

СВЯЗЬ ДЛИТЕЛЬНОСТИ УСТОЙЧИВОГО ГОРЕНИЯ
ОБЪЕМНОГО САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА
В РАБОЧИХ СМЕСЯХ CO_2 ЛАЗЕРА
С НАСЕЛЕННОСТЬЮ МЕТАСТАБИЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ $A^3\Sigma_u^+$ АЗОТА

А.В. Ермаченко, В.И. Лозовой,
Н.А. Распопов, С.К. Семенов,
К.Н. Фирсов

Одним из наиболее вероятных механизмов, ограничивающих длительность объемной фазы разряда в рабочих смесях CO_2 лазеров с большим содержанием азота, является неустойчивость, обусловленная ступенчатой ионизацией N_2 через метастабильные электронные состояния [1-4]. Именно на такой механизм указывают результаты [4], где наблюдалось увеличение длительности устойчивого горения объемного самостоятельного разряда (ОСР) при добавлении в N_2 легкоионизируемых веществ (ЛВ) и других примесей (N_2 , CO_2 , O_2), способных изменять функцию распределения электронов по энергии (ЛВ), эффективно тушащих электронные состояния N_2 (NH_3) или частично компенсирующих образование электронов в процессе ступенчатой ионизации прилипанием (O_2). Однако при относительно низких концентрациях электронов в плазме ОСР ($n_e \lesssim 10^{12} \text{ см}^{-3}$), характерных для условий [4], вклад ступенчатой ионизации N_2 в ионизационный поток в столбе ОСР не превышает 10%, поэтому влияние данного процесса на развитие неустойчивости может проявляться лишь в увеличении скорости прорастания искрового канала, в головке которого величина n_e значительно больше, чем в столбе ОСР. Изменение скорости прорастания искрового канала при добавлении в N_2 различных примесей должно коррелировать с изменением характера кинетических процессов в плазме столба ОСР. Поэтому представляет интерес установить связь скорости развития искрового канала и длительности устойчивого горения ОСР с населенностью электронных уровней N_2 , что и являлось основной целью настоящей работы.

1. Динамика контракции ОСР в N_2 с различными примесями исследовалась при квазипостоянной мощности накачки (в условиях, аналогичных [4]) посредством фотографирования разрядной зоны электроннооптической камерой в режиме покадровой съемки. Было установлено, что в отличие от [5] катодные пятна, из которых начинают развиваться искровые каналы (анодонаправленные) в условиях настоящего эксперимента образуются непосредственно с момента зажигания столба ОСР ($n_e \approx 10^{10} \text{ см}^{-3}$). При достижении каналом критической длины, $L_k \approx 1/3 d$ (d - величина межэлектродного расстояния), со стороны анода со значительно большей скоростью начинает прорастать встречный канал (катодонаправ-

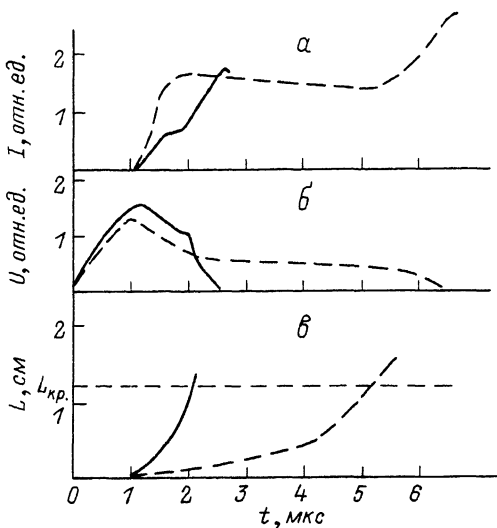


Рис. 1. а) Осциллограммы импульсов тока (1) ОСР в чистом N_2 и N_2 с добавками 1.2 Торр (ТЭА) (пунктир); б) осциллограммы импульсов напряжения (U) ОСР в чистом N_2 и N_2 с добавками 1.2 Торр ТЭА (пунктир); в) зависимость длины канала (L) от времени (t) для чистого N_2 и с добавками ТЭА (пунктир).

ленный), что сопровождается уменьшением напряжения на промежутке и ростом тока по отношению к своим квазистационарным значениям.

На рис. 1 (а-в) представлены типичные осциллограммы тока и напряжения ОСР в N_2 , а также зависимости длины анодонаправленного канала L от времени (пунктир - с добавками ЛВ триэтиламина). Видно, что скорость роста канала в течение всего времени его развития при добавлении в N_2 ЛВ существенно уменьшается. При этом медленнее развивается и катодонаправленный канал. Примеси с другим характером влияния на кинетику газоразрядной плазмы, такие как NH_3 и CO_2 , приводят к заметному уменьшению скорости канала лишь в начальной фазе его развития (до момента достижения каналом длины L_K).

Эти результаты непосредственно свидетельствуют о том, что повышение устойчивости ОСР в N_2 обусловлено изменением кинетики газоразрядной плазмы при добавлении в газ примесей, а не начальной концентрации электронов.

2. С целью экспериментального подтверждения наличия корреляции длительности устойчивого горения ОСР с населенностью электронных уровней N_2 методом внутривибрационной лазерной спектроскопии с временным разрешением 80 нс исследовалась динамика заселения колебательных уровней ($V''=2-8$) метастабильного электронного состояния $A^3\Sigma_u^+$ в N_2 и N_2 с различными

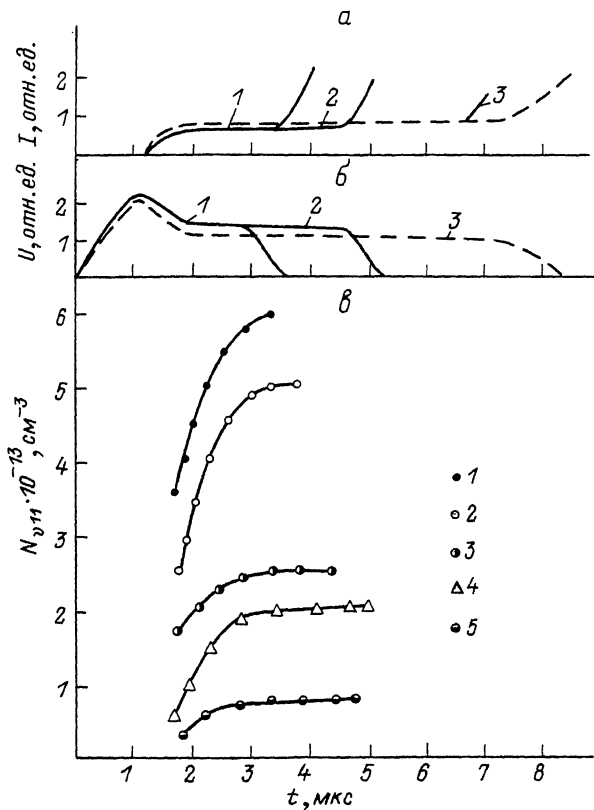


Рис. 2. а) Осциллограммы импульсов тока (1) ОСР при мощности накачки $Q = 20 \frac{\text{МВт}}{\text{л} \cdot \text{атм}}$: 1 - в чистом N_2 , 2 - в $N_2 + 0.3 \text{ Торр } NH_3$, 3 - в $N_2 + 0.3 \text{ Торр ТЭА}$ (пунктир); б) осциллограммы импульсов напряжения (U) ОСР при мощности накачки $Q = 20 \frac{\text{МВт}}{\text{л} \cdot \text{атм}}$: 1 - в чистом N_2 , 2 - в $N_2 + 0.3 \text{ Торр } NH_3$, 3 - в $N_2 + 0.3 \text{ Торр ТЭА}$ (пунктир); в) зависимость населенности $N_{V''=3}$ состояния $A^3 \Sigma_u^+$ от времени в газовых смесях: 1 - N_2 ; 2, 3 - $CO_2 : N_2$ (1: 4) и (1: 4); 4 - $N_2 + 0.3 \text{ Торр } NH_3$; 5 - $CO_2 : N_2$ (1: 4) + 0.3 Торр NH_3 .

примесями. На рис. 2 (а-в) представлены осциллограммы тока и напряжения ОСР в N_2 и N_2 с добавками NH_3 и ЛВ (триэтиламин), а также зависимости населенности $N_{V''}$ уровня $V'' = 3$ состояния $A^3 \Sigma_u^+$ N_2 от времени в различных смесях, снятые при квазипостоянной мощности накачки $Q = 20 \text{ МВт/л} \cdot \text{атм}$. Все добавки приводят к значительному снижению $N_{V''}$ и увеличению длительности устойчивого горения ОСР. Максимальная длительность

устойчивого горения достигается в смеси N_2 с ЛВ. Величина N_V'' в этом случае была ниже порога чувствительности метода внутрирезонаторной спектроскопии ($5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$).

С учетом результатов [4, 6] снижение N_V'' и соответствующее повышение устойчивости ОСР при добавлении к N_2 ЛВ можно интерпретировать, как следствие уменьшения энергии электронов в плазме ОСР из-за изменения функции их распределения по энергии. Поэтому в данном случае ступенчатая ионизация эффективно подавляется даже при высоких значениях n_e , что и проявляется в уменьшении скорости роста искрового канала в течение всего времени его развития.

Основным механизмом снижения N_V'' при добавлении в N_2 NH_3 является столкновительное тушение состояния $A^3\Sigma_u^+ N_2$ [7]. Легко показать, что относительный вклад данного процесса уменьшается с увеличением n_e . Поэтому добавки NH_3 приводят к уменьшению скорости канала лишь при $L < L_K$, когда величина n_e в головке канала еще не слишком велика. Это отражается в более быстром переходе ОСР в контрагированное состояние (время спада напряжения на промежутке от квазистационарного значения до 0) в смеси $N_2 + NH_3$ по сравнению со смесью $N_2 +$ ЛВ при одинаковых концентрациях примеси.

Уменьшение N_V'' в смеси $N_2 + CO_2$ по сравнению с чистым N_2 обусловлено не только столкновительным тушением метастабильного состояния молекулами примеси, но также и перераспределением энергии накачки (из-за большой концентрации CO_2 в смеси). Этот вывод подтверждается измерениями N_V'' в плазме ОСР с короткой длительностью тока ~ 0.8 мкс. При разнице констант скорости тушения уровней $V''=3$ и $V''=6$ молекулами CO_2 на порядок величины [7] наблюдается сравнимое уменьшение их населенностей в смесях $N_2 : CO_2$ по сравнению с чистым N_2 .

Следует отметить, что снижение населенности состояния $A^3\Sigma_u^+ N_2$ при добавлении в N_2 CO_2 коррелирует с увеличением длительности устойчивого горения ОСР лишь при содержании CO_2 в смеси, не превышающем некоторого критического (в зависимости от мощности накачки) [4]. Дальнейшее увеличение доли CO_2 в смеси приводит к снижению устойчивости ОСР при одновременном уменьшении N_V'' , что, по-видимому, связано с изменением механизма развития неустойчивости.

В заключение также отметим, что добавление O_2 в N_2 при концентрациях, когда наблюдается увеличение длительности устойчивого горения ОСР [4], не приводит к изменению N_V'' . По-видимому, в этом случае повышение устойчивости ОСР обусловлено частичной компенсацией ступенчатой ионизации N_2 прилипанием электронов.

Таким образом, в настоящей работе установлена корреляция скорости развития искрового канала в плазме N_2 с различными примесями с населенностью метастабильного состояния $A^3\Sigma_u^+ N_2$ в столбе ОСР. В совокупности результаты [4] и настоящей работы свидетельствуют о том, что наиболее вероятным механизмом,

ограничивающим длительность объемной фазы самостоятельного разряда в N_2 и рабочих смесях CO_2 лазеров с большим его содержанием, является неустойчивость, обусловленная ступенчатой ионизацией N_2 .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Велихов Е.И., Письменный В.Д., Рахимов А.Т. // УФН. 1973. Т. 122. В. 3. С. 419-447.
- [2] Кучинский А.А., Люблин Б.В., Шеврев В.А. // ЖПС. 1986. Т. 45. № 6. С. 364-369.
- [3] Пивовар В.А., Сидорова Т.Д. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 5. С. 519-523.
- [4] Аполлонов В.В., Байцур Г.Г., Прохоров А.М., Семенов С.К., Фирсов К.Н. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 3. С. 553-556.
- [5] Бычков Ю.И., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. и др. Инжекционная газовая электроника. Новосибирск: Наука, 1982, с. 237.
- [6] Аполлонов В.В., Семенов С.К., Фирсов К.Н., Хуснутдинов А.И. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 22. С. 1369-1373.
- [7] Бекефи Дж. Плазма в лазерах. М: Энергоатомиздат, 1982. 242 с.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
18 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
05.1; 05.2; 08

26 марта 1989 г.

О СТРУКТУРНЫХ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПЛЕНОК ОКИСИ ЦИНКА

Н.И. Дьяконова, И.А. Евдосеева,
С.К. Тихонов, С.Э. Хабаров

Поликристаллические текстурированные пленки окиси цинка являются перспективным материалом для пьезоэлектрических преобразователей поверхностных акустических волн (ПАВ). Эффективность таких преобразователей зависит от пьезоэлектрических свойств пленок, которые определяются совершенством структуры пленок.

Традиционным методом ее исследования является рентгенодифрактометрический, а основными структурными характеристиками — угол наклона C -осей кристаллитов относительно нормали к поверхности подложки φ и угол разориентации кристаллитов $\Delta\theta$ [1].