

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. В. СПИВАК и Е. М. ДУБИНИНА

**О РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИММЕРСИОННОГО
ЭЛЕКТРОННОГО ОБЪЕКТИВА**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 25 XI 1952)

Разрешение электронно-оптического иммерсионного объектива может быть увеличено за счет усиления электрического поля E у катода. При применении стационарного напряжения этому увеличению препятствует пробой, наступающий между электродами. Покажем, что можно значительно повысить E , избежать пробоя и получить качественное изображение, если вместо стационарного напряжения применить импульсное.

Как показали наши эксперименты, при применении прямоугольных импульсов напряжения длительностью порядка 1—10 мсек. в стеклянной модели эмиссионного микроскопа удается поднять потенциал пробоя в 5—7 раз по сравнению со случаем стационарного питания той же системы. Причиной того, что напряжение при выбранной нами длительности импульса может быть выше, чем при стационарном питании, является то, что время, необходимое для развития пробоя, такого же порядка, как длительность импульса. Более того, как было недавно показано (¹), развитие плазмы происходит в две фазы и протекает в течение времени порядка микросекунд. В первой фазе система проходит через состояние газосфокусированного луча, еще подающегося электронно-оптическому управлению. Так как длительность электронно-оптической фазы составляет значительную долю всего времени формирования газоразрядной плазмы, то можно предположить, что формирование изображения возможно даже и в первой фазе пробоя.

На качество изображения при использовании импульсного питания должно оказать влияние: 1) скорость подъема напряжения или время установления напряжения; 2) скорость спада напряжения или время уменьшения напряжения от его постоянного значения до нуля; 3) время, в течение которого напряжение импульса постоянно; 4) вариации напряжения на «столе» импульса; 5) скважность импульсов; 6) свойства экрана и его характеристика по отношению к электронному лучу (зависимость яркости свечения экрана от скорости электронов, тока в луче и инерции экрана); 7) минимальный контраст в изображении, который может быть замечен визуально или при фотометрировании снимка.

Рассмотрим влияние формы импульса на разрешаемое расстояние без учета п. 5, т. е. ограничимся случаем однократных импульсов. Практически для обеспечения необходимой яркости изображения приходится выбирать определенную скважность импульсов. Перенос результатов, оцененных для одиночного импульса, на их совокупность связан для фиксированного импульса со свойствами экрана, указанными в п. 6 и 7. Действительно, при малом времени послесвечения экрана

изображение, получаемое от совокупности импульсов, практически сводится к суперпозиции изображений от каждого одиночного импульса, причем это тем более вероятно, чем меньше скважность импульсов, т. е. чем больше промежуток времени между импульсами по сравнению с длительностью самого импульса. В противном случае каждое изображение будет накладываться на послесвечение от изображения, полученного от предыдущего импульса, и вся картина получается более сложной, чем простое суперпонирувание изображений.

В этом случае целесообразно представить электрический потенциал в виде гармонического ряда Фурье. Помимо основного колебания, будем иметь суперпозицию колебаний небольших амплитуд и больших частот, которые несущественны в силу требования минимального контраста изображения на экране. Действительно, экран не возбуждается при малых длительностях и небольших амплитудах напряжения. В нашем эксперименте характеристики экрана были таковы, что имел место первый случай. Поэтому можно положить, что разрешаемое расстояние δ будет определяться средним по времени значением электрического поля:

$$\delta = 4 \frac{\varepsilon}{\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} E_n dt}, \quad (1)$$

где τ — длительность импульса, ε — средняя начальная энергия вылета электронов, равная в случае термоэмиссии kT , E_n — напряженность поля у катода в импульсе.

Зададимся периодическим импульсом E_n , имеющим форму трапеции. Интегрирование приводит к результату:

$$\delta = \frac{8\varepsilon [(a - E_0)S + l]}{(a^2 - E_0^2)S + 2al}, \quad (2)$$

где E_0 — поле у катода, которое обеспечивает минимальный контраст на экране; a — амплитуда импульса; l — прямоугольная часть длительности импульса; $S = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}$, причем α и β — углы подъема и спада импульса (трапеции). Таким образом, разрешение улучшается с увеличением амплитуды импульса и при стремлении его формы к прямоугольной. Это вполне естественно, так как увеличивается интервал времени l , в течение которого наложено наиболее высокое напряжение. Установка, использующая импульсное питание, давала возможность получать качественное изображение термокатодов с активным покрытием, в вакууме порядка 10^{-6} мм рт. ст. Объектив питался прямоугольными импульсами от импульсного генератора. Качество импульса контролировалось с помощью импульсного осциллографа.

Для получения изображения катода применялся трехэлектродный объектив. Поскольку максимальное напряжение, даваемое импульсным генератором, было 2 кв, для получения возможно больших градиентов напряжения у катода электроды объектива сближались до расстояния порядка 0,08 мм. Но при постоянных расстояниях между электродами сфокусировать изображение катода на экран можно только, меняя напряжение на фокусирующем электроде, т. е. подавая на все три электрода разные потенциалы. Следовательно, в этом случае на выход генератора прямоугольных импульсов надо ставить делитель, который следует подобрать таким образом, чтобы форма импульса на нем не искажалась.

Чтобы избежать трудностей, связанных с употреблением делителя, была сконструирована двухполюсная система, позволявшая сфокуси-

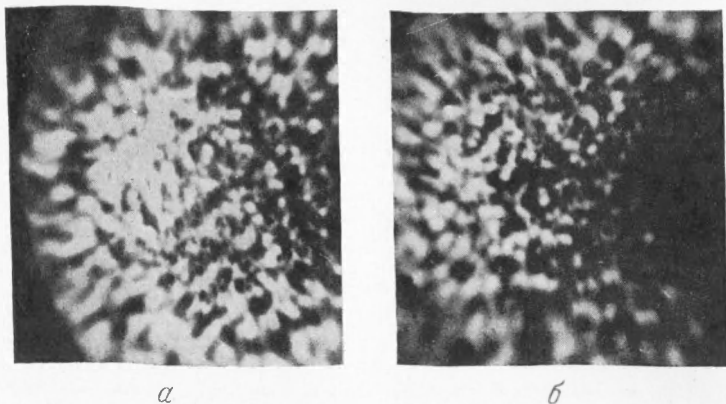


Рис. 1. Изображение оксидного катода. *а* — напряжение постоянное $V=300$ в; *б* — напряжение импульсное $V=2$ кв, частота повторения $\nu=1000$ гц, длительность импульсов $\tau=2$ мсек.; $\times 45$

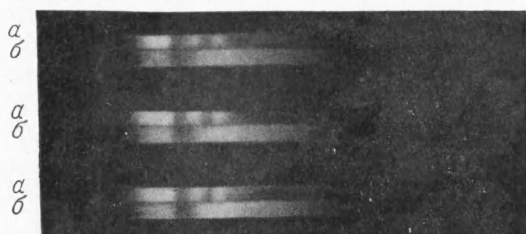


Рис. 1. Спектры ацетоновых экстрактов. *а* — листьев кукурузы, выдержанных в экстракте ели; *б* — свежего ацетонового экстракта хлорофилла

ровать изображение на экран изменением извне расстояния между катодом и фокусирующим электродом, причем последний находился под потенциалом катода.

При выбранных расстояниях между электродами в стационарном случае пробой наступал в среднем при напряжении порядка 300 в, в импульсном же режиме при напряжении на объективе, равном 2 кв, пробоя еще не наблюдалось. С помощью электролитической ванны оценивалось изменение напряженности электрического поля у катода при переходе от стационарного питания к импульсному для объективов с разными параметрами. Получилось в среднем увеличение напряженности поля для случая импульсного питания в 5—7 раз. Так, для объектива, в котором расстояния между электродами были порядка 0,08 мм и диаметры отверстий в них 2 мм, напряженность поля у катода при переходе от стационарного напряжения к импульсному менялась от 4,5 до 30 кв/см. Согласно формуле (2), такое изменение напряженности поля должно улучшить разрешение в 6,5 раза.

На рис. 1 представлены изображения оксидного катода для случая стационарного питания и для случая применения генератора импульсов. Частота повторения импульсов $\nu = 1000$ гц, длительность импульса $\tau = 2$ мсек, увеличение 45. Снимок, полученный во втором режиме, является более качественным. Увеличение напряженности электрического поля у катода подавляет не только хроматическую и сферическую абберации, но и уменьшает эффект пространственного заряда у катода.

Наблюдения нестационарной эмиссии оксидных катодов, выполненные при помощи микроскоп-проектора (2), показывают отличие картин стационарной и нестационарной эмиссии.

Поэтому различие в обеих картинах, наблюдаемое нами в импульсном эмиссионном микроскопе, может быть частично приписано различию в состоянии эмиссионных центров. Следует, однако, отметить, что наши исследования велись в интервале длительностей импульсов более, чем на порядок, меньших, чем в работе (2). Это вызвано тем обстоятельством, что нашей задачей являлось не наблюдение импульсной эмиссии оксидных катодов, а получение изображений при больших E у катода с целью улучшения разрешения системы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
22 XI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. В. Спивак, Е. Л. Столярова, ЖТФ, 18, 279 (1948); 20, 501 (1950); Вестн. МГУ, 5, 59 (1949); 8, 31 (1952). ² Н. Д. Моргулис, И. А. Дерюгин, Изв. АН СССР, сер. физ., 15, № 4, 444 (1951). ³ Г. В. Спивак, А. М. Розенфельд, там же, 15, № 3, 317 (1951).