**ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОВОЛНОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В СМЕСИ He –Ne – Sr**

Горбунова Т. М., Солдатов А. Н., Полунин Ю.П., Луговской А.В.

*Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет, Россия, Томск, пр. Ленина 36,* [*general@tic.tsu.ru*](mailto:general@tic.tsu.ru)

Высоковольтные импульсно-периодические лазеры с продольной накачкой, работающие на смесях He(Ne)+Sr, He+Ne+Sr при давлениях буферного газа (30 - 200) Тор и паров стронция (0,1-1,5) Тор, известны, прежде всего, благодаря генерации на линии SrI 6,456 мкм. Генерация на соответствующем ей переходе относится к лазерам на самоограниченных переходах с резонансного уровня на метастабильный, а ее максимальная средняя мощность приближается к 10 Вт. При близких условиях возбуждения разряда наблюдалась также генерация на самоограниченных переходах SrII, λ = 1,03 и 1,09 мкм и HeI, λ = 2,06 мкм [1,2].

Лазеры на самоограниченных переходах работают, как правило, по схеме с накачкой поперечным электрическим разрядом, поскольку эффективность накачки продольным разрядом существенно ниже. Это связано с тем, что при повышении амплитуды напряжения до 30 кВ средняя напряженность электрического поля в разрядном объеме будет намного ниже, чем в схеме с поперечным разрядом, а поскольку частоты возбуждения и ионизации газа экспоненциально зависят от E/p, то и накачка оказывается менее эффективной. С другой стороны, для многих технических и научных применений качество лазерного луча при поперечной накачке оказывается недостаточным и приходится использовать лазеры с продольным возбуждением [3]. Исследуемые в данной работе высоковольтные разряды с продольным возбуждением по устройству газоразрядного источника, по способу создания импульсов напряжения наносекундной длительности и по характеру изменения тока являются стабильными системами, в которых для создания сильно неравновесной плазмы одновременно используется и электронный пучок и электрический разряд. В таких системах вблизи высоковольтного электрода (в нашем случае - катода) зарождаются высокоскоростные волны ионизации (ВВИ), обладающие такими уникальными свойствами, как субсветовая скорость заполнения разрядного промежутка высокоионизованной плазмой и наличие во фронте волны сильных электрических полей и высокоэнергичных («убегающих») электронов [3,4].

Сообщение о получении практически одновременной многоволновой генерации в течении импульса тока (τ~150 нс) на атомах HeI, NeI, SrI, SrII в соответствующей смеси опубликовано в [4]. Исследования проведены с газоразрядной трубкой (ГРТ), разрядный канал которой выполнен из BeO – керамической трубки с внутренним диаметром 2 см и длиной 50 см [5]. Накачка активной среды осуществлялась по схеме прямого разряда накопительного конденсатора при частотах следования импульсного возбуждения ~ 17 – 24 кГц. Линии генерации представлены в таблице 1

Таблица 1.

Спектральные генерационные линии, соответствующие им переходы, энергии верхних и нижних уровней и их обозначения.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № - п/п | Длина волны излучения, нм | *Е*в, эВ | Ен, эВ | Переходы, в обозначениях L-S связи | Переходы, в обозначениях Рака | Переходы, в обозначениях Пашена |
| 1 | 1029,5 NeI | 19,78 | 18,58 | 4s 1P1 - 3p 3D2 | 4s´[1/2]01 - 3p[5/2]2 | 2s2 - 2p8 |
| 2 | 1033,0 SrII | 3,04 | 1,81 | 5p 2P0 3/2 - 4d 2D5/2 |  |  |
| 3 | 1079,8 NeI | 19,78 | 18,61 | 4s 1P1 - 3p 3D1 | 4s´[1/2]01 - 3p[3/2]1 | 2s2 - 2p7 |
| 4 | 1084,4 NeI | 19,78 | 18,64 | 4s 1P1 - 3p 1D2 | 4s´[1/2]01 - 3p[3/2]2 | 2s2 - 2p6 |
| 5 | 1091,4 SrII | 2,96 | 1,84 | 5p 2P01/2 - 4d 2D3/2 |  |  |
| 6 | 1117,7 NeI | 19,66 | 18,56 | 4s 3P2 - 3p 3D3 | 4s[3/2]02 - 3p[5/2]3 | 2s5 -2p9 |
| 7 | 1152,3 NeI | 19,78 | 18,69 | 4s 1P1 - 3p 3P2 | 4s´[1/2]01 - 3p´[3/2]1 | 2s2 - 2p4 |
| 8 | 1176,7 NeI | 19,78 | 18,73 | 4s 1P1 - 3p 3P1 | 4s´[1/2]01 - 3p´[1/2]1 | 2s2 - 2p2 |
| 9 | 1259,4 NeI | 19,69 | 18,69 | 4s 3P1 - 3p 3P1 | 4s[3/2]01 - 3p´[3/2] | 2s4 - 2p4 |
| 10 | 1268,9 NeI | 19,69 | 18,7 | 4s 3P1 - 3p 3P0 | 4s[3/2]01- 3p[1/2]0 | 2s4 - 2p3 |
| 11 | 1288,7 NeI | 19,69 | 18,73 | 4s 3P1 - 3p 3P1 | 4s[3/2]01 - 3p´[1/2]1 | 2s4 - 2p2 |
| 12 | 1523,1 NeI | 19,78 | 18,97 | 4s 1P1 – 3p 1So | 4s´[1/2]01 - 3p´[1/2]0 | 2s2 - 2p1 |
| 13 | 2058,1 HeI | 21,22 | 20,62 | 2p 1P1 – 2s 1S0 |  |  |
| 14 | 2691,5 SrI | 2,26 | 1,8 | 4d 3D2 - 5p 3P01 |  |  |
| 15 | 2922,5 SrI | 2,27 | 1,85 | 4d 3D3 - 5p 3P02 |  |  |
| 16 | 3011,0 SrI | 2,26 | 1,85 | 4d 3D2 - 5p 3P02 |  |  |
| 17 | 6456,0 SrI | 2,69 | 2,5 | 5p 1P01 - 4d 1D2 |  |  |
| 18 | 585,3 NeI | 18,97 | 16,85 | 3p 1S0 - 3s 1P1 | 3p´[1/2]0 - 3s´[1/2]01 | 2p1 - 1s2 |
| 19 | 540,1 NeI | 18,97 | 16,67 | 3p 1So - 3s 3P1 | 3p´[1/2]0 - 3s[3/2]01 | 2p1 - 1s4 |

Примечание к таблице: штрихованные и нештрихованные обозначения в столбце относятся к разным остовам nl=2p5(2P03\2), nl´=2p5(2P01\2)

Исследование He-Sr лазера (без добавления неона) [1,6] показало, что в нем наблюдается генерация только на переходах атома и иона стронция. Генерация на r-m переходе HeI – 2,06 мкм появлялась только при введении в He-Sr смесь неона в соотношении pNe : pHe ~ 1:2 при общем давлении ~ 200 Тор. Пары стронция поступали в разряд при разогреве стенки разрядного канала ГРТ в интервале температур ~ 700 -1100°С , при этом количество паров Sr составляло ~ (0,1-1,5) Тор. Введение неона привело к появлению генерации не только на переходе HeI ~ 2,06 мкм, но и на группе переходов NeI в области ~ 1 мкм.

Средняя мощность генерации на линии SrI – 6,45 мкм составляла 40-50 % от суммарной мощности во всем исследуемом диапазоне изменения температуры разрядного канала ГРТ и достигла значения ~ 4,9 Вт. Начало импульса генерации на линии He-2,06 мкм, также на линиях NeI ~ 1 мкм совпадало с максимумом напряжения на ГРТ (рис.1). Во время генерации на линиях SrI ~ 3 мкм, сдвинутой по времени с началом генерации на линии SrI – 6,45 мкм примерно на 40 мкс, на спаде импульса тока наблюдались визуально также генерация на линии NeI – 585,3 нм (№18 таблицы) и «проблеск» генерации на линии NeI – 540,1 нм (№19 таблицы).

Диагностика плазмы, проведенная в работе [5], показала, что в смеси He(Ne) + Sr при близких внешних параметрах разряда, он начинает развиваться как скользящий вдоль диэлектрической поверхности канала, одновременно продвигаясь к центру ГРТ. Через ~ (50-100 нс) от начала развития разряда наблюдается резкое возрастание тока через промежуток, что соответствует максимуму напряжения, а также появлению генерации. Плазма во время резкого возрастания тока находится в состоянии ионизационной неравновесности и в максимуме напряжения имеет самую высокую температуру электронов (Te ~ 4÷5 эВ)). Максимум Te достигается на значительном расстоянии от стенок ГРТ и в течении импульса тока и напряжения с большей (в гелии) или меньшей (в неоне) скоростью продвигается к центру. Абсолютное значение концентрации электронов (ne) имеет наибольшее значение в максимуме тока (ne ~ 6×1014 см-3). Температура газа (Tг) также меняется с течением времени, оставаясь по абсолютному значению примерно на порядок величины меньше, чем Te. Этот факт определяет появление целой группы генерационных переходов NeI в области ~ 1мкм (рис.2). В рассматриваемой плазме создаются условия благоприятные для формирования инверсной населенности на электронных переходах атомов, а наличие близких уровней, способных перемешиваться между собой за счет атом-атомных столкновений с температурой Tг, возникает генерация на группе уровней [6,7]



Рис.1. Импульс тока, протекающего через ГРТ(1), импульс напряжения на ГРТ(2) и импульс генерации (3).

Рис.2. Распределение заселенностей 3p и 4s-конфигураций уровней неона в режиме генерации. **× -** «центры тяжести» мультиплетов в лазере на смеси He-Ne-Sr (*Tгаза* ~ 0,3 эВ, *Те* ~ 4 эВ).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. А. Н. Солдатов, А. Г. Филонов, А. С. Шумейко и др. *SPIE*. **5483** (2004) 252.
2. А. Н. Солдатов, Н. А. Юдин, Ю. П. Полунин и др. *Изв. вузов. Физика*. №1 (2008) 6.
3. Л. М. Василяк, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев и др. *УФН.* **164**. №3 (1994) 263.
4. А. Н. Ткачев, С. И. Яковленко. *Письма в ЖЭТФ*. **77**.вып. 5 (2003) 264.
5. Т. М. Горбунова, А.Н. Солдатов, А. Г. Филонов. *Изв. вузов. Физика*. №3 (2011) 55.
6. Т. М. Горбунова, А.Н. Солдатов, А. Г. Филонов. *Оптика атмосферы и океана*. **17**, №2-3 (2004) 262.
7. Т. М. Горбунова, Ю. П. Михайличенко, А. М. Янчарина. *Изв. вузов. Физика*. **37**. №12 (1994) 3.