

Приведём некоторые из первых результатов применения осциллографа с бегущей волной. Ввиду яркости луча, недостаточной для применения однократной записи, для исследования микроволновых колебаний был применён хорошо известный метод фигур Лиссажу, с тем отличием от обычного случая, что разность фаз колебаний на горизонтальных и вертикальных отклоняющих элементах зависит от времени пролёта электронов между ними. Таким образом, осциллограф с бегущей волной в описываемом случае, устраняет один из эффектов времени пролёта электронов, не устраняет второго.

В случае, когда в колебании присутствует n -я гармоника, дополнительная разность фаз за счёт времени пролёта равна ωt для основной частоты и $n\omega t$ для n -й гармоники (τ — время пролёта электрона между 1-й и 2-й парами отклоняющих элементов). На рис. 2 приведены осциллограммы колебаний, включающих 3-ю, 5-ю и 7-ю гармоники при основной частоте $3 \cdot 10^8$ гц. При малой амплитуде колебания основной частоты интерпретация осциллограмм несколько затрудняется (рис. 3).

В заключение укажем, что с нашей точки зрения было бы особенно ценным объединение в одном осциллографе принципов импульсного перенапряжения, что дало бы возможность, повысив яркость, применить однократную запись и линейную развёртку, взамен метода фигур Лиссажу, с управлением лучом с помощью бегущей волны. Весьма важно было бы также добиться устранения Θ -явлений, т. е. эффекта времени пролёта между отклоняющими пластинками.

В. Вавилов

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Стекольников, Электричество, № 11—12 (1944), стр. 27.
2. И. С. Стекольников, ДАН 56, № 6 (1946).
3. И. С. Стекольников, Импульсная осциллография и её применение, АН СССР, Москва, 1949 г.
4. Hollmann, Hoch. Frequenz. Technik 54, 188 (1939).
5. Hollmann, Proc. of the IRE 28, 213 (1940).
6. G. M. Lee, Proc. of the IRE 34, 121 (1946).
7. J. K. Pierce, Electronics 22, 97, November (1949).
8. Owaki и др., Proc. of the IRE 38, 1172 (1950).
9. В. М. Лопухин, УФН 36, 456 (1948).
10. В. М. Лопухин, УФН 40, 592 (1950).
11. И. С. Стекольников, Электронный осциллограф, Госэнергоиздат, 1949.

НОВЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Изготавливающиеся в настоящее время люминесцентные лампы основаны на трансформации резонансного ультрафиолетового излучения ртутного разряда низкого давления в видимое излучение с помощью нанесённых на внутреннюю поверхность колбы лампы люминофоров.

Недавно описан принципиально новый люминесцентный источник света в котором электрическая энергия непосредственно превращается в световую^{1,2}.

Гудден и Поль ещё в 1921 г. обнаружили, что сильные электрические поля способны увеличивать яркость фосфоресценции люминофоров, которые были предварительно возбуждены ультрафиолетовым излучением. Этот эффект изучался с тех пор рядом исследователей^{3,4}.

Дестрио⁵ впервые показал возможность непосредственного возбуждения люминесценции некоторых веществ под действием сильных переменных электрических полей и в дальнейшем подробно исследовал это явление, названное им электролюминесценцией. Обзор основных работ по электролюминесценции дан в последней работе Дестрио¹ и в книге Гарлика⁴.

Явление электролюминесценции наблюдается только в сильных переменных электрических полях при напряженностях порядка $10^5 - 10^6$ в/см и частотах от 10 до 10000 гц.

В качестве люминофоров были исследованы сульфиды, вольфраматы, силикаты, германаты и другие вещества. При больших напряженностях поля все исследованные люминофоры обнаруживают некоторое свечение, однако наилучший эффект был получен со специально приготовленными образцами сульфида цинка⁶.

Относительно высокая яркость свечения этого люминофора достигается в результате трёхкратных прокалок в течение одного часа при температуре 1200° С и тщательном перемешивании после каждой прокалки. Прокалка повышает главным образом чувствительность поверхностных слоёв, что может быть объяснено окисляющим действием кислорода воздуха. Это явление подтверждается тем фактом, что аналогичное действие может быть получено при прокалке в вакууме смеси ZnS и ZnO, причём в этом случае в результате однократной прокалки может быть получено однородное вещество, весьма чувствительное к действию поля.

Были проведены исследования зависимости порогового значения напряженности поля, при котором впервые заметно свечение, от соотношения ZnS и ZnO в смеси, а также от содержания активатора (Cu). Оптимальным оказалось соотношение ZnO — 75%, ZnS — 25% и Cu — 0,2%, для которого пороговое значение напряженности поля при частоте 50 гц составляет примерно 3500 в/см.

Кривая зависимости порогового значения напряженности поля от содержания активатора (Cu) имеет сложную форму с двумя минимумами, обусловленную влиянием изменения содержания меди как на люминесценцию, так и на электропроводность люминофора.

Исследования Дестрио производились преимущественно при частоте переменного тока в 50 гц. Предварительные результаты экспериментов показали значительное увеличение яркости люминесценции с ростом частоты, причём для ZnO изменение яркости связано с частотой поля линейной зависимостью. Исследования показали, что интенсивность свечения меняется периодически с частотой, в два раза превосходящей частоту внешнего поля. Максимум свечения не совпадает по фазе с максимумом поля, причём сдвиг фаз зависит от применённого люминофора с содержанием активатора.

Легко показать, что максимум напряженности активного поля внутри люминофора (E') связан с максимумом синусоидального внешнего поля (E) соотношением

$$E' = \frac{E}{\sqrt{1 + \left(\frac{4\pi 9 \cdot 10^{11}}{\omega k \rho} \right)^2}} \quad (1)$$

где ω — круговая частота;

k — диэлектрическая постоянная;

ρ — сопротивление (ом·см).

В то время как величины диэлектрической постоянной для различных люминофоров известны и равны 5—8, точные значения удельного

сопротивления, зависящего от многочисленных факторов, в настоящее время неизвестны. Как показывает соотношение (1), максимум активного поля сильно уменьшается с уменьшением удельного сопротивления люминофоров, причём для $\rho < 10^9$ ом·см внутреннее поле уже в несколько раз меньше внешнего.

Активное поле опережает внешнее на угол, определяемый соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}}{\omega k \rho}. \quad (2)$$

Таким образом, если принять, что излучение люминесценции совпадает по фазе с активным полем, сдвиг фаз между интенсивностью свечения и напряжённостью внешнего поля должен возрастать при уменьшении сопротивления люминофора. Такие изменения фазы свечения и были обнаружены при увеличении содержания активатора (Cu) в люминофоре. Было обнаружено, что увеличение содержания активатора, помимо увеличения сдвига фаз, приводит к заметным изменениям временного хода кривой излучения, причём при концентрации Cu около 1/100 наблюдается образование дополнительных максимумов излучения.

Интересно отметить, что аналогичное изменение величины сдвига фаз наблюдается также при увеличении напряжённости поля, что может быть объяснено ростом проводимости люминофора, обусловленным увеличением количества электронов в полосе проводимости.

Зависимость максимума яркости свечения B от приложенного напряжения V может быть выражена эмпирическим соотношением

$$B = aV^n e^{-b/V},$$

где a , b , n — постоянные коэффициенты. Значения показателя степени n для разных люминофоров меняются в пределах от 1 до 3.

Коэффициент b зависит от температуры T согласно соотношению

$$b = \frac{\delta}{T - T_1},$$

где δ и T_1 — постоянные.

Таким образом, яркость люминесценции возрастает при увеличении температуры, причём экстраполяция полученных экспериментальных данных на область низких температур даёт значение критической температуры T_1 , при которой не должна наблюдаться электролюминесценция, равное примерно 225° K.

Спектр электролюминесценции заметно отличается от соответствующего спектра для ультрафиолетового возбуждения. Так полоса люминесценции сульфида цинка сдвигается в красную часть спектра при переходе от ультрафиолетового возбуждения к возбуждению переменным электрическим полем.

Для получения больших напряжённостей поля при небольших напряжениях в сети необходимо поместить тонкий слой люминофора между обкладками плоского конденсатора. В описанном Дестрио электролюминесцирующем конденсаторе люминофор наносится в монокристаллическом слое на металлическую пластинку и закрепляется на ней с помощью канадского бальзама или очень тонкой резиновой плёнки. Поверх этого слоя наносится плёнка изолирующего масла, на которую накладывается слой слюды, нижняя часть которого делается проводящей с помощью тонкой плёнки морской соли с глицерином.

Таким путём автору удавалось получить конденсаторы толщиной 0,05—0,08 мм, которые давали заметное свечение уже при напряжении сети 110 в и частоте 50 гц.

Более совершенная конструкция светящегося конденсатора, пригодного для использования в качестве источника света, описана в недавно опубликованной статье Пайна и др.² Статья носит

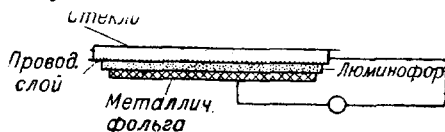


Рис. 1. Схема люминесцентной конденсаторной лампы.

преимущественно рекламный характер и содержит весьма скудные в научном отношении данные. Так, например, в статье полностью отсутствуют

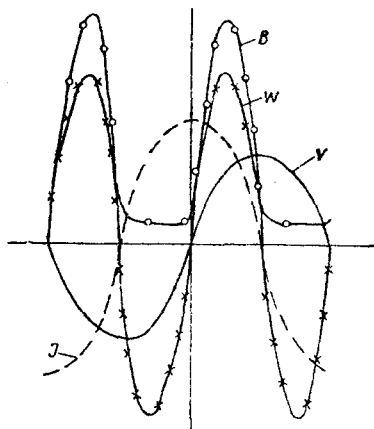


Рис. 2. Временные кривые тока (I), напряжения (V), мощности (W) и яркости (B) электролюминесценции.

ствуют сведения о применённом люминофоре, выходах люминесценции, схеме включения и т. д.

Светящийся конденсатор (рис. 1) имеет слой люминофора, суспензированный в подходящем твёрдом диэлектрике и распылённый по поверхности специального «проводящего» стекла. На одной из поверхностей этого стекла, путём специального обжига, создаётся обладающее хорошей электропроводностью покрытие, толщиной порядка 5 м с коэффициентом пропускания света около 85%. Этот слой отличается большой твёрдостью и химической стойкостью.

Поверхность люминесцирующего слоя покрывается тонкой металлической плёнкой, которая может быть, например, получена распылением алюминия. Порог видимой яркости свечения такого конденсатора соответствует напряжению в 25 в при частоте 60 гц.

С помощью осциллографа были сняты кривые изменения во времени напряжения, тока и яркости электролюминесценции. Характерные кривые для синусоидального поля при частоте 60 гц приведены на рис. 2.

Как показывает рассмотрение кривых, ток опережает по фазе напряжение почти на 90° .

Излучение электролюминесценции совпадает по фазе с положительной частью кривой мощности. Зависимость яркости люминесценции от напряжения сети, мощности и частоты поля приведена на рис. 3 и 4. Яркость значительно возрастает с увеличением напряжения и мощности, причём предельная её величина обусловлена напряжением пробоя люминофора. При постоянном напряжении яркость быстро возрастает при повышении частоты. Особый интерес представляет обнаруженная линейная связь между выходом излучения на единицу подводимой мощности и частотой поля. Таким образом каждая зарядка конденсатора до данного напряжения даёт одинаковую яркость свечения независимо от частоты поля.

На рис. 5 дана фотография конденсаторной люминесцентной лампы и освещаемых ею предметов. Возможно также изготовление источника света в виде светящегося цилиндра. Яркость свечения при частоте 3500—4000 гц составляет около 800 апостильб.

Авторы указывают, что новые источники света могут быть использованы в виде светящихся потолков, панелей, колонн и пр. Особый интерес представляет применение нового способа возбуждения люминесценции для самосветящихся объектов: приборных досок самолётов и автомобилей, деталей телевизоров и радиоприёмников, часов и пр.

К числу преимуществ нового источника света должны быть отнесены: простота изготовления, связанная с отсутствием вакуумных колб, возможность регулирования яркости в широких пре-

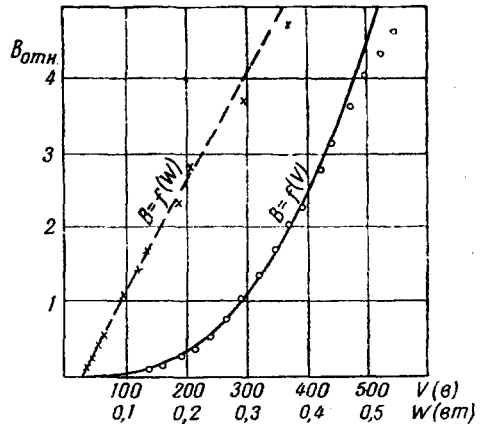


Рис. 3. Зависимость яркости (B) электролюминесценции от напряжения (V) и мощности (W) поля.

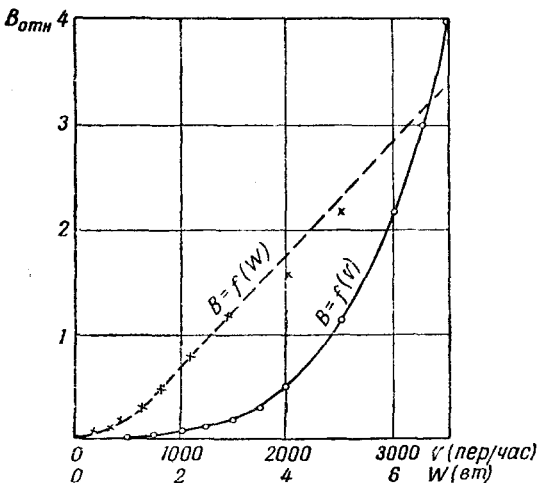


Рис. 4. Зависимость яркости (B) и выхода ($\frac{B}{W}$) электролюминесценции от частоты (ν) и мощности (W) поля при постоянном напряжении.

делах изменением мощности и практически мгновенное включение и выключение.

Интересно отметить, что в то время как изменение напряжения практически не меняет спектра электролюминесценции, изменение частоты явно сказывается на спектральном распределении энергии излучения. Так, например, при переходе от частоты 60 гц к частоте 300 гц цвет свечения

меняется соответственно от жёлто-зелёного до сине-зелёного.

Современная теория люминесценции кристаллофосфоров даёт мало материала для истолкования процесса электролюминесценции.

Левсренц⁷ пытался объяснить наблюдавшееся им свечение пробоем тонких слоёв воздуха вокруг частиц люминофора в органических плёнках, создающим характерное синеватое тлеющее свечение атмосферного азота, которое может возбуждать люминесценцию. Несостоятельность этой теории в свете последних исследований электролюминесценции не вызывает никаких сомнений. Согласно Дестрио излучение электролюминесценции связано с переходом электронов под дей-

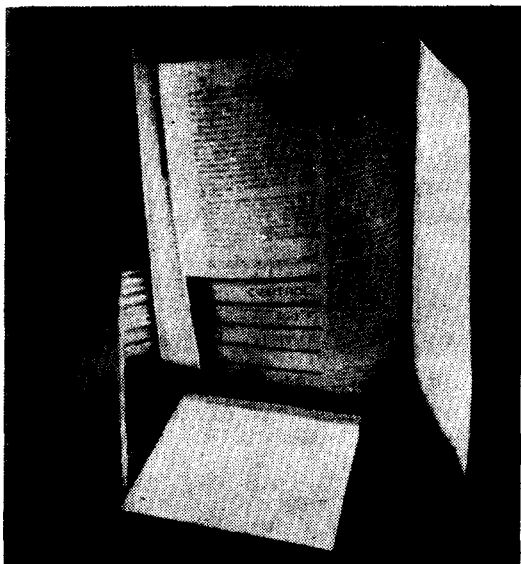


Рис. 5. Люминесцентная конденсаторная лампа.

ствием поля от основных уровней, связанных с примесями, в полосу проводимости. Так как этот переход нормально требует лишь нескольких электрон-вольт, остаётся неясным, насколько эта гипотеза приложима для полей, вызывающих электролюминесценцию. Кроме того, этой теории противоречит отсутствие заметного послесвечения, а также тот факт, что свечение может быть возбуждено в люминофоре, находившемся несколько дней в полной темноте, а также возможность непрерывного свечения в течение нескольких десятков часов.

Таким образом эффект электролюминесценции, помимо несомненного технического значения, представляет значительный интерес и для общей теории люминесценции кристаллофосфоров.

Д. Ш.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G. Destriau, *Phil. Mag.* **38**, 700 (1947).
2. E. C. Payne, E. L. Mager, C. W. Serome, *Ill. Eng.* **45**, 688 (1950).
3. G. Destriau, *Phil. Mag.* **38**, 774, 880 (1947).
4. G. F. Garlick, *Luminescent Materials*, стр. 145 (1949).
5. G. Destriau, *J. de chim. phys.* **33**, 587 (1936).
6. G. Destriau, S. Soddy, *J. de phys. et rad.* **6**, 12 (1945).
7. H. W. Leverenz, *An Introduction to Luminescence of Solids*, стр. 392 (1950).