

Н.В. Замятин, В.М. Клишкин, В.А. Чикуров

ОДНОЭЛЕКТРОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННООПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ МИКРОКАНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

Экспериментально оценены одноэлектронные характеристики электронно-оптического преобразователя с импульсным питанием микроканальной пластины, а именно:

- длительность фотоэлектронных сцинтилляций;
- уровень шумовых сцинтилляций;
- эффективность регистрации фотонов;
- распределение энергий фотоэлектронных сцинтилляций.

Сделан вывод о возможности считывания фотоэлектронных сцинтилляций высокочувствительными телевизионными трубками.

Электронно-оптические преобразователи (ЭОП) с микроканальными пластинами (МКП), используемые в астрономии, спектроскопии, физике плазмы и т. д., как правило, работают в режиме длительных временных экспозиций. В ряде задач, связанных с регистрацией предельно слабых импульсных световых изображений (например, сигналов комбинационного рассеяния), значительный интерес представляет режим импульсного питания МКП, обеспечивающий малые временные экспозиции [1]. Однако такие одноэлектронные характеристики ЭОП, как длительность фотоэлектронных сцинтилляций, уровень шумовых сцинтилляций, эффективность регистрации фотонов, распределение энергий фотоэлектронных сцинтилляций, в этом режиме изучены мало.

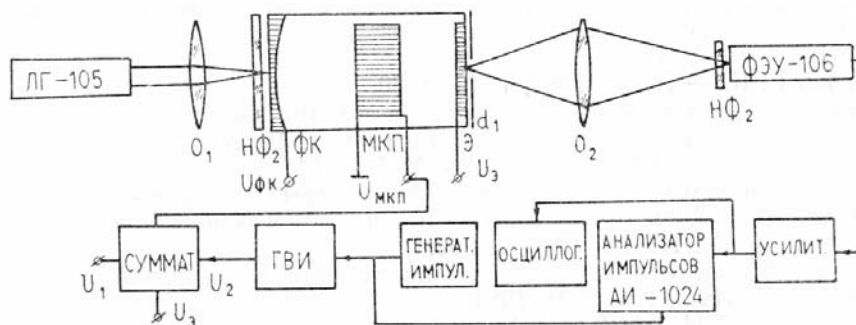


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Для оценки вышеперечисленных характеристик была собрана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рис. 1. В установке непрерывное излучение лазера объективом O_1 фокусировалось на фотокатоде ЭОП, имеющего стекловолоконные план-шайбы на входе и выходе. Нейтральный светофильтр $НФ_1$ ослаблял это излучение до величины, соответствующей регистрации прибором отдельных фотонов лазерного излучения. Диафрагма d выделяла электронно-оптическое изображение, создаваемое лазером на экране ЭОП, а объектив O_2 «перебрасывал» это изображение на фотокатод измерительного ФЭУ. Импульсы с выхода ФЭУ, соответствующие считываемым фотоэлектронным сцинтилляциям, подавались на вход полосового усилителя. С его выхода они поступали на анализатор импульсов. Осциллограф позволял наблюдать временную форму импульсов. Во время эксперимента напряжение на фотокатоде ЭОП, а также между экраном и выходом МКП были соответственно равны $U_\phi = -4,2$ кВ; $U_3 = +4,2$ кВ. На МКП, так же как и в работе [2], подавалось постоянное напряжение U_1 , на которое накладывалось импульсное напряжение U_2 . В проводимом эксперименте строб-импульсы имели амплитуду $U_2 = 900$ В и длительность по уровню половинной амплитуды 0,5 мкс. Временная форма их представлена на рис. 2.

Основными погрешностями при подобных измерениях являются: одновременная регистрация двух и более сцинтилляций в анализируемом участке экрана, краевой эффект, нелинейность характеристики «свет-сигнал», шумы измерительного ФЭУ.

Для устранения влияния краевого эффекта диафрагма d , располагающаяся соосно с электронно-оптическим изображением, создаваемым гелий-неоновым лазером, была не менее чем в 10 раз больше этого изображения. Сфокусированное на фотокатоде лазерное излучение ослаблялось нейтральным

светофильтром до такой величины, что расчетная вероятность одновременной регистрации двух и более сцинтилляций на анализируемом участке экрана была не более 1%.

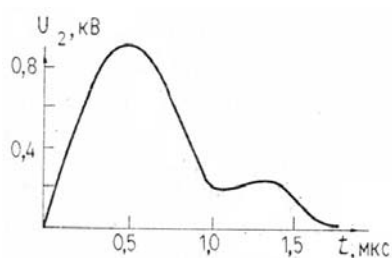


Рис. 2. Временная форма строб-импульса

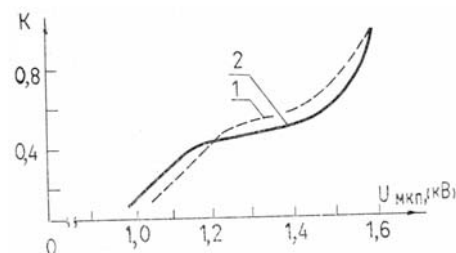


Рис. 3. Зависимость нормированного числа фотоэлектронных сцинтилляций от напряжения на МКП: 1 – $F_c = 10$ кГц; 2 – $F_c = 0,5; 1,0$ кГц

Работа измерительного ФЭУ на линейном участке характеристики «свет-сигнал» обеспечивалась постановкой нейтрального светофильтра $H\Phi_2$. С целью уменьшения влияния шумов ФЭУ и ЭОП на результаты измерений импульсов работал в режиме стробирования полезного сигнала.

Для определения величины постоянного напряжения на МКП (U_1) была снята зависимость числа фотоэлектронных сцинтилляций от полного напряжения на МКП, $U_{МКП} = U_1 + U_2$ для трех частот повторения строб-импульсов F_c . Число сцинтилляций в единицу времени, превысивших заданный энергетический порог, здесь и далее определялось анализатором импульсов, который работал в режиме счета импульсов. Эксперимент показал, что существует оптимальное напряжение $U_{МКП}^0 \approx 1,5$ кВ, так как при меньшем его значении уменьшается количество зарегистрированных сцинтилляций, а при большем – резко возрастает число шумовых сцинтилляций. Исходя из этого, величина постоянного напряжения на МКП была выбрана равной 600 В. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Уменьшение влияния погрешностей измерений, а также выбор величин $U_{ф}$, U_3 , $U_{МКП} = U_1 + U_2$ явились основанием для экспериментальной оценки одноэлектронных характеристик ЭОП. Прежде всего с помощью осциллографа была оценена длительность фотоэлектронных сцинтилляций $\tau_{сц}$, определяющая максимально допустимый уровень входного потока. Эксперимент показал, что $\tau_{сц}$ не превышает 60 мкс и существенно зависит от интенсивности сцинтилляции. $\tau_{сц}$ измерялась по уровню $0,1 U_{сц}$, где $U_{сц}$ – амплитуда соответствующего импульса сцинтилляции.

Уровень шумовых сцинтилляций, измеренный при полном затемнении фотокатода ЭОП и указанном режиме, составил величину $N_{ш} \approx 10^4 \approx \frac{\text{сцинт.}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$, что согласуется с данными работы [3].

В связи с внедрением в практику физического эксперимента лазеров с частотами повторения импульсов генерации от единиц до десятков килогерц, актуальна оценка эффективности регистрации световых потоков в этом диапазоне частот повторения строб-импульсов, т.к. возможен режим насыщения МКП. Для этого измерялось количество регистрируемых фотоэлектронных сцинтилляций в пересчете на экспозицию в 10^3 строб-импульсов в диапазоне изменения F_c от 0,5 до 10 кГц с тремя различными по интенсивности входными потоками I_1 , I_2 , I_3 . При этом число регистрируемых сцинтилляций для каждого измерения было не менее 10^6 . Результаты измерений приведены в таблице. N_1, N_2, N_3 – численно равны количеству зарегистрированных сцинтилляций за 10^3 строб-импульсов для интенсивностей входных потоков I_1, I_2, I_3 соответственно. Таким образом, показано, что эффективная регистрация различных по интенсивности входных потоков возможна в широком диапазоне изменения частот повторения строб-импульсов.

Т а б л и ц а

Количество сцинтилляций	Частота повторения строб-импульсов F_c , кГц					
	0,5	2	4	6	8	10
N_1	0,8	0,79	0,76	0,73	0,73	0,75
N_2	64,8	66,7	63,9	67,3	64,8	68,0
N_3	145,3	155,6	149,2	162,9	157,0	160,0

В ходе эксперимента также проводилось сравнение количества фотонов света регистрируемых ЭОП и ФЭУ при одинаковых входных потоках и эффективных временах регистрации. В качестве ФЭУ был выбран ФЭУ–106, работающий в режиме счета фотонов, а частота строб–импульсов, подаваемых на МКП, была равна 10 кГц. Измерения показали, что ЭОП регистрирует в среднем один из двух–трех фотонов, регистрируемых ФЭУ. Очевидно, это связано с меньшим коэффициентом усиления ЭОП по сравнению с ФЭУ.

Для выбора основных характеристик устройства, считывающего фотоэлектронные сцинтилляции с экрана ЭОП, необходимо, кроме информации об их длительности и частоте повторения $F_{\text{сц}}$, знать распределение энергий фотоэлектронных сцинтилляций (РЭФЭС). Наиболее подходящим является колоколообразное (квазигауссово) РЭФЭС, имеющее наиболее вероятную интенсивность сцинтилляции E_0 , и некоторую ширину кривой распределения ΔE . Очевидно, $\tau_{\text{сц}}$, $F_{\text{сц}}$, E_0 определяют требуемую чувствительность, а ΔE — динамический диапазон устройства считывания.

В проводимом эксперименте полную информацию о РЭФЭС ЭОП содержит временная форма последовательности импульсов на выходе полосового усилителя, прежде всего их амплитуда и длительность. Однако с помощью анализатора импульсов можно получить только амплитуду распределения импульсов (АРИ). Но если интересоваться качественной оценкой вида РЭФЭС, то этой информации вполне достаточно. На рис. 4 представлены экспериментально полученные АРИ для случаев ранее выбранного импульсного режима питания МКП (кривая 1) и режима постоянного напряжения на МКП $U_{\text{МКП}}$, равного 1,3 кВ (кривая 2). Результаты показывают, что для обоих случаев виды АРИ и РЭФЭС близки к отрицательно–экспоненциальному и практически не зависят от способа питания МКП. В то же время в работе [2] в режиме импульсного питания МКП был зарегистрирован «одноэлектронный» пик РЭФЭС. В наших же экспериментах четко выраженный пик РЭФЭС также появлялся, но при регистрации достаточно интенсивных входных потоков, соответствующих приходу нескольких фотоэлектронов в локальный участок МКП за время строб–импульса. Возможно, отсутствие одноэлектронного пика связано с худшим качеством используемого нами ЭОП.

В работе [4] показано, что энергия фотоэлектронных сцинтилляций для режима постоянного напряжения на МКП ($U_{\text{МКП}} = 1,3$ кВ) ограничена величиной 10^4 фот/сцинт. Так как кривые 1 и 2 на рис. 4 практически совпадают, можно предположить, что энергия сцинтилляций в режиме импульсного питания МКП также не превышает 10^4 фот/сцинт при среднем значении $I \approx 5 \cdot 10^2$ фот/сцинт.

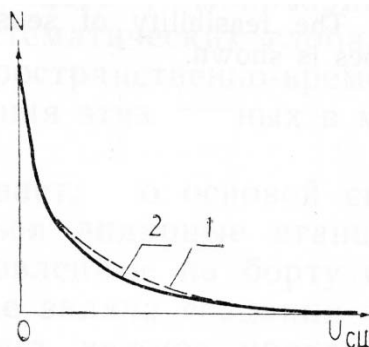


Рис. 4. Амплитудное распределение импульсов сцинтилляций: 1 — импульсный режим питания МКП; 2 — режим постоянного напряжения на МКП

Полученные нами оценки интенсивности сцинтилляций показывают, что высокочувствительные телевизионные трубки пригодны для их считывания с экрана ЭОП [5]. Наиболее приемлемой из них является суперкремникон с волоконно–оптической план–шайбой (ВОП) на входе. Наличие ВОП у приборов позволяет за счет прямого оптического контакта ЭОП с телевизионной трубкой резко снизить потери «переброски» изображения и обеспечить удовлетворительное считывание фотоэлектронных сцинтилляций. Однако отрицательно–экспоненциальный характер РЭФЭС ЭОП не позволяет получить высокоэффективный регистратор фотонов.

Проведенные экспериментальные измерения позволяют сделать следующие выводы.

1. Существует оптимальное напряжение на МКП, увеличение или уменьшение которого снижает эффективность работы ЭОП.
2. ЭОП в режиме импульсного питания МКП способен работать в широком диапазоне изменения частот повторения строб–импульсов и входных потоков.
3. ЭОП с МКП регистрирует в среднем один из двух–трех фотонов, регистрируемых ФЭУ.
4. В режиме регистрации отдельных фотонов света РЭФЭС ЭОП имеет отрицательно–экспоненциальный характер и не зависит от способа питания МКП.
5. Возможно считывание фотоэлектронных сцинтилляций высокочувствительными телевизионными трубками.

1. Луппи, Пекорелла, Черьони. Приборы для научных исследований, 1984, № 12, с. 144–140.
2. Зайдель И.П., Лежнин П.А., Малявкин Л.П. и др. — Тез. докл. XII Всес. конф. «Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов». — М.: Изд. ВНИИОФИ, 1985, с. 49.
3. Малявкин Л.П., Николаев И.В., Силькис З.Г., Титов В.Д. — Тез. докл. XI Всес. конф. «Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов». М.: Изд. ВНИИОФИ, 1983, с. 53.
4. Климкин В.М., Чикуров В.А. — Тез. 9 Всес. симп. по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск: Изд. ИОА СО АН СССР, 1986, с. 283.
5. Малявкин Л.П., Силькис Э.Г. Новая техника в астрономии. Л., 1984, с. 51.

Институт автоматизированных систем
управления и радиоэлектроники,
Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
21 декабря 1987 г.

N. V. Zamyatin, V. M. Klimkin, V. A. Chikurov. Single-electron Response of an image Converter Tube with a Microchannel Plate Energized by a Pulsed Power Source.

Experimentally evaluated were one-electron characteristics of the electrooptical transducer with pulse-supplied microchannel plate:

- Photoelectron scintillation duration;
- level of noise scintillations;
- photon read-out efficiency;
- photon scintillation power distribution.

The feasibility of sensing of photoelectron scintillations by high-sensitive picture tubes is shown.