

06;12

## **Новые полупроводниковые приборы для регистрации энергии (дозы) электромагнитных и ядерных излучений на основе специального типа структур металл–диэлектрик–полупроводник**

© П.Г. Кашерининов, А.Н. Лодыгин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 24 декабря 1996 г.

В работе описан и исследован новый тип прибора, позволяющий осуществлять количественные измерения энергии излучения.

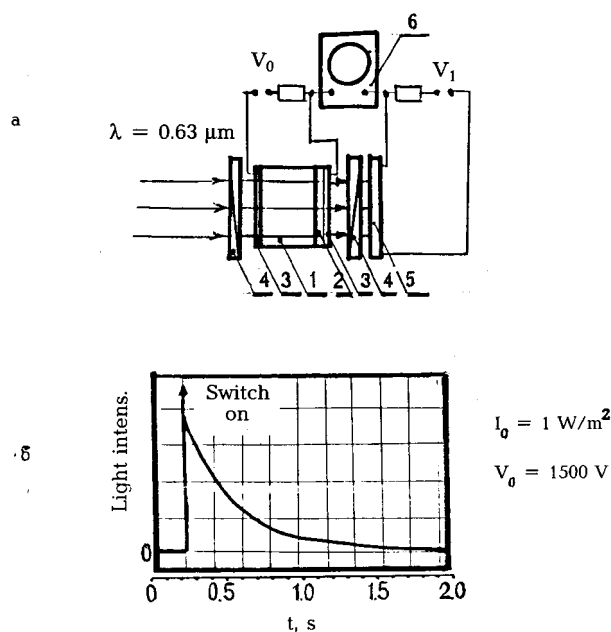
Энергия (доза) электромагнитных и ядерных излучений широко используется в науке и технике, однако до сих пор практически отсутствуют приборы для ее непосредственного количественного измерения. Полупроводниковые фотоэлектрические приборы формируют сигналы, пропорциональные интенсивности излучения; до настоящего времени не разработаны принципы непосредственной регистрации самой энергии (дозы) излучения.

В настоящей работе описывается реализованный на базе новых предложенных принципов новый тип полупроводниковых приборов — дозиметров излучения, формирующих на выходе электрические сигналы, пропорциональные непосредственно энергии (дозе) регистрируемого излучения (свет, рентгеновское излучение, гамма-кванты, и т.д.). В таких приборах энергия (доза) регистрируемого излучения преобразуется во временную последовательность коротких токовых импульсов. При стационарном однородном облучении дозиметра за время между двумя последовательными импульсами тока на поверхность дозиметра падает энергия (доза) излучения, определяемая только величиной приложенного к нему напряжения и не зависящая от интенсивности облучения. Общая энергия излучения, падающая на поверхность дозиметра за фиксированный интервал времени, определяется количеством токовых импульсов во внешней цепи за этот временной интервал. При облучении

отдельного участка поверхности такого дозиметра частота следования токовых импульсов пропорциональна интенсивности этого потока на облучаемой поверхности. При одновременном падении на поверхность дозиметра нескольких пространственно разделенных потоков излучения в приборе одновременно независимо генерируются токовые импульсы от всех этих потоков с частотой следования, пропорциональной интенсивности этих потоков. Дозиметр представляет собой специального типа структуру: металл–диэлектрик–полупроводник на изолирующем широкозонном кристалле. Работа такого дозиметра основывается на следующих положениях.

При облучении структуры на границе раздела кристалл–диэлектрик аккумулируется электрический заряд соответствующего знака, вызывающий перераспределение приложенного к структуре напряжения между ее слоями. В структурах с твердым диэлектриком этот процесс протекает до полного вытеснения электрического поля из кристалла [1–3]. Энергия (доза) излучения, необходимая для этого, как показано в [4], не зависит от интенсивности излучения и определяется величиной приложенного к структуре напряжения  $V_0$ .

Таким образом, структура является своеобразным дозиметром излучения, в котором определенная фиксированная энергия (доза) излучения преобразуется в изменение распределения приложенного напряжения между ее слоями. Однако регистрация энергии (дозы) излучения такой структурой может носить лишь разовый характер; необходимы последующее стирание накопленного в кристалле заряда для подготовки структуры к новому акту регистрации энергии. Для создания прибора, способного непрерывно регистрировать энергию (дозу) падающего излучения, необходимо сделать процесс перераспределения напряжения между слоями структуры при облучении циклическим, а также найти способ надежной регистрации каждого такого цикла. Такие условия могут быть реализованы в описываемой структуре с нелинейной зависимостью проводимости диэлектрического слоя от напряженности электрического поля в нем, в частности с диэлектрическим слоем, скачкообразно переходящим в высокопроводящее состояние при критическом значении напряженности поля в нем. В качестве такой структуры может выступать структура на широкозонном изолирующем кристалле с газовым слоем в качестве диэлектрика. В такой структуре при освещении на границе раздела кристалл–диэлектрический слой образуется электрический заряд, вызывающий уменьшение напряженности электрического поля в кристалле и соответственно увеличение



**Рис. 1.** Регистрация перераспределения между слоями структуры металл–диэлектрик–полупроводник приложенного напряжения ( $V_0$ ) при стационарном освещении: *a* — принципиальная схема установки: 1 — электрооптический изолирующий кристалл (BSO), 2 — диэлектрический слой, 3 — оптически прозрачные электроды, 4 — поляризаторы, 5 — фотодетектор, 6 — осциллограф; *б* — изменение со временем интенсивности светового потока на выходе модулятора при освещении структуры металл–диэлектрик–полупроводник с диэлектриком–слоевой, проходящим световым потоком постоянной интенсивности ( $I_0 = 1 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ ,  $V_0 = 1500 \text{ В}$ ); *в* — то же при освещении аналогичной структуры с газообразным диэлектриком ( $I_0 = 0.3 \text{ Вт/м}^{-2}$ ,  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ ,  $V_0 = 1500 \text{ В}$ ); *г* — то же при  $V_0 = 2700 \text{ В}$ .

напряженности поля в диэлектрическом слое [4]. Когда напряженность электрического поля в диэлектрическом (газовом) слое достигнет критического значения, проводимость газового слоя скачком переключается в высокопроводящее состояние (газовый разряд). При этом накопленный в кристалле заряд вытекает из кристалла, вызывая появление токового

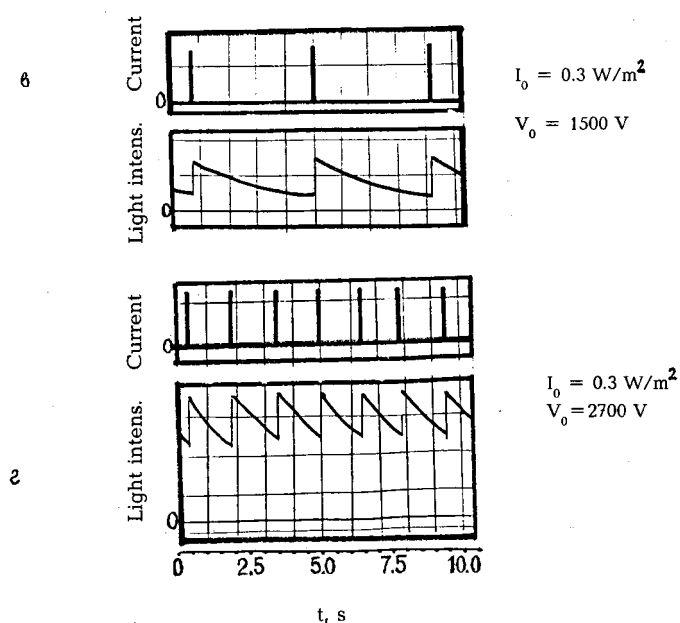
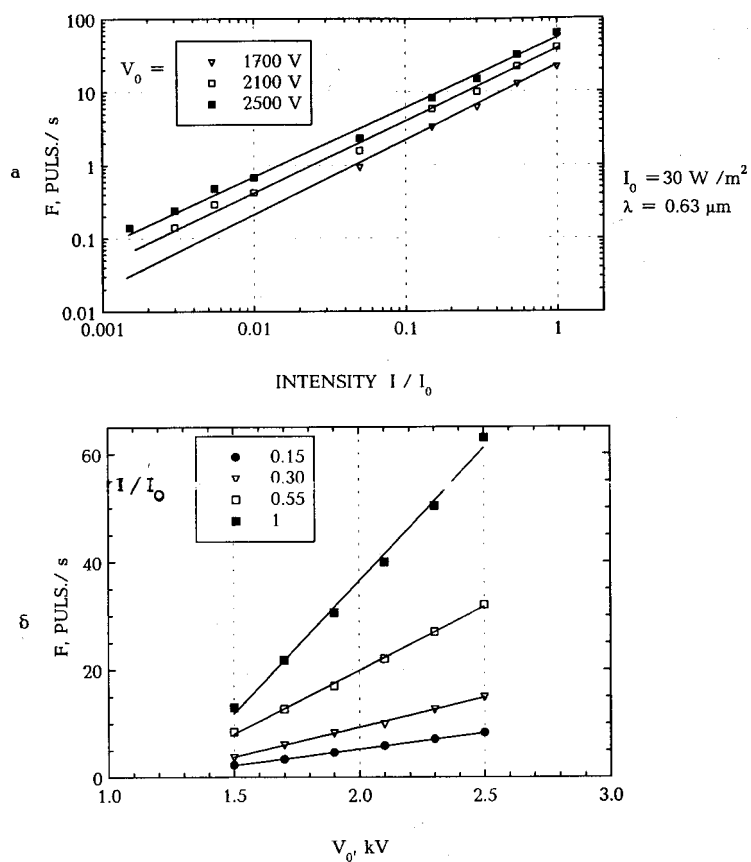


Рис. 1 (продолжение).

импульса в электрической цепи структуры, после чего напряженность электрического поля в газовом слое уменьшается ниже критического значения, разряд прекращается, распределение напряженности поля в структуре возвращается к первоначальному состоянию, далее процесс повторяется. Таким образом, в такой структуре при стационарном освещении должно иметь место циклическое перераспределение приложенного напряжения между слоями структуры, сопровождающееся периодическим протеканием в цепи токовых импульсов при появлении газового разряда. При этом энергия излучения, падающая на единицу поверхности структуры за время одного цикла изменения распределения поля в ней, определяется величиной приложенного к структуре напряжения и не зависит от интенсивности облучения. В работе исследовались процессы фотоиндуцированного перераспределения приложенного напряжения между слоями такой структуры на электрооптических изолирующих кристаллах BSO (силикат висмута)



**Рис. 2.** Преобразование интенсивности стационарного излучения ( $I_0$ ) в частоту токовых импульсов ( $F$ ) в структуре металл–диэлектрик–полупроводник с газообразным диэлектриком на кристалле BSO:  $a$  — при фиксированном напряжении на структуре ( $V_0 = \text{const}$ ,  $I_0 — \text{var}$ );  $b$  — при фиксированной интенсивности освещения ( $I_0 = \text{const}$ ,  $V_0 — \text{var}$ );  $c$  — форма токовых импульсов в аналогичной структуре при стационарном освещении ( $I_0 = 30 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ,  $V_0 = 2100 \text{ В}$ ,  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ ).

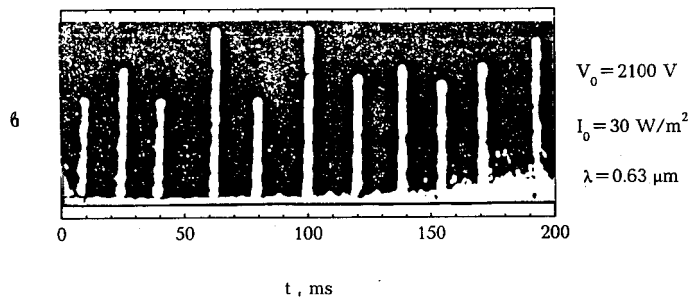


Рис. 2 (продолжение).

с газовым слоем в качестве диэлектрика и ее фотоэлектрические характеристики. К структуре прикладывалось постоянное напряжение  $V_0 = 1-3$  кВ, структура освещалась стационарным примесным светом ( $\lambda = 0.63$  мкм), падающим на ее поверхность параллельно направлению электрического поля и частично проходящим через структуру. Перераспределение приложенного напряжения между слоями структуры при освещении за счет поглощаемой в кристалле части светового потока исследовалось поляризационно-оптическим методом путем измерения временной зависимости интенсивности непоглощаемой в кристалле части светового потока [4], одновременно измерялись временные зависимости тока структуры.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов по измерению временной зависимости продольного электрооптического эффекта в исследуемых структурах с двумя типами диэлектриков (слюда и воздуха) [4] и токов в них при освещении. Для обоих типов структур в первый момент времени после включения освещения зарегистрировано одинаковое экспоненциальное уменьшение со временем интенсивности светового потока, связанное с вытеснением электрического поля из кристалла на диэлектрический слой. В структурах с твердым диэлектриком (слюда) этот процесс протекает до полного вытеснения электрического поля из кристалла [4] (рис. 1, б). В структуре с газообразным диэлектриком первоначальное уменьшение интенсивности проходящего светового потока сменяется его скачкообразным возвращением к исходному значению (рис. 1, в, г). В структуре при этом протекает короткий импульс тока (рис. 1, в, г (2), рис. 2, в). Этот процесс периодически повторяется.

Наблюдаемый эффект объясняется переключением проводимости газового слоя в высокопроводящее состояние после того, как напряженность поля в нем превысит некоторое критическое значение. На рис. 2, *а, б* представлены зависимости частоты токовых импульсов в цепи такой структуры на кристалле BSO ( $F$ ) от интенсивности облучения ( $I$ ) и приложенного напряжения ( $V$ ) при ее стационарном освещении ( $\lambda = 0.63$  мкм). Как видно из рис. 2, *а*, линейность зависимости  $F(I)$  сохраняется в диапазоне трех порядков интенсивности, зависимость  $F(V)$  — в диапазоне изменения ( $V$ ) в 2–3 раза (рис. 2, *б*). На базе таких приборов реализованы дозиметры  $\gamma$ -квантов, ультрафиолетового излучения и видимого света, а также приборы для распознавания образов.

## Список литературы

- [1] *Васильев А.А., Касасент Д., Кампанец И.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь. 1987.
- [2] *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983.
- [3] *Захаров И.С.* Пространственно-временные модуляторы света. Томск: Изд. Томского университета, 1983. С. 264.
- [4] *Зеленин И.А., Каширининов П.Г. Харццев В.Е.* // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 5. С. 86–91.