

вышают значения n_D , что указывает на наличие у этих материалов дисперсии где-то в промежуточной области (при $\lambda < 1 \text{ м.м.}$).

Рассматривая вопрос об изучении электрических характеристик диэлектриков на волнах короче сантиметровых, следует упомянуть о работе Мейера ⁶, в которой проведено измерение некоторых диэлектриков с очень высокой ϵ (порядка нескольких тысяч) при длинах волн от 0,15 до 0,6 м.м. Метод, использованный в этой работе, уже типичен для инфракрасной спектроскопии (в качестве источника электромагнитных волн служила ртутная лампа высокого давления). Изучая некоторые диэлектрики, изготовленные на основе различных титанатов (в том числе и титаната бария), автор обнаружил (рис. 1, 2) очень сильное уменьшение ϵ при этих длинах волн ($\lambda = 0,15 + 0,6 \text{ м.м.}$), что подтверждает полученные ранее результаты ⁷ для титаната бария при более длинных волнах ($\lambda = 3,2 + 1,25 \text{ см.}$).

В. Сарафанов

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Gulshaw, Proc. Phys. Soc. **66**, 597 (1953).
2. УФН **52**, 173 (1954).
3. Talpey, L'onde électrique **319**, 561 (1953).
4. Books, Greig и др., J. Opt. Soc. Am. **43**, 1191 (1953).
5. Greig, Ferguson, J. Opt. Soc. Am. **40**, 504 (1950).
6. Meier, Ann. d. Phys. **19**, 26 (1953).
7. Powles, Jackson, Proc. IEE **96**, часть III, 383 (1949).

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ

Сравнительно недавно открытое и почти ещё не изученное явление электролюминесценции уже нашло себе практическое применение. В настоящее время налажен выпуск электролюминесцентных ламп, имеющих, правда, очень малую мощность, но обладающих целым рядом интересных особенностей, могущих сделать их полезными. Описанию этих особенностей, а также изложению немногочисленных имеющихся сведений о самом явлении электролюминесценции и посвящена реферируемая статья *).

Явление электролюминесценции, свойственное некоторым фосфорам — в первую очередь сульфидам цинка, активированным медью, свинцом, хлоридами и магнем, — состоит в возникновении свечения при помещении фосфора в переменное электрическое поле. Наиболее интенсивное свечение наблюдается у фосфоров, активированных сравнительно большими количествами меди с малой примесью свинца. Свечение фосфоров этого типа имеет зелёный оттенок и состоит из двух довольно широких и налегающих друг на друга полос, захватывающих практически всю видимую область спектра, — голубой ($\lambda_{\text{макс}} = 460 \text{ м.м.}$) и зелёной ($\lambda_{\text{макс}} = 520 \text{ м.м.}$). Изменяя активатор, можно получить фосфоры со свечением самой разнообразной окраски — от синей до оранжевой. В частности, активирование магнием обуславливает появление новой полосы с центром при $\lambda_{\text{макс}} = 590 \text{ м.м.}$ Относительная интенсивность полос зависит, с одной стороны, от концентрации активаторов и, с другой стороны, от частоты наложенного электрического поля (см. ниже). Интенсивность голубой компоненты увеличивается с частотой линейно, по крайней мере, до частот порядка 2,5 тыс. гц. Интенсивность зелёной компоненты также возрастает с частотой.

*) К. Н. Butler, C. W. Jerome, J. C. Waymonth, Electrical Engineering **73**, № 6, 524 (1954).

той, но уже при малых частотах наблюдается постепенное уменьшение скорости возрастания, а при частотах около 1000 гц наступает насыщение (рис. 1). Это указывает на наличие двух различных по природе центров свечения с существенно различными временами, необходимыми для их активации. Тогда как для голубого свечения это время меньше $5 \cdot 10^{-4}$ сек, для зелёного свечения оно близко к 10^{-3} сек.

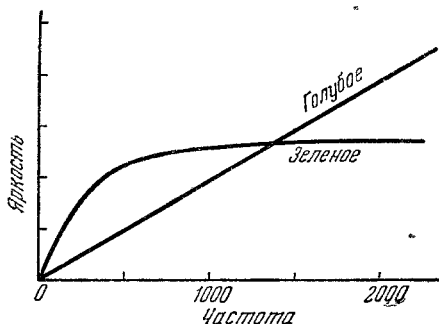


Рис. 1. Зависимость яркости голубого и зелёного свечения от частоты для лампы с зелёным фосфором.

В отличие от фотолуминесценции, возбуждаемой ультрафиолетом, электролюминесцентное свечение не захватывает всего объема светящихся кристалликов, а происходит только в виде небольших ярких «пятен» ($1-2 \mu$ в диаметре) на их поверхности (особенно при умеренных напряженностях электрического поля). При этом обнаруживаются «пятна» двух типов. Один из них соответствует контактам между двумя, повидимому, одинаковыми кристалликами, тогда как другой наблюдается на заостренных

вершинах одиночных иглообразных кристалликов. Свечение «контактного» типа интенсивнее, когда электрическое поле направлено перпендикулярно к плоскости контакта, свечение же иглообразных кристаллов интенсивнее, когда электрическое поле направлено вдоль их оси. По мере изменения направления поля интенсивность свечения быстро убывает. Это позволяет заключить, что электролюминесцентные «пятна» возникают в результате концентрации электрического поля в области свечения. Важно заметить, что (во всяком случае для свечения «контактного» типа) свечение наблюдается в течение только одного полупериода, причём яркость его достигает максимума, когда фаза приложенного напряжения приближается к $\sim 50^\circ$. При этом единичное «пятно» начинает светиться при некоторой минимальной амплитуде электрического поля и далее сила света единичного «пятна» возрастает с амплитудой линейно.

Сопоставление спектров электролюминесценции со спектрами других видов фосфоресценции тех же веществ показывает, что основное различие сводится к различию в механизме возбуждения, т. е. в способе передачи энергии от электрического поля к центрам свечения. В настоящее время механизм возбуждения электролюминесценции ещё не установлен. Наиболее правдоподобными представляются две гипотезы. Согласно одной из них возбуждение происходит в результате электронной бомбардировки. Электрон, освобождённый с донорного уровня (либо в результате теплового движения, либо под действием электрического поля), ускоряется в зоне проводимости электрическим полем. Приобретая достаточную кинетическую энергию, он возбуждает или ионизует центр свечения. Согласно второй гипотезе возбуждение центра свечения происходит непосредственно путём ионизации этого центра под воздействием электрического поля, перемещающего (в результате туннельного эффекта) электрон с локального уровня (в центре свечения) в зону проводимости кристалла. В обоих случаях существенно, чтобы электрическое поле было переменным, т. е. зона проводимости «качалась», меняя направление наклона.

Наиболее веским возражением против названных гипотез является тот факт, что свечение начинается при сравнительно малых напряженностях поля — $500-1500 \text{ в/см}$. Однако, если положить, что всё поле, приложен-

ное к кристаллику, концентрируется в светящемся «пятне», скажем, «контактного» типа, то, учитывая размеры кристалликов (10—20 μ), получим, что напряженность поля в области «пятна» может достигать достаточно больших значений — до 10^6 в/см и более. Одна из возможностей для объяснения концентрирования поля в области «пятна» состоит в том, что контакт представляет собой в действительности $P-N$ -контакт, действующий как выпрямитель. При соответствующем направлении поля падение потенциала в области контакта должно тогда приближаться к 100%.

Обратимся теперь к электролюминесцентным лампам. Они представляют собой конденсаторы с прозрачными электродами, заполненные люминофором. Форма и размеры ламп ограничены только технологическими условиями их изготовления и могут варьировать в очень широких пределах. Обычно они изготавливаются следующим образом. На лист электропроводящего стекла наносится тонкий слой порошкообразного люминофора, поверх которого напыляется тонкая плёнка алюминия. Эта плёнка в свою очередь покрывается слоем лака и обычным стеклом или пластмассой.

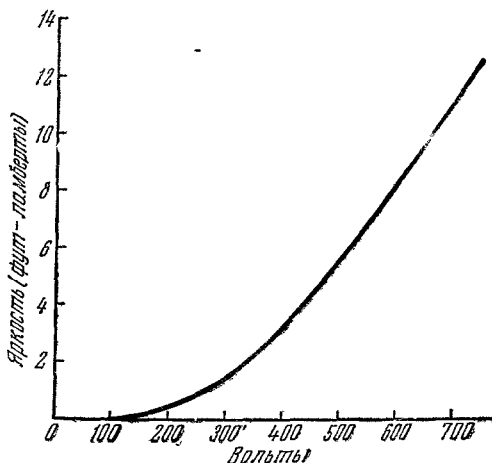


Рис. 2. Зависимость яркости свечения порошка фосфора от приложенного напряжения при частоте 60 Гц.

В результате получается двумерный источник света достаточно большой площади и малой толщины (менее 6 μ м). Выпускаемые лампы рассчитаны на работу при напряжении 120 или 600 в и частоте 60 Гц, однако и амплитуда и частота приложенного напряжения могут быть существенно увеличены. Поскольку лампа образована множеством частиц люминофора, различающихся по форме, размерам и ориентации относительно поля, постольку электрооптические характеристики лампы оказываются усредненными и отличаются от характеристик отдельных частиц. Мы уже указывали, что для отдельной частицы свечение начинается с некоторого порогового значения амплитуды приложенного напряжения и яркость свечения растёт с амплитудой линейно. Зависимость яркости свечения от приложенного напряжения для лампы показана на рис. 2. Нелинейность обусловлена тем, что по мере роста напряжения происходит не только увеличение яркости свечения частиц, но и увеличение числа светящихся частиц. При напряжениях ниже 100 в свечение не исчезает, но становится слишком слабым, чтобы его яркость могла быть изображена в масштабе рис. 2.

Как явствует из рис. 2, увеличение приложенного напряжения влечёт за собой существенное увеличение яркости, практически ограничиваемое требованиями безопасности и возможностью пробоя. (Напомним, что яркость свечения определяется, собственно, не величиной приложенного напряжения, а напряжённостью поля.) Добавочное и весьма значительное усиление яркости может быть получено за счёт увеличения частоты. Это иллюстрируется рис. 3. При переходе от частоты 60 гц к частоте 4000 гц яркость

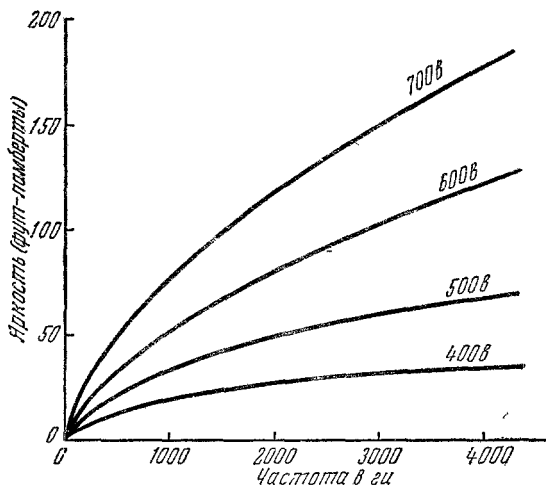


Рис. 3. Зависимость яркости свечения фосфора от частоты приложенного напряжения при различных его амплитудах.

возрастает более чем в 20 раз. Авторы отмечают, что препятствием для увеличения частоты является высокое сопротивление электропроводящего стекла, используемого в качестве прозрачного электрода (нормально около 500 ом/см^2). При возрастании частоты возрастает ток, а следовательно, и тепловыделение в стекле, уменьшающее как жизнеспособность фосфора, так и яркость его свечения. Очевидно, здесь необходимы дальнейшие изыскания.

Зависимость яркости от частоты находит себе простое объяснение. На рис. 4 приведены одновременные осциллограммы свечения, тока и приложенного напряжения для типичной лампы при частоте 60 гц. Прежде всего обращает внимание то, что свечение появляется в виде «всплесков», происходящих во время возрастания напряжения, т. е. в начале каждого из полупериодов. Это объясняется тем, что порошок люминофора содержит частицы, ориентированные во всевозможных направлениях и, следовательно, «вспыхивающие» либо в начале первого, либо в начале второго полупериода. С увеличением частоты увеличивается число «вспышек» в секунду, а следовательно, и интегральный световой выход.

Далее, из рис. 4 видно, что свечение, появляющееся только при изменении направления приложенного электрического поля, сопровождается увеличением тока, текущего через конденсатор. При этом ток и напряжения оказываются в фазе, т. е. конденсатор потребляет энергию. Зависимость светового выхода от потребляемой мощности показана на рис. 5, относящейся к лампе, работающей на частоте 60 гц при амплитуде напряжения до 600 в и имеющей площадь 220 см^2 . Эффективность растёт с ростом

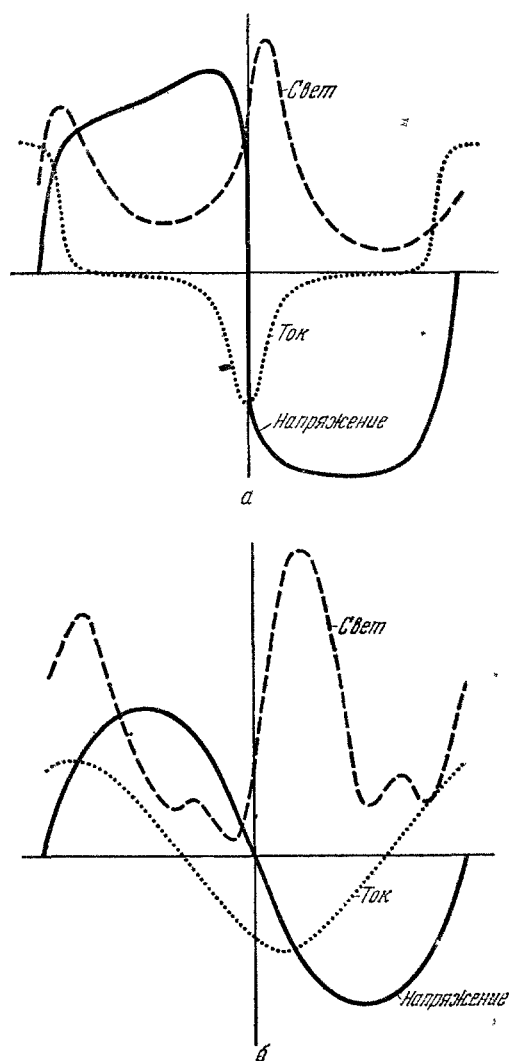


Рис. 4. Одновременные осциллограммы свечения, тока и приложенного напряжения. *a* — для почти прямоугольных импульсов; *б* — для синусоидального напряжения.

напряжения до 500 в, а затем вновь убывает. Максимальная эффективность составляет около 4, 24 люмена на ватт.

Важной особенностью электролюминесцентных ламп является их долговечность. На рис. 6 показана зависимость яркости лампы от времени её

работы (в часах). Вначале яркость быстро возрастает, а затем, через несколько десятков часов, начинает медленно убывать по примерно экспоненциальному закону. Основная причина выхода ламп из строя — это электрический пробой. Поскольку пробой обуславливается кратковременными повышениями напряжения в сети и затем «залечивается», так что на месте пробоя остаётся только чёрное пятнышко, постольку следствием пробоев является постепенное уменьшение яркости лампы. Но так как яркость убывает очень медленно, лампы могут служить очень долго — до 10 000 и более часов. В настоящее время лампы выпускаются трёх типов:

- 1) 120 в 60 цг с яркостью около 0,1 фут-ламберта,
- 2) 600 в 60 цг с яркостью около 10 фут-ламбертов и
- 3) 600 в, рассчитанные на высокую частоту и имеющие яркость порядка 100 фут-ламбертов.

Рис. 5. Зависимость светового выхода типичной лампы с зелёным фосфором от потребляемой мощности.

Лампы первого типа авторы рекомендуют применять для освещения циферблатов часов и шкал измерительных приборов, в качестве ночников и т. п. В частности, авторы отмечают возможность менять интенсивность свечения без изменения его цветности.

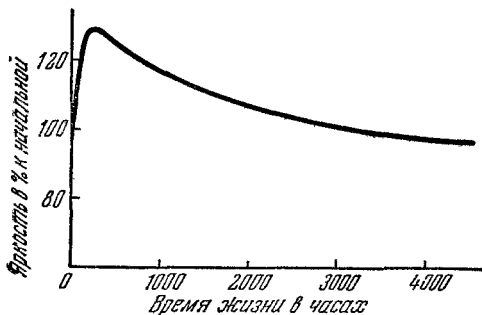


Рис. 6. Зависимость яркости свечения от времени жизни лампы (60 цг, 600 в).

Более мощные лампы могут быть применены для тех же целей, а также в качестве уличных сигналов, номеров домов, рекламы и т. п.

Следует полагать, что своеобразные свойства этого нового источника света найдут себе многочисленные и важные применения, далеко выходящие за рамки, намеченные авторами статьи.

Г. Р.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАТЕКСА С ОДНОРОДНЫМИ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦАМИ

Некоторое время назад мы уже сообщали читателям нашего журнала об изготовлении латекса с однородными по размерам сферическими частицами¹. Тогда же мы указали, что, помимо предложенного авторами использования частиц латекса в качестве масштабных шариков для электронной микроскопии, это открывает интересные возможности в области исследования рассеяния света. Напомним, что доньше, по существу, теория Ми не была подвергнута количественной экспериментальной проверке именно ввиду невозможности получения монодисперсных коллоидов. С тех пор появился ряд работ, посвященных изучению оптических свойств монодисперсных латексов. Наибольший интерес среди них представляет реферируемая работа², в которой авторы подвергли всестороннему исследованию латексы, диаметры частиц которых менялись от 0,1 до 1 μ .

Латекс представляет собой взвесь частичек полистирена или поливинилтолуола в воде. При высушивании небольшого количества латекса на поверхности стекла он образует плёнку (толщиной 3—4 μ), с поверхности которой может быть снята реплика, подвергаемая затем электронно-микроскопическому исследованию. Последнее показывает прежде всего исключительную однородность частиц по размерам.

В таблице I приведены результаты измерений размеров и стандартного отклонения от среднего размера для серии латексов (обозначенных латинскими буквами).

Таблица I

Латекс	Диаметр частиц в μ	Стандартное отклонение от среднего в μ	Число измерений	Латекс	Диаметр частиц в μ	Стандартное отклонение от среднего в μ	Число измерений
A	165	4	235	H	470	5	29
B	170	8	111	I	481	16	75
C	276	6	66	J	595	7	20
D	308	6	27	K	770	11	21
E	323	16	73	L	825	69	39
F	332	11	51	M	935	61	14
G	458	30	30	N	986	16	21

Измерения производились путём сравнения с репликой дифракционной решётки (30 000 штрихов на дюйм). Абсолютная ошибка в измерении диаметра частиц, связанная с инструментальными погрешностями, составляет около 5%. Стандартные отклонения обусловлены не только технологическими причинами, действующими при изготовлении латекса, но и