

**К ВОПРОСУ О ПРЕДПРОБОЙНОМ СВЕЧЕНИИ  
ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ****Р. В. ГУСАРОВА**

(Представлена научным семинаром кафедры экспериментальной физики)

Электролюминесценцией называется люминесценция, при которой светящееся тело черпает энергию из электрического поля. Хорошими электролюминофорами являются соединения типа ZnS, активированные главным образом Си и относящиеся к классу полупроводников. Эти соединения обладают сравнительно небольшой шириной запрещенной зоны, имеют акцепторные, донорные уровни, и в их зоне проводимости всегда есть свободные электроны. Для объяснения явления электролюминесценции привлекаются три механизма: туннельный эффект, инжекция носителей и механизм ударной ионизации, который в большинстве случаев рассматривается как наиболее вероятный [1].

Согласно теоретическим представлениям Пайпера и Вильямса для того, чтобы электролюминесценция могла вызываться неупругими соударениями между быстрыми электронами и активаторной системой, должны удовлетворяться по крайней мере три условия. Должна быть создана область сильного поля, в котором носители заряда могут ускоряться до больших значений кинетической энергии; в эту область сильного поля должны вводиться электроны или дырки; наконец, активаторные центры должны быть расположены так, чтобы они могли поглощать значительную долю энергии, полученную от поля носителями заряда. Поскольку названный механизм возбуждения электролюминесценции может действовать при напряженности поля немногим меньшей, чем пробойная, то важное значение имеют такие конфигурации поля, при которых увеличивается устойчивость кристалла по отношению к пробое. Например, узкая область сильного поля, соединенная последовательно с широкой областью слабого поля, допускает действие этого механизма в большем интервале приложенных напряжений без создания неустойчивых условий пробоя. Эти условия реализуются, если в кристалле имеется барьерная область с высоким сопротивлением. Такими барьерными слоями для кристаллов ZnS могут быть барьеры истощения типа Мотта-Шоттки или  $p-n$ -переход, работающий в запиорном направлении.

Однако механизм ударной ионизации, как и другие механизмы электролюминесценции, не является пока достаточно разработанным, и еще нет единой и стройной теории этого явления. Известно, что щелочногаллоидные кристаллы весьма успешно используются в качестве объектов для изучения процессов пробоя и некоторых фундаментальных проблем

фото- и рентгенолюминесценции кристаллофосфоров. Поэтому представляет большой интерес применение этого класса соединений также для исследования явлений электролюминесценции. Однако по ряду причин в кристаллах с большой долей ионных связей труднее возбудить электролюминесценцию, нежели в кристаллах с ковалентной связью. Ионные кристаллы обладают более широкой запрещенной полосой. Длина свободного пробега электронов и дырок до рассеяния на тепловых колебаниях решетки в ионных кристаллах в несколько десятков раз меньше, чем в ковалентных.

В кристаллах с ковалентной связью легко образуются области, концентрирующие электрические поля ( $p$ - $n$ -переходы, барьеры обеднения и т. п.); в кристаллах с ионной связью из-за малого числа свободных носителей тока этого, как правило, не происходит [2]. Все эти трудности не позволяли получить электролюминесценцию в щелочногалоидных кристаллах. Известно пока одно сообщение Георгобиани и Голубевой, которые получили электролюминесценцию в сублимированной пленке  $CsJ-Tl$  толщиной в 1 мк в переменном поле напряженностью

$$E_{10} = 2 \cdot 10^5 \frac{v}{cm} [3].$$

Экспериментальные данные, полученные в Томском политехническом институте за последние годы, позволяют утверждать, что электрический пробой щелочногалоидных кристаллов начинается с ударной ионизации и что возможно упрочнение тонких слоев диэлектрика, так как на малых расстояниях не могут развиваться значительные лавины электронов [4, 5]. Таким образом, в случае тонких слоев диэлектрика в полях, близких к пробивным, возникают электронные лавины, которые еще не приводят диэлектрик к пробую, но которые, наряду с туннельным эффектом, могут привести к электролюминесценции кристалла. Обнаружение этих электронных лавин представляет интерес как с точки зрения теории пробоя твердых диэлектриков, так и с точки зрения теории электролюминесценции.

Нами была предпринята попытка обнаружения свечения тонких слоев щелочногалоидных кристаллов в предпробойных полях.

Для проведения исследований был использован метод встречного сверления [6], позволяющий получать тонкие слои монокристалла (в 100—10 мк). После целого ряда предварительных опытов было найдено, что свечение наблюдается в том случае, когда на кристалл подается переменное напряжение, что, по-видимому, можно объяснить следующим образом. Известно, что люминесценция в щелочногалоидных кристаллах носит рекомбинационный характер. Условия, необходимые для рекомбинации электронов и центров свечения, всего вероятнее могут быть осуществлены в переменном поле. Кроме того, переменное поле способствует получению предпробойных лавин (состояний), не приводящих диэлектрик к пробую.

Оказалось, что наиболее пригодным объектом исследования является  $KJ-Cu$ , имеющий наименьшую ширину запрещенной зоны, наибольшую долю ковалентной связи из щелочногалоидных кристаллов и дающий хорошую фотолюминесценцию. Исследовались также монокристаллы  $KBr-Cu$  и  $KCl-Cu$ .

На рис. 1 представлена фотография свечения  $KJ-Cu$ , полученная с помощью микрофотонасадки. Свечение в виде отдельных пятен появляется у электродов при средней напряженности поля  $\sim 2 \cdot 10^5 \frac{v}{cm}$ . Между этими пятнами возникает свечение в виде отдельных нитей, соединяю-

щих эти светящиеся пятна, если расстояние между ними достаточно мало. При увеличении напряжения или даже при данном напряжении, но спустя некоторое время после приложения напряжения, наступает пробой. Причем установлено, что пробой начинается с этих светящихся пятен. В некоторых случаях свечение наблюдается не у электродов, а в объеме (почти в середине) кристалла.

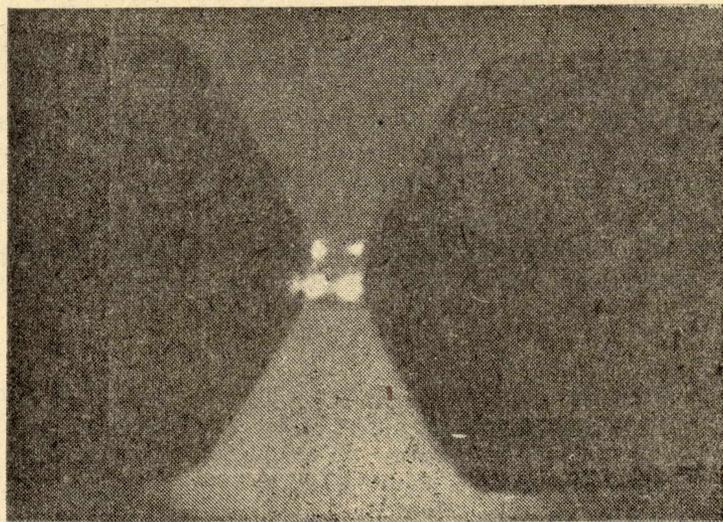


Рис. 1. Микрофотография свечения кристалла КJ — Си

Для KBr—Si наблюдается аналогичное свечение, однако менее яркое, и начинается оно при большей напряженности поля ( $E \sim 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{в}}{\text{см}}$ ), у KCl—Si наблюдается очень слабое свечение только в виде

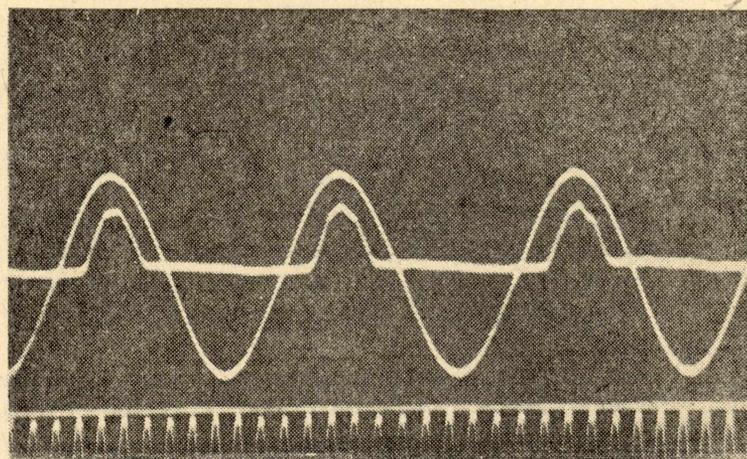


Рис. 2. Волны яркости для свечения кристалла КJ — Си при возбуждении переменным электрическим полем с  $\nu = 50 \text{ гц}$

пятен и быстро наступает пробой после появления светящихся пятен. Напряженность поля, при котором наступает свечение  $E_{\text{ср}} \sim 6 \cdot 10^5 \frac{\text{в}}{\text{см}}$ .

На рис. 2 приведены волны яркости для КJ—Си. Из рисунка видно, что одному полупериоду соответствует один пик свечения, причем свечение возникает спустя некоторое время после приложения полупериода напряжения и опережает по фазе напряжение. Постоянная составляющая отсутствует. Свечение существует только в один полупериод, что свидетельствует о чувствительности механизма, ответственного за возбуждение свечения, к полярности приложенного поля. Оказалось, что область кристалла, способная возбуждаться, светится только тогда, когда соответствующий электрод заряжен отрицательно, и, следовательно, может эмитировать электроны.

Таким образом, наблюдаемое свечение связано с предпробойными процессами ионизации электронами и представляет собой, по-видимому, электролюминесценцию.

Надо полагать, что области локального свечения представляют собой места концентрации высоких полей, обусловленные дефектами поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. W. W. Piper und Williams. Phys. Rev., 98, 1809—1813, 1955.
2. А. Н. Георгобиани. Опт. и спектр., 22, в. 6, 1962.
3. А. Н. Георгобиани и Н. П. Голубева. Опт. и спектр., 12, 802, 1962.
4. В. А. Кострыгин. ФТТ, 11, в. 8, 425, 1960.
5. А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев, В. А. Кострыгин. Изв. вузов, Физика, 6, 166, 1960.
6. В. А. Кострыгин. Физика щелочногалогидных кристаллов. Труды II Всесоюзного совещания. 1961. Латвийский государственный университет. Рига, 1962, стр. 365.