

пенсрирует возрастание  $(\Delta \sigma / \sigma)_1$ , и повышения верхнего предела динамического диапазона детекторов с ростом  $\lambda$  не происходит.

В заключение отметим, что приведенные в работе значения  $I^*$ , вообще говоря, имеют ориентировочный характер, поскольку  $(\Delta \sigma / \sigma)_2$  зависит от конкретной формы регистрируемого лазерного импульса. Это связано с тем, что при  $\tau_n < \tau$  (как правило, это всегда выполняется) за время действия лазерного импульса происходит фактически накопление неравновесных носителей в зоне проводимости. Тогда в простейшем случае треугольного импульса амплитуда  $(\Delta \sigma / \sigma)_2$  оказывается пропорциональной  $\tau_n$ , тогда как  $(\Delta \sigma / \sigma)_1$  не зависит от длительности лазерного импульса. Таким образом, приведенные значения  $I^*$  справедливы лишь для лазерного излучения с  $\tau_n \sim 50$  нс. Для импульсов большей или меньшей длительности величина  $I^*$  соответственно понижается либо повышается.

Из приведенных в работе результатов следует, что применение малоинерционных охлаждаемых до  $T=77$  К детекторов на основе  $n$ -InSb для регистрации достаточно мощных световых импульсов субмиллиметрового спектрального диапазона встречает принципиальные затруднения, связанные с проявлением эффекта световой ударной ионизации в полупроводниках. В то же время при достаточно малой интенсивности регистрируемого излучения применимость этих детекторов, очевидно, не вызывает сомнений.

### Литература

- [1] Веденов А. А., Мыльников Г. Д., Соболенко Д. Н. // УФН. 1982. Т. 138. № 3. С. 477—517.
- [2] Афиногенов В. М., Трифонов В. И. // ПТЭ. 1971. № 6. С. 114—116.
- [3] Афиногенов В. М., Десятков А. М., Мизгулин В. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1968. Т. 7. Вып. 5. С. 470—473.
- [4] Gibson A. F., Kimmit M. F. // Infrared and Millimeter Waves. 1980. Vol. 3. P. 181—217. Ганичев С. Д., Терентьев Я. В., Ярошецкий И. Д. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 1. С. 46—48.
- [5] Ганичев С. Д., Емельянов С. А., Пахомов А. Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 15. С. 913—915.
- [6] Ганичев С. Д., Дмитриев А. П., Емельянов С. А. и др. // ЖЭТФ. Т. 90. Вып. 2. С. 445—457.
- [7] Ганичев С. Д., Емельянов С. А., Ярошецкий И. Д. // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 35. Вып. 7. С. 297—299.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
15 февраля 1988 г.

04; 07

Журнал технической физики, т. 59, в. 5, 1989

## К ВЛИЯНИЮ ЛЕГКОИОНИЗУЕМЫХ ВЕЩЕСТВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ МЕЖЭЛЕКТРОДНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

Б. В. Семкин, Е. Э. Трефилов, Б. Г. Шубин

Известно, что добавки легкоионизируемых веществ (ЛВ) существенно повышают эффективность электроразрядных  $\text{CO}_2$  лазеров. Основными механизмами влияния ЛВ на объемный самостоятельный разряд (ОСР) считаются [1, 2]: увеличение начальной концентрации электронов  $n_0$  на предразрядной стадии формирования ОСР, обусловленное фотоионизацией примеси; снижение напряженности электрического поля  $E$  и увеличение длительности устойчивого горения на стадии энерговклада, обусловленные ионизацией ЛВ в процессе Пеннинга.

В [3] предложен способ формирования ОСР, основанный на том, что  $n_0$  в межэлектродном промежутке (МП) создается за счет его заполнения при подаче на электроды импульса напряжения с затянутым фронтом электронами, эмиттированными из плазмы возбужденного на катоде вспомогательного разряда (ВР). В результате к моменту зажигания ОСР электрическое поле  $E$  в МП усиливается вблизи центра анода и многократно снижается у катода [3, 6]. Применение такого способа позволило получить ОСР в МП до 60 см [4], а также использовать компактные, непрофилированные плоские электроды [3-6].

Характерным условием реализации ОСР в данных системах [3-6] является введение в рабочую смесь ЛВ (триэтиламин (ТЭА), трипропиламин), способных эффективно понижаться в процессе Пеннинга [2]. В то же время [5] традиционная роль ЛВ на предразрядной стадии ОСР, связанная с увеличением  $n_0$  за счет фотоионизации примеси, оказывается в этих случаях несущественной.

Цель работы состоит в изучении степени и механизмов влияния ЛВ на предразрядную стадию формирования ОСР в условиях [3-6], когда фотоионизация незначительна.

Для определения степени влияния ЛВ на формирование ОСР было изучено распределение тока объемного разряда по поверхности анода в зависимости от парциального давления  $P_{ТЭА}$  триэтиламина. Как показано в [5, 6], подобное распределение достаточно полно отражает интенсивность предразрядных процессов в данных системах.

В качестве ВР использовался барьерный разряд [5]. Величина МП 10—30 см. Источник накачки — генератор Аркадьева—Маркса [4] с разрядной емкостью 0.025 мкФ. Длительность фронта импульса напряжения 5—10 мкс.

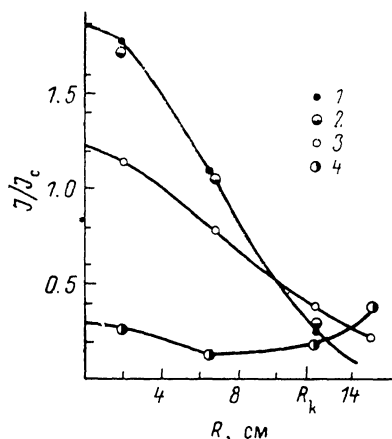


Рис. 1. Распределение плотности тока ОСР по поверхности анода.

$\text{CO}_2 : \text{N}_2 = 1 : 1$ , 0.3 атм, МП=20 см.  $P_{ТЭА}$ , мм рт. ст.: 1 — 1.3, 2 — 0.8, 3 — 0.25, 4 — < 0.01.

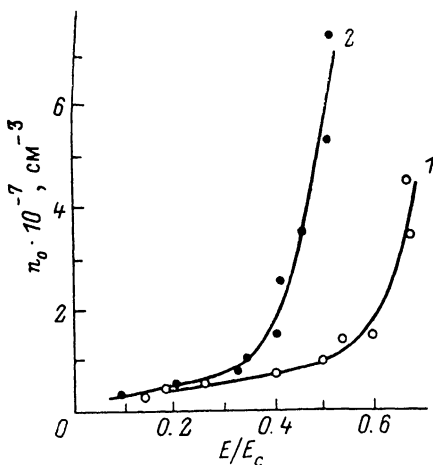


Рис. 2. Зависимость  $n_0$  от величины  $E$  в МП.

$\text{CO}_2 : \text{N}_2 = 1 : 1$ , 0.3 атм, МП=8 см.  $P_{ТЭА}$ , мм рт. ст.: 1 — < 0.01, 2 — 0.9;  $E_c$ , кВ/см: 1 — 9.7, 2 — 7.9.

Применены дисковые электроды: катод радиусом  $R_k = 10.5$  см, закругленный по краям  $R_k = 0.5$  см, анод соответственно 23 и 1.5 см.

Анод разделен на концентрические, изолированные друг от друга секции, величина тока через которые измерялась активными шунтами.

На рис. 1 приведены результаты измерений для плоской части анода при МП=20 см. По оси абсцисс отложено отношение плотности  $J$  тока на данном участке анода к средней плотности  $J_c$  тока, которая определялась как отношение суммарного тока ОСР к площади катода. Кривая 4 соответствует условиям [2], когда ЛВ специально не вводились. В кювете присутствовали пары ТЭА, оставшиеся от предыдущих напусков.

При  $P_{ТЭА} < 0.01$  мм рт. ст. основной ток ОСР распределен по краям электродов. На периферии катода в этом случае появлялись незавершенные каналы, переходящие в дугу при уменьшении интенсивности ВР. При увеличении  $P_{ТЭА}$  происходит вытеснение тока ОСР с периферии на центральную однородную часть электродов, что приводит к существенному повышению устойчивости ОСР. С увеличением МП данный эффект проявляется все более выражено.

По-видимому, наблюдаемое перераспределение тока ОСР обусловлено тем, что по мере увеличения  $P_{ЛВ}$  возрастает степень усиления поля вблизи центра анода к моменту зажигания объемного разряда. Косвенно этот вывод подтверждается следующим: величина напряжения на МП в момент зажигания ОСР при  $P_{ТЭА} = 0.8$  мм рт. ст. в 1.6 раза ниже, чем при  $P_{ТЭА} < 0.01$  мм рт. ст., хотя разница между градиентами  $E_c$  статического пробоя в однородном поле при МП=1 см составляет в этом случае всего 20%. Очевидно, что повышение сте-

пени усиления  $E$  может быть обусловлено существенным увеличением  $n_0$  в смесях с большими концентрациями ЛВ.

Для установления влияния  $P_{ЛВ}$  на  $n_0$  определялась величина  $n_0$  вблизи анода в зависимости от уровня  $E$  в МП. С этой целью на расстоянии 1 см от поверхности анода натягивалась металлическая сетка, на которую относительно анода приложен отрицательный потенциал. Между анодом и катодом включалось постоянное поле  $E$ . При включении ВР спустя некоторое время, равное времени дрейфа электронов через МП, в цепи сетка—анод регистрировался импульс тока, по которому оценивался  $n_0$ . Прозрачность сетки для дрейфующих электронов в зависимости от соотношения величин  $E$  в МП и в промежутке сетка—анод определялась в предварительных калибровочных экспериментах. Для уменьшения влияния эмиттированных носителей заряда на распределение поля в МП интенсивность и длительность работы ВР уменьшалась в несколько раз по сравнению с режимами, необходимыми для реализации ОСР. Величина  $E$  в МП изменялась от 0 до уровней порядка  $0.6E_c$ . Результаты измерений по данным, полученным с центральной секции анода, приведены на рис. 2.

При малых  $E$  значения  $n_0$  примерно одинаковы как для  $P_{ТЭА} < 0.01$  мм рт. ст., так и для  $P_{ТЭА} = 0.9$  мм рт. ст. Это позволяет сделать утверждение о независимости эмиттирующей способности ВР от  $P_{ЛВ}$ . Величины  $n_0$ , полученные в этой области значений  $E$  для режимов с нормальной интенсивностью ВР, соответствуют рассчитанным по [3] для подобных условий.

С дальнейшим повышением  $E$   $n_0$  резко увеличивается, что, вероятно, обусловлено превышением скорости ионизации ЛВ дрейфующими в МП электронами над потерями, связанными с прилипанием. Значение  $E/E_c$ , при котором наблюдается увеличение  $n_0$ , значительно меньше в смеси с большей концентрацией ЛВ. Очевидно, что введение ЛВ приводит к существенному расширению диапазона  $\Delta$  значений  $E$ , меньших, чем величины  $E_c$ , при которых размножение дрейфующих в газе электронов значительно превосходит потери на прилипание. В результате при неизменной эмиттирующей способности ВР в смесях с добавками ТЭА по сравнению с «чистыми» газами увеличивается  $n_0$  и, следовательно, степень искажения  $E$  в МП на предразрядной стадии.

Расширение диапазона  $\Delta$  при введении ЛВ подобного типа в смесь позволяет эффективно применять режим заполнения МП эмиттированными из ВР электронами в газах с большим коэффициентом прилипания. Вероятно, этим и объясняется возможность реализации ОСР в воздухе с добавками ТЭА, отмеченная в [3].

Основные изменения в распределении тока ОСР наблюдались в проведенных экспериментах при увеличении  $P_{ТЭА}$  от 0 до некоторого значения  $P'_{ТЭА}$ , величина которого зависит от соотношения  $CO_2$  и  $N_2$  в смеси и соответствует условию, сформулированному в [2]:  $\tau_{ЛВ} < \tau_T$ , где  $\tau_{ЛВ} \sim 1/P_{ЛВ}$  — характерное время процесса Пеннинга,  $\tau_T$  — характерное время дезактивации метастабилей азота молекулами основных компонент смеси. Дальнейший рост  $P_{ЛВ} > P'_{ЛВ}$  не приводит к заметным изменениям в характере ОСР. По-видимому, процесс Пеннинга является основным механизмом ионизации подобных типов ЛВ на предразрядной стадии.

Таким образом, в настоящей работе показано, что добавка в рабочую смесь ЛВ с концентрацией, определяемой условием  $\tau_{ЛВ} < \tau_T$ , является одним из основных факторов, позволяющих формировать устойчивый ОСР в дециметровых промежутках с непрофилированными электродами, в условиях, когда начальная электронная концентрация создается путем заполнения МП электронами, эмиттированными из ВР, расположенного на катоде.

### Литература

- [1] Вьонг Н. Т., Пузевич З. // Квант. электр. 1982. Т. 9. Вып. 1. С. 147—149.
- [2] Аполлонов В. В., Бункин Ф. В., Державин С. И. и др. // Квант. электр. 1979. Т. 6. Вып. 6. С. 1176—1184.
- [3] Аполлонов В. В., Байцур Г. Г., Прохоров А. М., Фирсов К. Н. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 20. С. 1262—1265.
- [4] Аполлонов В. В., Байцур Г. Г., Кудабаяв Б. Б. и др. // Квантовая электрон. 1987. Т. 14. Вып. 11. С. 2139—2140.
- [5] Аполлонов В. В., Байцур Г. Г., Прохоров А. М., Фирсов К. Н. // Квант. электр. 1986. Т. 13. Вып. 12. С. 2538—2539.
- [6] Аполлонов В. В., Байцур Г. Г., Прохоров А. М., Фирсов К. Н. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 9. С. 558—562.

Научно-исследовательский институт высоких напряжений при Томском политехническом институте им. С. М. Кирова

Поступило в Редакцию  
16 февраля 1988 г.