

Член-корреспондент АН СССР Е. К. ЗАВОЙСКИЙ и С. Д. ФАНЧЕНКО

ОБ ИЗУЧЕНИИ СВЕРХБЫСТРЫХ СВЕТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Для изучения быстрых процессов, сопровождающихся испусканием света, может быть использован метод развертки изображения в электронно-оптическом преобразователе (ЭОП).

В литературе описана ⁽¹⁾ попытка сравнительно низкочастотной развертки изображения в ЭОП, при которой было достигнуто разрешение по времени порядка 10^{-8} сек. Рассмотрев движение фотоэлектронов в ЭОП, мы пришли к заключению, что использование имеющей достаточную амплитуду развертки на метровых и сантиметровых волнах позволит довести разрешение до 10^{-12} — 10^{-13} сек. Предел разрешению кладет, во-первых, несовершенство применяемой в ЭОП электронной оптики, и, во-вторых, конечное время прохождения фотоэлектронов через толщину фотокатода. Последнее составляет величину порядка 10^{-14} сек.

Мы применили метод развертки изображения в ЭОП для изучения коротких электрических искр. Был использован специальный, достаточно чувствительный ЭОП и УКВ генератор на длине волны 95—150 см. Изучаемые искры возникали при колебательном высокочастотном разряде миниатюрного вибратора Лебедева (полная длина от 8 до 12 мм, длина искрового промежутка от 0,02 до 0,10 мм, разряд в азоте при давлении от 10 до 30 атм.) или небольшого конденсатора (его выводы служили индуктивностью разрядного контура; емкость составляла от 1 до 6 пФ, длина искрового промежутка от 0,2 до 1 мм; разряд в воздухе при нормальном давлении). Развернутое увеличенное изображение светящегося канала искры фотографировалось.

Было получено много фотографий, на которых полная длительность искры составляет только часть периода развертки. Пример такой фотографии приведен на рис. 1, где дано развернутое изображение искры (отрезок АВ) при колебательном разряде вибратора Лебедева длиной 12 мм в азоте (давление 30 атм). Негатив. Развертка производилась по эллипсу. Пунктир указывает форму, а стрелка — направление развертки. Искровой промежуток был расположен примерно перпендикулярно к направлению развертки. Одно деление шкалы соответствует времени $1 \cdot 10^{-10}$ сек. Полная длительность искры равна примерно $4,5 \cdot 10^{-10}$ сек.

Если пользоваться достаточно большим увеличением, на полученных фотографиях видно, что на фоне общего свечения всего канала искры выделяется яркое свечение, пространственно локализованное в пределах небольшой подвижной зоны. В процессе колебательного разряда эта зона яркого свечения осциллирует вдоль искрового промежутка, оставляя на фотографии при наложении развертки след в виде ломаной линии. Форма этой ломаной линии зависит от взаимной ориентации искрового промежутка и направления развертки, а также от соотношения между скоростью развертки и скоростью движения зоны яркого свечения вдоль искрового промежутка.

На рис. 2 представлен пример следа зоны яркого свечения при развертке изображения искры (сильно увеличено). Колебательный разряд в воздухе конденсатора емкостью 3 pF. Направление развертки указано стрелкой. Искровой промежуток был расположен перпендикулярно к направлению развертки. Одно деление шкалы соответствует времени $1 \cdot 10^{-10}$ сек. След зоны яркого свечения имеет пилообразную форму.

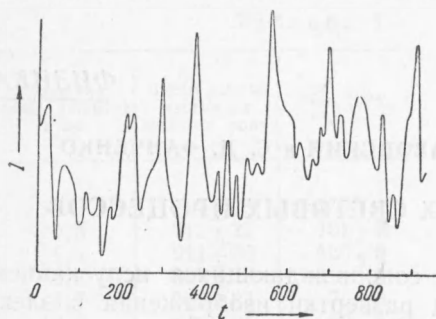


Рис. 3

На рис. 3 приводится фотометрия такого участка развернутого изображения искры, где след зоны яркого свечения имеет вид параллельных штрихов, перпендикулярных к направлению развертки (цель фотометра располагалась перпендикулярно к направлению развертки). Колебательный разряд конденсатора емкостью 2 pF в воздухе. По оси абсцисс отложено время в пикосекундах. По оси ординат — яркость свечения искры (в произвольной шкале).

Высокие пики соответствуют параллельным штрихам, составляющим след зоны яркого свечения (соединявшие их звенья ломаной линии не вышли на фотографии из-за большой скорости движения зоны яркого свечения).

Рис. 4 показывает начальную стадию свечения искры при колебательном разряде конденсатора емкостью 3 pF в воздухе (сильно увеличено). Стрелка указывает направление развертки. Искровой промежуток был расположен примерно перпендикулярно к направлению развертки. Шкала соответствует промежутку времени $1 \cdot 10^{-10}$ сек.

В первый момент появляется зона яркого свечения, начальная скорость которой невелика. Затем эта скорость нарастает, и устанавливаются осцилляции зоны яркого свечения вдоль искрового промежутка. После первой стадии наступает вторая (на рис. 4 не показана), когда на свет от осциллирующей зоны яркого свечения накладывается общее свечение всего канала искры. На фоне этого последнего зона яркого свечения становится все менее и менее различимой.

В наших экспериментах полная длительность искры и период осцилляции зоны яркого свечения определялись, повидимому, в основном электрическими параметрами колебательного разрядного контура. При сходных параметрах колебательного контура искра в азоте при повышенном давлении и искра в воздухе при нормальном давлении имели сравнимую длительность, однако первая отличалась значительно большей яркостью.

На всех фотографиях обращает на себя внимание малость ширины следа зоны яркого свечения. Измерив эту ширину, можно определить верхний предел размера зоны яркого свечения. С другой стороны, поскольку трудно допустить, чтобы возбужденные атомы, молекулы или ионы газа двигались вместе с зоной яркого свечения со скоростью $\sim 10^9$ см/сек, по известной ширине следа зоны яркого свечения можно оценить сверху время их высвечивания в этой зоне. Для искры в азоте при давлении 10 атм. размер зоны яркого свечения не превышает 10μ , а время высвечивания возбужденных атомов, молекул или ионов в этой зоне не превышает $1 \cdot 10^{-11}$ сек.

Полученный результат расходится с встречающимся в литературе ⁽²⁾ представлением о том, что свет при искровом разряде испускается элементарными излучателями со временем высвечивания $\sim 10^{-8}$ сек.

Наблюдаемое малое время высвечивания может быть объяснено вза-

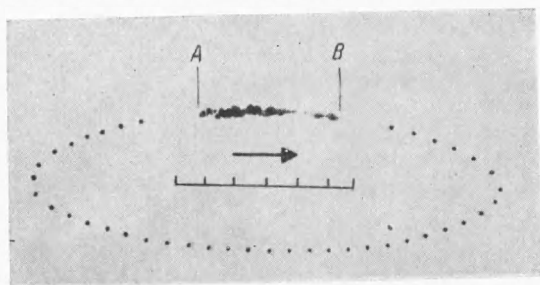


Рис. 1

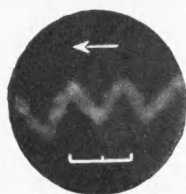


Рис. 2

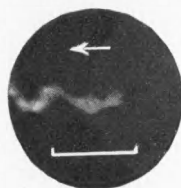


Рис. 4

имодействием возбужденных атомов, молекул или ионов с невозбужденными*.

Разрешение по времени, достигнутое в нашем эксперименте, было определено при помощи микрофотометрирования развернутого изображения искры на фотопленке. Микрофотометрирование показало, что надежно, с хорошей повторяемостью могут быть установлены изменения почернения на протяжении отрезков, соответствующих промежуткам времени вплоть до $3 \cdot 10^{-12}$ сек. Разрешение по времени $3 \cdot 10^{-12}$ сек. находится в соответствии с величиной, вычисленной для использованной нами скорости развертки с учетом разрешения, которым обладала оптика и ЭОП. Дальнейшее улучшение разрешения по времени зависит от увеличения частоты и амплитуды развертки и внесения других технических усовершенствований.

Помимо изучения искрового разряда, метод сверхвысокочастотной развертки изображения в ЭОП может быть применен для исследования люминесценции, эффекта Черенкова и в других случаях.

Поступило
1 IX 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ L. S. Courtney-Pratt, Research, 2, 287 (1949); Proc Roy Soc., 204A, 27 (1950). ² L. B. Loebl, M. J. Meek, The Mechanism of the Electric Spark, Stanford, 1941. ³ А. Власов, В. Фурсов, J. of Physics USSR, 1, № 4, 335 (1939).

* Такое взаимодействие приводит к уширению спектральных линий, которое считывалось многими авторами. Оценим уширение спектральных линий в газе при давлении 10 атм., воспользовавшись формулой из работы А. А. Власова и В. С. Фурсова (³), где произведение численного множителя на силу осциллятора положим равным единице:

$$\delta = \frac{e^2}{m\omega_0} N.$$

В этой формуле e и m — заряд и масса электрона; ω_0 — циклическая частота испускаемого света; N — число частиц газа в 1 см³. Подставляя $\omega_0 = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^{14}$ сек⁻¹ и $N = 2,7 \cdot 10^{20}$ см⁻³, получим для δ величину $\sim 2 \cdot 10^{13}$ сек. Это соответствует времени свечения $\sim 5 \cdot 10^{-14}$ сек.