериментальных точек, чувствительность падает.

Характеристики 1 и 2 (рис. 2) получены для двух различных датчиков из монокристаллов ТГС при поляризующем напряжении  $1 \text{ кВ/см}$ . Невысокая чувствительность — 13 и  $15,4 \text{ мВ/Мвт}$  соответственно объясняется малым поглощением ТГС на рабочей длине волны. Характеристика 3 получена для датчика № 1 при напряжении поляризации  $1,2 \text{ кВ/см}$ , чувствительности  $23,5 \text{ мВ/Мвт}$ .

Чувствительность ПДИ с датчиками из монокристаллов сульфата и ниобата лития составляет величину порядка  $1 \text{ мВ/Мвт}$  из-за небольшой (по сравнению с ТГС) величины пироэлектрического коэффициента. При плотности мощности более  $30 \text{ Мвт/см}^2$  наблюдалось помутнение облучаемых поверхностей кристалла ниобата лития.

Полученные данные для ПДИ с различными датчиками сведены в таблицу.

Мы также сравнивали воспроизведение импульсов свободной генерации фотоэлементом ФЭК-09 и ПДИ с керамическим

$t_{\text{ц}} = 80 \text{ нсек}$ ,  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ ,  $R_{\text{н}} = 150 \text{ ом}$ , диаметр луча  $15 \text{ мм}$

Материал датчика	ЦТС-23	ЦТС-19	ТГС	Сульфат лития	Ниобат лития
Чувствительность, $\text{мВ/Мвт}$	330	30	20	1	2
Допустимая плотность энергии, $\text{Дж/см}^2$	0,3	0,15	—	—	—
Максимальное напряжение сигнала, $\text{мВ}$	2000	50	—	—	—

датчиком. Отношение амплитуд соответствующих пиков на обеих осциллограммах сохраняется одинаковым для пиков различной амплитуды в начале и в конце осциллограммы. Это также подтверждает линейность амплитудной характеристики ПДИ. Таким образом, пироэлектрические детекторы гигантских импульсов лазерного излучения имеют линейные амплитудные характеристики (следовательно, правильно воспроизводят форму импульсов излучения) вплоть до уровней, вызывающих разрушение материала датчика.

При снижении требований к быстродействию чувствительность ПДИ может быть повышена увеличением сопротивления

нагрузки. ПДИ с датчиком из керамики ЦТС-23 ( $20 \times 20 \times 3$  мм<sup>3</sup>, электроды на узких гранях), предназначенный для индикации импульсов излучения лазера на СО<sub>2</sub>, имеет чувствительность порядка 1 мВ/вт и электрическую постоянную времени 50 мксек при сопротивлении нагрузки 1 Мом. Зональная характеристика датчика равномерна с точностью  $\pm 5\%$ . С целью увеличения апертуры приемной поверхности экранирующий корпус выполнен в виде конуса из полированного алюминия. Луч, параллельный оси конуса, попадает на датчик или непосредственно, или после одного зеркального отражения от боковой поверхности конуса. Конус с углом полураскрыва около 17° увеличивает диаметр апертуры в 2,6 раза. Предельное увеличение диаметра апертуры при помощи конуса с одним зеркальным отражением равно трем с бесконечно большой длиной конуса.

При детектировании гигантских импульсов излучения мы наблюдали также пьезоэлектрические помехи, обусловленные тепловой деформацией датчика. Синусоидальная помеха соответствует изгибным колебаниям керамического датчика, импульсная — многократным отражениям волны сжатия от передней и задней поверхностей датчика. Чтобы предотвратить «раскачивание» этих помех при детектировании серии импульсов излучения, следует применять датчики неправильной формы, не имеющие параллельных граней.

Авторы выражают благодарность Ю. А. Михайлову, принимавшему творческое участие в проведении эксперимента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Гужва, Н. И. Зинченко, Н. Г. Кокодий, В. М. Кузьмичев. Сб. «Радиотехника», вып. 19, Изд-во Харьковск. ун-та, 1971.

2. В. М. Кузьмичев, Н. Г. Кокодий, В. Г. Гужва, В. Ф. Ефимов, Р. А. Валитов. «Радиотехника и электроника», 1969, 10, 1843—1847.

3. В. З. Бородин, Л. М. Берборова, С. Г. Гах, О. П. Крамаров, Л. С. Кременчугский, А. Ф. Мальнев, В. Б. Самойлов, М. Л. Шолохович. «Изв. АН СССР, серия физ.», 1967, XXXI, 11, 1818—1820.