

УДК 621.378+778.37

ФИЗИКА

М. М. БУТСЛОВ, Б. А. ДЕМИДОВ, С. Д. ФАНЧЕНКО, В. А. ФРОЛОВ,
Р. В. ЧИКИН

НАБЛЮДЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПИКосЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ХРОНОГРАФИИ

(Представлено академиком Е. К. Завойским 21 II 1972)

Известно ⁽¹⁾, что пространственно-временная развертка изображения в электронно-оптическом преобразователе (ЭОП) в принципе позволяет непосредственно наблюдать развитие процессов длительностью до 10^{-14} сек. Временное разрешение, достижимое в реальных условиях эксперимента, как было выяснено в работах ^(1, 2), определяется, в первую очередь, разбросом продольной компоненты начальных скоростей вылетающих с фотокатода электронов и напряженностью E_0 электрического поля у входного фотокатода ЭОП. Применение каскадного ЭОП с входным каскадом типа

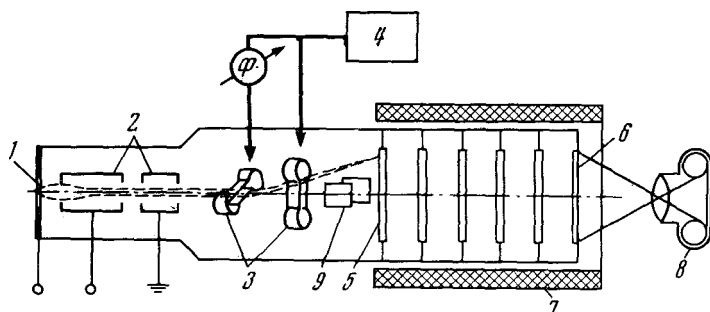


Рис. 1. Схема каскадного времяанализирующего ЭОП «Пикохрон-1»: 1 — входной фотокатод; 2 — элементы трехэлектродной иммерсионной электронно-оптической линзы; 3 — отклоняющая система в виде двух резонаторов типа щель — отверстие 3-см диапазона; 4 — генератор развертки $\lambda = 3$ см с фазовращателем Φ , позволяющим изменять форму развертки (прямая линия, эллипс, круг); 5 — люминесцентный экран времяанализирующего каскада; 6 — выходной экран; 7 — система магнитной фокусировки изображения в усилительных каскадах; 8 — фотоаппарат; 9 — вспомогательные отклоняющие пластины с полосой пропускания частот 1500 МГц

ПИМ-3 ($E_0 = 2$ ед. CGSE, система развертки в виде отклоняющих пластин ⁽³⁾) впервые позволило наблюдать разгорание свечения искрового разряда за время $\sim 10^{-11}$ сек. ⁽²⁾. Впоследствии метод электронно-оптической хронографии с применением приборов типа ПИМ-3-УМИ позволил исследовать целый ряд явлений в диапазонах длительности $10^{-10} - 10^{-11}$ сек. ⁽⁴⁻⁸⁾.

В настоящей работе для исследования процессов длительностью $10^{-12} - 10^{-13}$ сек. применен каскадный ЭОП «пикохрон», устройство которого схематически представлено на рис. 1. Входной времяанализирующий каскад «пикохрона» имеет полупрозрачный кислородно-цезиевый фотокатод 1, электростатическую линзу 2 для переноса изображения с фотокатода 1 на люминесцентный экран 5 и систему непрерывной развертки электронного изображения. Электростатическая линза обеспечивает $E_0 = 20$ ед. CGSE при номинальном напряжении на входном каскаде 20 кв. Система развертки изображения состоит из двух взаимно перпендикулярных с.в.ч. ре-

зонаторов типа щель — отверстие 3-сантиметрового диапазона 3 и вспомогательной пары отклоняющих пластин 9.

С люминесцентного экрана 5 развернутое во времени изображение поступает в усилитель яркости, состоящий из пяти каскадов типа М-9⁽³⁾ и обеспечивающий предельное усиление. Последнее означает, что при фотографировании усиленного по яркости развернутого изображения с выходного люминесцентного экрана 6 фотоаппаратом 8 может быть зарегистрирован в отдельности каждый электрон, вылетевший с входного фотокатода 1.

В использованном в настоящей работе образце каскадного пикохрона геометрическое разрешение в центре изображения составляло 5–10 пар линий/мм (для белого света лампы накаливания). При диаметре кружка развертки 10 мм и частоте развертки $1 \cdot 10^{10}$ гц это соответствует техническому временно-му разрешению прибора $(3-6) \times 10^{-13}$ сек.

С помощью прибора пикохрон была изучена временная структура импульсов многоэлектронной темновой эмиссии и коротких импульсов фотоэмиссии с кислородно-цезиевого входного фотокатода.

На рис. 2 показана типичная фотография временной развертки импульса многоэлектронной эмиссии с входного фотокатода. Каждый из таких импульсов состоит из 5–15 электронов и возникает в результате попадания на фотокатод ускоренного электрическим полем иона цезия (⁹, ¹⁰). В отсутствие развертки изображения каждый многоэлектронный импульс выглядит на экране 6 как яркая точка. Как показывает рис. 2, при включении развертки точка вытягивается в линию, на которой отчетливо заметны отдельные электроны. Полная длительность электронного импульса в случаях типа, показанного на рис. 2, составляет 5–10 псек.

Микрофотометрирование негатива рис. 2 показывает, что данный импульс темновой эмиссии состоял из 17 электронов, временное распределение которых имело полуширину около $5 \cdot 10^{-12}$ сек.

На рис. 2 обращает на себя внимание то, что за все время экспозиции фотографии с полезной площади входного фотокатода пикохрона не вылетело ни одного электрона, кроме интересующего нас импульса многоэлектронной эмиссии. Отсутствие фона исключает возможность случайных совпадений некоррелированных электронов.

На рис. 3 приводятся результаты, полученные при регистрации коротких импульсов излучения неодимового лазера с шириной спектра порядка 20–50 Å. Кривые фотометрирования задних и передних фронтов импульсов лазерного излучения, примеры которых приведены на рис. 3а, 1, 2, показывают, что зарегистрированы переходные процессы в световом излучении длительностью порядка и менее 1 псек. Для сравнения представлена кривая б распределения плотности почернения в фокальном пятне лазера,

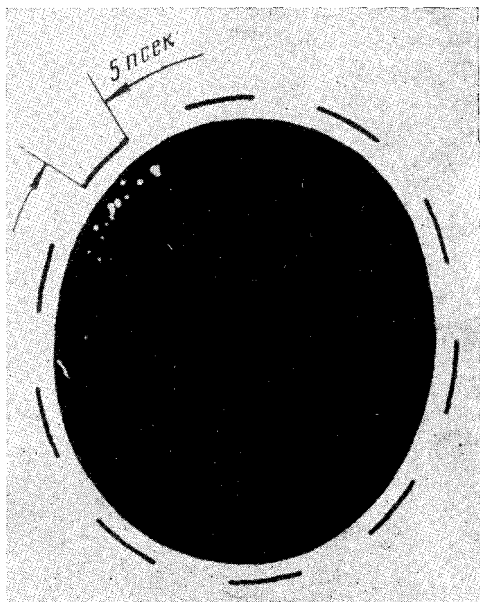


Рис. 2. Фотография развернутого во времени импульса многоэлектронной темновой эмиссии с входного фотокатода пикохрона. Пунктиром показана форма развертки с периодом 10^{-10} сек. Каждая светлая точка — электроны (в некоторых точках заметны наложения нескольких электронов)

полученная при фотометрировании в направлении поперек временной развертки. Кривая δ позволяет оценить техническое временное разрешение развертки, которое в данном опыте составляло $5 \cdot 10^{-13}$ сек.

Поскольку механизм эмиссии групп электронов под действием бомбардировки фотокатода быстрыми ионами до сих пор в точности не известен, развернутые во времени сигналы могли бы быть интерпретированы двояко: либо наблюдаемый разброс времени прихода электронов на экран ЭОП определяется в основном разбросом времени пролета при одновременном вылете всех электронов одной группы с фотокатода, либо основной вклад в эту величину дает собственная длительность импульса темновой электрон-

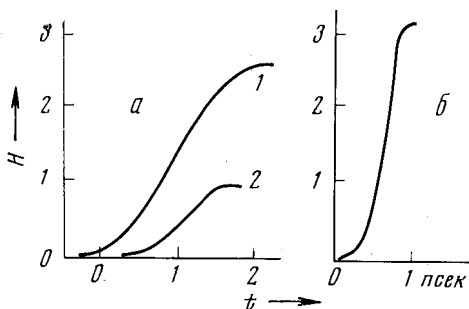


Рис. 3. Развертка во времени фронтов импульсов излучения неодимового лазера. a — фотометрия временной развертки фокального пятна лазера; b — фотометрия фокального пятна лазера в направлении, перпендикулярном к развертке. Фотопленка тип-15. Плотность почернения $D = 1$ соответствует вылету 30 первичных электронов с разрешением элемента изображения за разрешаемое время

ной эмиссии с фотокатода. Сопоставление длительности экспериментально наблюдаемых импульсов темновой и фотоэлектронной эмиссии, по-видимому, говорит в пользу первого предположения. Действительно, согласно ⁽⁹⁾, разброс начальных скоростей электронов темновой многоэлектронной эмиссии на порядок величины больше, чем для фотоэлектронов. Это позволяет объяснить величину разброса времени пролета электронов импульса темновой эмиссии ≈ 5 псек в том же приборе, где наблюдаются переходные процессы в световом излучении длительностью ≈ 1 псек.

Полученные результаты можно резюмировать следующим образом.

1) В ЭОП с повышенной напряженностью электрического поля у фотокатода и непрерывной круговой разверткой изображения с периодом $1 \cdot 10^{-10}$ сек. достигнуто временное разрешение $5 \cdot 10^{-13}$ сек. при регистрации отдельных электронов с фотокатода.

2) Экспериментально наблюдались переходные процессы в инфракрасном излучении лазера длительностью порядка или менее 1 псек.

3) Экспериментально показано, что группы электронов, эмиттируемые с фотокатода под действием ионной бомбардировки и относящиеся к многоэлектронной компоненте собственных шумов ЭОП, имеют собственную длительность $\approx 10^{-12}$ сек.

Авторы благодарят акад. Е. К. Завойского и Б. М. Степанова за ценные обсуждения и поддержку и П. А. Тарасова за помощь в осуществлении отклоняющей системы пиксхрона.

Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова
Всесоюзный научно-исследовательский институт
оптико-физических измерений
Москва

Поступило
28 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. К. Завойский, С. Д. Фанченко, ДАН, **100**, 661 (1955).
- ² Е. К. Завойский, С. Д. Фанченко, ДАН, **108**, 218 (1956).
- ³ М. М. Бутслов, Успехи научной фотографии, **6**, 76 (1959).
- ⁴ Е. К. Завойский, Г. Е. Смолкин, Атомная энергия, **1** (4), 46 (1956).
- ⁵ М. В. Бабыкин, А. Г. Плахов, и др., там же, **1** (4), 38 (1956).
- ⁶ Ю. Ф. Скачков, Приборы и техн. эксп., **6**, 41 (1961).
- ⁷ Э. И. Зинин и др., Атомная энергия, **20**, № 3, 220 (1966).
- ⁸ А. А. Малютин, М. Я. Щелев, Письма ЖЭТФ, **9**, 445 (1969).
- ⁹ Е. К. Завойский, М. М. Бутслов, Г. Е. Смолкин, ДАН, **111**, № 5, 996 (1956).
- ¹⁰ Б. А. Демидов, Г. Е. Смолкин и др., Приборы и техн. эксп., **3**, 177 (1965).