

COMMUNICATIONES BREVES

**ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ
КОНДЕНСАТОРЫ НА ОСНОВЕ ZnS—Cu, Mn**

Ф. И. ВЕРГУНАС, Э. М. ЯШИН, В. В. КОЛОТКОВ и Н. Л. ДАНИЛОВА

МОСКВА, СССР

(Поступило 30. V. 1967)

Конструкция и параметры

На стеклянную подложку со слоем SnO_2 сублимируются в вакууме шихта $\text{ZnS} + \text{CuCl}_2$ и металлический Mn или шихта $\text{ZnS} + \text{CuCl}_2 + \text{MnCl}_2$. После прокалики сублимата на его поверхность испаряется слой SiO (100—500 Å), затем электрод. Максимум излучения конденсатора приходится на 580—590 нм. Яркость его электролюминесценции (ЭЛ) может быть очень высокой. 10000 нит давали пленки толщиной 0,4 мк при напряжении 70 в (вблизи пробоя). Рабочие яркости 20 нит можно получать при сравнительно низком напряжении — около 20в в пленке толщиной 0,35 мк. При этом имеется трехкратный запас электрической прочности. Время полужизни, т. е. время спада яркости в 2 раза загерметизированных и подвергнутых 20-часовой обкатке пленок, равно тысяче часов на частоте $2 \cdot 10^4$ гц. На основе этих пленок можно создавать оптико-электронные устройства.

Изменение интегральной яркости B от напряжения V на 6—7 порядков описывается степенной функцией $B \sim V^\alpha$, где $\alpha = 9—18$. Вблизи пробоя степень α уменьшается. Зависимость B от частоты f до максимума тоже степенная $B = f^\beta$ где $\beta = 0,4—1$. Значения степеней α и β определяются концентрацией Cu и Mn, характером технологической обработки пленки и не зависят от конструктивных параметров конденсаторов, таких как сопротивление SnO_2 , толщина SiO, толщина ZnS [1].

Ток через конденсатор в основном емкостной. На уровне яркости 20 нит при $f = 5 \cdot 10^3$ гц он на порядок больше активного. Оба следуют закону Ома. При дальнейшем возрастании яркости сопротивление конденсатора начинает падать. На всех частотах наблюдается постоянная составляющая тока I_n , направление которой всегда соответствует минусу на SnO_2 . При низком уровне яркости ток I_n на несколько порядков меньше активного тока, вблизи пробоя они сравнимы. Для тока I_n и интегральной яркости B имеет место параллелизм в характере изменения от V и f . В частности ток $I_n \sim V^n$, где степень n равна степени α в зависимости B от V . В наших пленках амплитуда отрицательной волны яркости B_- (по знаку напряжения на SnO_2) превосходит амплитуду положительной B_+ , следовательно фактически параллелизм имеет место между током I_n и отрицательной волной B_- .

Процессы, участвующие в электролюминесценции пленочных конденсаторов

Возбуждение и излучение ЭЛ в пленках осуществляется за один полупериод. В этом мы убедились, накладывая одиночные Π -импульсы на синусоидальное напряжение [2]. Рассмотрим образование отрицательной волны яркости B_- . В характере изменения B_- и I_n имеется параллелизм. Очевидно, они формируются в результате одних процессов. Последние представляются нам в следующем виде. Из SnO_2 -электрода в ZnS инжектируются первичные

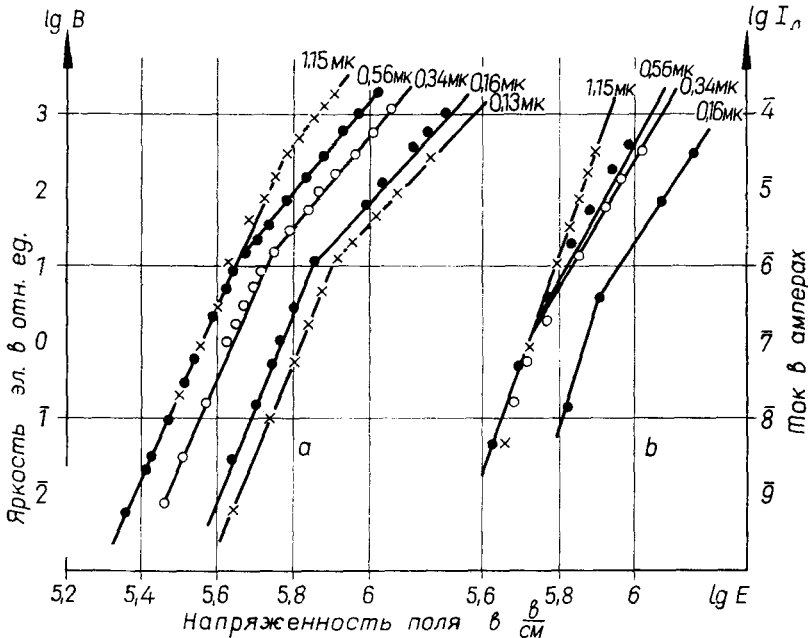


Рис. 1. а — зависимости B от E для пленок разных толщин; б — зависимости I_n от E для тех же пленок

электроны. При прохождении через пленку часть их ускоряется до энергии, достаточной для ударной ионизации центров активатора или решетки. В результате не только развивается лавина электронов, ответственная за формирование тока I_n , но и излучается ЭЛ. Последняя сопровождает рекомбинацию электронов с дырками, созданными ударной ионизацией. Независимо от механизма передачи энергии, выделяющейся при рекомбинации, Мп-центрам, закон затухания ЭЛ должен быть экспоненциальным, так как рекомбинирует неравное число партнеров (электронов много больше, чем дырок) [3]. Если ударная ионизация участвует в формировании I_n и то они должны расти с напряженностью поля E при постоянной толщине пленки d и с толщиной пленки при $E = \text{const}$. Причем в характере изменения этих величин должен быть параллелизм. О параллелизме в харак-

тере изменения I_n и B_- от V упоминалось выше. С целью обнаружения зависимости I_n и B от d при $E = \text{const}$ нами были исследованы 4 серии пленок с разной концентрацией Cu . В пределах каждой серии пленки отличались только толщиной. На рис. 1 приведены результаты для серии с концентрацией $\text{Cu} = 0$. Они принципиально не отличались от результатов для других серий. Из рис. 1 видно, что действительно I_n и B растут с d при $E = \text{const}$. Однако этот рост продолжается до определенной критической толщины d_{kp} , начиная с которой наблюдается независимость B от d и I_n от d при $E = \text{const}$. При напряжениях, близких к пробойным, для $d \geq d_k$ наблюдается замедление роста B и I_n от E . Этот результат означает, что размножение электронной лавины и возбуждение ЭЛ происходят в определенной критической толщине d_k . Возможно, роль d_k играет размер зерна. Пока пленка однослойная и размножение электронной лавины продолжается вплоть до слоя SiO I_n и B растут с d . Когда пленка делается двухслойной и размножение лавины ограничивает само зерно, то начиная с толщины пленки d_k , равной размеру зерна, размножение лавины замедляется или прекращается.

Электроны лавины, созданной за счет ударной ионизации, локализируются на ловушках вблизи SiO или у границы зерна. И только после термического высвобождения они рекомбинируют с дырками. Объемный заряд, созданный этими электронами, не только участвует в ЭЛ, но и создает поле поляризации. Последнее исключает ЭЛ наших пленок в постоянном поле. Действием поляризации можно объяснить и тот факт, что при синусоидальном возбуждении амплитуда значительно больше, чем при возбуждении половинками синусоид. В первом случае тепло и поле положительного полупериода рассасывают объемный заряд, созданный в отрицательный полупериод, во втором случае это делает только тепло.

В формировании положительной волны B_+ участвуют аналогичные процессы, т. е. первичные электроны, ускоряясь в поле ударным механизмом, создают дырки. Рекомбинация последних с электронами сопровождается ЭЛ. Только поставщиком первичных электронов здесь является не электрод (этому мешает слой SiO), а объемный заряд, локализующийся во время отрицательного полупериода на ловушках около слоя SiO или у границы зерна. Эти представления находятся в соответствии с температурными зависимостями положительной волны яркости, снятыми при разных напряжениях (рис. 2, кривые a, b, c). Из рис. 2 видно, что B_+ с ростом температуры проходит через максимум, причем скорость роста уменьшается с возрастанием напряжения. Очевидно, рост определяется термическим высвобождением электронов с ловушек, эффективная глубина которых уменьшается полем, а падение — истощением заполненных ловушек. Для сравнения на рис. 2 приведены температурные зависимости отрицательной волны B_- , при образовании которой поставщиком первичных электронов является катод. Из рис. видно, что они отличаются от зависимостей для B_+ . В исследуемом

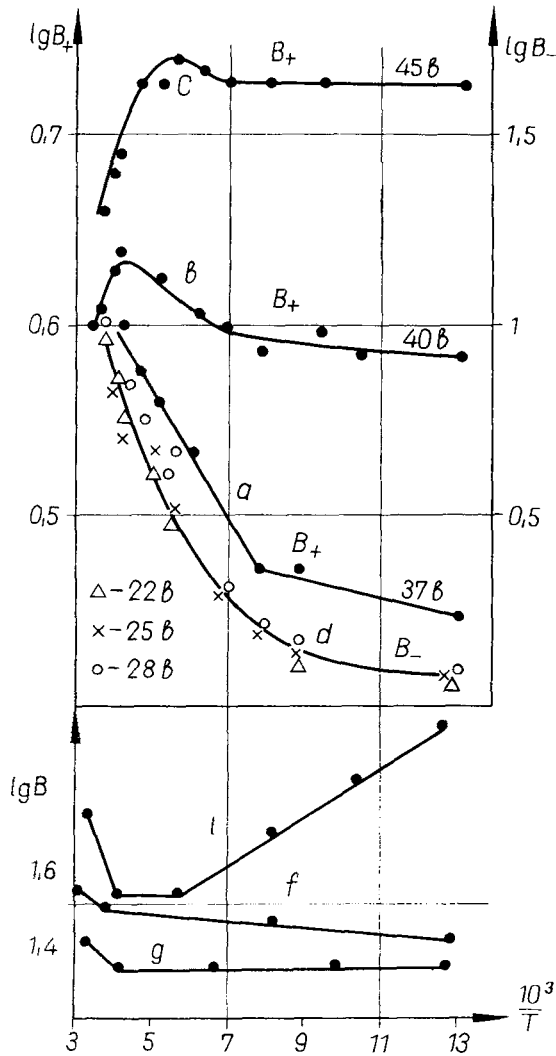


Рис. 2. Температурные зависимости: a, b, c — для амплитуды B_+ ; d — для амплитуды B_- при разных напряжениях (начальные амплитуды совмещены); e, f, g — для интегральной яркости

интервале температур наблюдается только рост B_- с T . Скорость роста не зависит от напряжения. Очевидно, температурный ход интегральной яркости B должен зависеть от напряжения и соотношения B_+ и B_- в данной пленке. На рис. 2 приведены зависимости B от T , полученные для разных образцов. Видно, что B может проходить через минимум (кривая e), возрастать с T (кривая f), не меняться с T (кривая g).

С точки зрения развиваемой модели можно объяснить поведение пленочных конденсаторов при импульсном возбуждении. Введем обозначения:

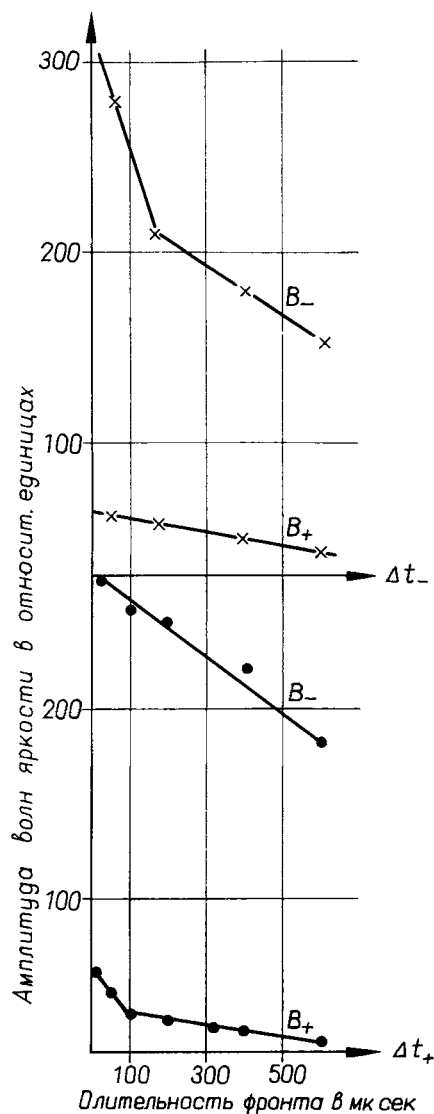


Рис. 3. Зависимости амплитуд B_+ и B_- от длительности фронта Δt

C_+ и C_- — длительности положительного и отрицательного Π -импульсов, Δt_+ и Δt_- — длительности их фронтов, t_0 — скважность между ними. Исследования проводились на уровнях яркости около 1 нита. Оказалось, что с возрастанием длительности фронта одного знака от 20 до 600 мксек при неизменной длительности другого обе волны яркости уменьшаются (рис. 3). При возрастании же C от 0,1 до 500 мсек волна той же полярности, как и возбуждающий импульс, не меняется, волна противоположной поляр-

ности растет, стремясь к постоянному значению (рис. 4). Последний результат означает, что возбуждение своей волны полностью заканчивается за время нарастания фронта Δt , а дальше идут процессы, обеспечивающие яркость волны противоположного знака. Так волна B_- растет с ростом C_+ вследствие того, что за время C_+ поле и тепло уносят объемный заряд, созданный в предыдущий отрицательный полупериод. С установлением равновесия между этими двумя процессами возрастание B_- с ростом C_+ прекращается. Волна

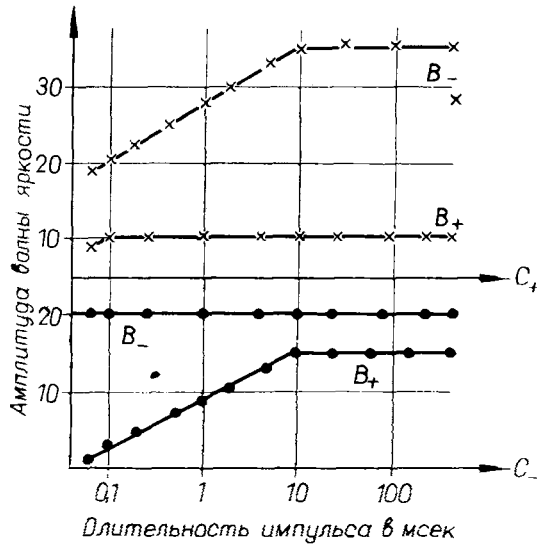


Рис. 4. Зависимости амплитуд B_+ и B_- от длительности импульса C

B_+ растет с длительностью C_- по другой причине, а именно, за время C_- увеличивается объемный заряд, накапливаемый у анода. Выше указывалось, что он является резервуаром первичных электронов при развитии B_+ . Поэтому B_+ растет с C_- . Ее рост прекращается с установлением равновесия между процессами накопления объемного заряда и его диффузионного рассасывания. Аналогично объясняется влияние скважности между отрицательным и последующим положительным импульсами на амплитуду B_+ . За время t_0 происходит диффузионное рассасывание объемного заряда, накопленного в предыдущий полупериод. Поэтому с ростом t_0 , B_+ уменьшается и тем быстрее, чем выше температура. Рассмотренный механизм нельзя переносить на все конденсаторы [4]. Совершенно ясно, что ЭЛ, наблюдаемая в постоянном поле, имеет другой механизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. И. Вергунас, Э. М. Яшин, В. В. Колотков и Н. А. Данилова, Изв. АН СССР, сер. физ., **30**, 612, 1966.
2. Ф. И. Вергунас, В. В. Колотков, Э. М. Яшин и Н. Л. Данилова, Изв. АН СССР, сер. физ., **30**, 618, 1966.
3. С. И. Вавилов, Sov. Phys. **5**, 369, 1934.
4. W. A. Thornton, J. Appl. Phys., **33**, 3045, 1962; Н. А. Власенко и Ю. А. Попков, О. и С., **8**, 81, 1960; Ф. Ф. Коджеспиров и С. А. Костылев, О. и С., **15**, в. 2, 1963; Э. Д. Головкина, В. В. Пасынков и Г. А. Ханина, О. и С., **19**, 281, 1965.