

А.Г. Гриднев, Г.С. Евтушенко, В.М. Климкин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКАЧКИ ПАРОВ СВИНЦА РЕЗОНАНСНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ЛАМПАМИ

Обсуждаются особенности накачки паров свинца резонансными импульсными лампами. Описана применяемая экспериментальная аппаратура. Обсуждается проблема появления паразитных токов смещения при включении резонансной лампы. Обнаружено, что спектр свечения паров свинца сильно отличается от спектра излучения накачивающей резонансной лампы. Некоторые линии, интенсивные в импульсном разряде, в свечении паров не наблюдаются. Другие линии, наоборот, интенсивнее в камере с парами. Появление ионных линий свинца говорит о том, что в облучаемой камере образовалась фоторезонансная плазма.

Введение

Оптическая накачка является классическим методом создания инверсной среды. Примером газовой среды, в которой удачно использовалась оптическая накачка, является смесь паров ртути и азота [1]. В этой смеси за счет ступенчатого возбуждения атомов ртути излучением ртутной лампы и столкновительного девозбуждения состояний ртути в атомно-молекулярных столкновениях с азотом создается инверсия на переходе $7S-6P$ с $\lambda = 546$ нм. Малая эффективность этого лазера обусловлена ступенчатым возбуждением. Учитывая сказанное, целесообразно рассмотреть возможность получения стационарной лазерной генерации за счет оптической накачки на переходах с резонансных уровней ряда металлов на метастабильные, которая легко получается при импульсном возбуждении в газоразрядной плазме.

На этом пути существует несколько проблем. Первая проблема связана с материалом, пригодным для изготовления стенок лазерных кювет и ламп накачки. Он должен быть прозрачен для резонансного излучения при рабочих температурах среды. Вторая проблема связана с возможностями достичь селективного и быстрого столкновительного девозбуждения метастабильных уровней. Существует обширный материал по исследованию сечений тушения метастабильных состояний атомов атомными и молекулярными газами [2], показывающий, что их величины лежат в диапазоне $10^{-16} - 10^{-17}$ см². При таких сечениях для достижения скоростей релаксации около 10^7 с⁻¹ необходимы давления тушащих газов, которые значительно выше атмосферного. Это накладывает жесткие ограничения на механическую прочность кювет.

В связи с этим отметим отсутствие данных по сечениям тушения резонансных уровней, что косвенно указывает на малость и этих сечений. При обычных условиях газового разряда (1–100 Торр) релаксационные процессы в кинетике резонансных уровней незаметны.

Для прогноза перспектив фоторезонансного способа накачки нами исследованы спектры и кинетика излучения паров свинца, возбуждаемых резонансными [3] импульсными лампами.

С этой целью были созданы кюветы для фоторезонансной накачки паров металлов, исследованы различные способы энерговклада в рабочий объем, изучены спектры излучения столба паров свинца в процессе резонансной накачки.

Выбор паров свинца продиктован следующими соображениями: во-первых, это типичный представитель элементов, на которых наблюдается импульсная генерация, во-вторых, кюветы и лампы могут быть изготовлены из кварца.

Импульсный режим позволяет вложить значительные мощности в процессе накачки.

Экспериментальная техника

Для оптического возбуждения свинца использовались кварцевые кюветы с внутренними импульсными лампами; одна из примененных конструкций изображена на рис. 1. Внутри кюветы 4 (труба из кварца) впаяна кварцевая лампа 2 с электродами 1. В лампе 2 имеются отростки для загрузки порций свинца в танталовых капсулах. Такие же капсулы закладывались в кювету. Кювета помещалась во внешнюю печь, температура которой контролировалась хромель-алюмелевой термопарой. Расположение лампы внутри облучаемого объема обеспечивает высокую плотность резонансного излучения вблизи стенки резонансной кварцевой лампы, минимально возможные потери световой энергии и взрывобезопасность работы с кюветой.

Внутреннее расположение имеет и недостатки, в частности температуру импульсной резонансной лампы с навесками свинца (и, следовательно, давление паров) нельзя менять независимо от температуры в кювете, токи смещения, возникающие при работе импульсной лампы, могут ионизовать среду в кювете.

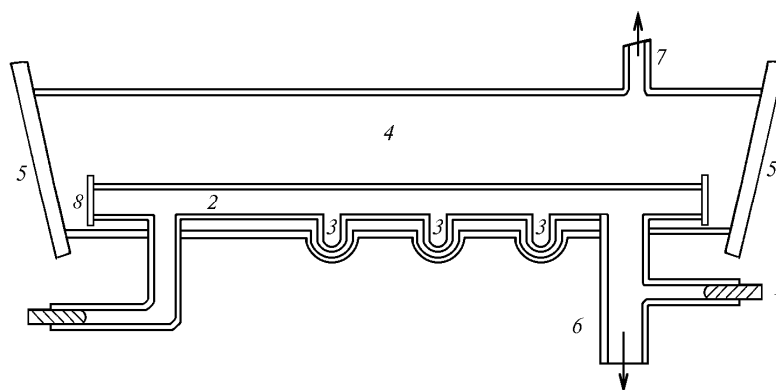


Рис. 1. Кварцевая кювета для оптической резонансной накачки и создания фоторезонансной плазмы в парах свинца: 1 – электроды (лампы); 2 – газоразрядная резонансная импульсная лампа; 3 – отрезки для навесок металла; 4 – освещаемый лампой объем кюветы; 5 – окна кюветы; 6 – откачка из лампы; 7 – откачка из кюветы; 8 – окна лампы

При оптическом возбуждении паров свинца резонансными кварцевыми лампами температура кварцевой кюветы не должна превышать 1000 °С. Так как свинец при рабочих температурах реагирует с кварцевой стенкой, то кварц со временем теряет прочность и разрушается. Стенки лампы покрываются темным налетом, и пропускание резонансного излучения уменьшается.

Импульсная разрядная цепь питания ламп состояла из источника высокого напряжения 0–30 кВ, зарядного сопротивления и накопительного конденсатора (применялись конденсаторы емкостью от 1500 пФ до 0,1 мкФ). Разрядная цепь коммутировалась двумя последовательно соединенными разрядниками РУ-62 с суммарным напряжением самопробоя 22 кВ; оно дискретно регулировалось при шунтировании одного из разрядников конденсаторами различной емкости. Разрядники работали в режиме самопробоя.

В нагретые до рабочей температуры лампу и кювету отдельно набирались определенные газовые смеси, после чего зажигался импульсно-периодический разряд с частотой 10–20 Гц. В качестве буферных газов использовались гелий, неон и гелий-неоновые смеси. Как правило, давление буферного газа в кювете значительно превышало давление газа в резонансной лампе с импульсно-периодическим разрядом. Давление газа в кювете (при рабочих температурах) достигало 0,9 атм.

Излучающая часть кюветы имела длину 30 см и располагалась в 250 см от щели монохроматора МДР-23. Наблюдение велось с торца.

Результаты и обсуждение

Особого обсуждения требует возможность зажигания токами смещения паразитного разряда в камере при работе импульсной резонансной лампы. Паразитный разряд, развиваясь в фоторезонансной плазме, возникающей при облучении смеси пар металла – инертный газ резонансным излучением лампы, способен исказить картину физических процессов в плазме. Были проведены эксперименты по вы-

явлению такой возможности. В лампу 2 набирался гелий, а в кювету 4 неон. Оказалось, что при низких давлениях неона в кювете возбуждается разряд. Его хорошо было заметно по красноватому свечению неона. При повышении давления он исчезал. Свечение было локализовано вблизи (наружной) стенки импульсной резонансной лампы 2. Наличие либо отсутствие паразитного разряда в камере, как показали эксперименты, может быть надежно установлено по месту локализации свечения, по его виду и по различиям в спектре разряда в трубке и оптически возбужденной флуоресценции паров свинца в камере. В работе приводятся результаты, полученные только при тех условиях, при которых паразитное свечение, вызванное токами смещения, не наблюдалось.

Для проверки возможностей источника импульсного питания резонансной лампы в ней была получена генерация на линии атома свинца с длиной волны 722,9 нм. При визуальном наблюдении свечение столба паров свинца в кювете 4, облучаемой резонансным излучением импульсной лампы 2, было чистого голубого цвета, высокой прозрачности и однородности. В отличие от кюветы, плазма в разрядной лампе 2 в значительной степени непрозрачна.

Интересно, что в кювете при этих же условиях генерация на линии свинца 722,9 нм не наблюдалась. Практически отсутствовало даже спонтанное излучение на этой линии. Визуальные отличия вида свечения в разрядной трубке и камере нашли свое подтверждение в зафиксированных при помощи ФЭУ и осциллографа отличиях соответствующих спектров спонтанного излучения. Регистрировались сначала импульсы суммарного излучения из кюветы и лампы, затем только из кюветы. (Для того чтобы получить интенсивность резонансного излучения на конкретной линии из лампы в определенный момент времени, следует из интенсивности суммарного спектра вычесть интенсивность излучения из кюветы.)

Спектральный состав излучения кюветы сопоставлялся со спектром, излучаемым резонансной лампой. При этом были установлены следующие особенности в излучении кюветы.

Некоторых линий, достаточно интенсивных в разрядной лампе (в их числе линию 722,9 нм), в кювете обнаружить не удалось. Длительность импульсов излучения спектральных линий в кювете была несколько меньше, чем длительность импульсов в лампе. Соотношение интенсивностей одних и тех же линий в кювете и в лампе может быть самым разным: одни линии интенсивнее в кювете, другие в лампе. Есть линии с примерно равными интенсивностями в кювете и в лампе.

На рис. 2 и 3 показаны осциллограммы импульсов спонтанного излучения свинца из кюветы (сплошная линия) и импульсов суммарного излучения из кюветы и из лампы (штриховая). Излучение на линии 205,3 нм PbI, как видно из рис. 2, почти целиком определяется излучением из кюветы. Линия 406,2 нм PbI в начале импульса имеет почти равную интенсивность в кювете и в трубке, а затем излучение из кюветы преобладает.

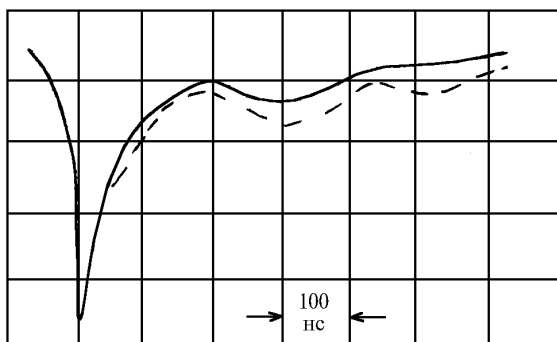


Рис. 2. Осциллограммы импульсов спонтанного излучения на линии 205,3 нм атома свинца. 100 нс/дел. Сплошная линия – излучение из кюветы, прерывистая – суммарное излучение из кюветы и лампы. Прибор на рис. 1. Напряжение зарядки 22 кВ, емкость накопительного конденсатора 1600 пФ. Температура стенок 866 °С. При рабочей температуре давление гелия в кювете 0,5 атм, давление неона в лампе 75 Торр

В системе, подобной изображенной на рис. 1, может действовать ряд сложных механизмов возбуждения, перераспределения энергии ионизации и релаксации. Поглощение слоем невозбужденных паров на периферии кюветы может существенно ослаблять линии резонансного излучения из кюветы.

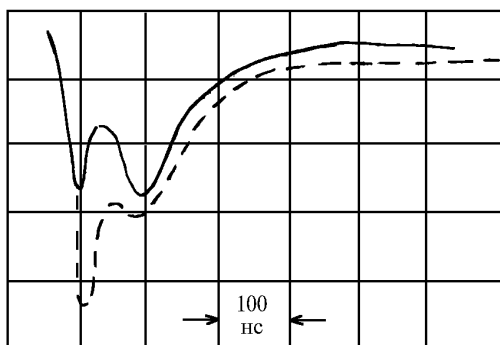


Рис. 3. Осциллограммы импульсов спонтанного излучения на линии 406,2 нм атома свинца. Условия и обозначения см. на рис. 2

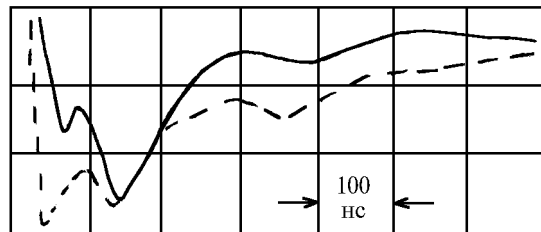


Рис. 4. Осциллограммы импульсов спонтанного излучения на линии 537,2 нм иона свинца. Условия и обозначения см. на рис. 2

Наличие сильных ионных линий, например линии 537,2 нм PbII (рис. 4) в кювете, говорит о том, что в ней образуется фоторезонансная плазма [4, 5]. Процесс образования плазмы нарушает селективность оптического возбуждения. Однако по результатам наблюдений осциллограмм спектральных линий спонтанного излучения (в частности, линии 722,9 нм) можно сделать вывод, что столкновительное перемешивание уровней и возбуждение электронным ударом выражены слабо и, следовательно, концентрация электронов (и их температура) невелика. При тех температурах, которые применялись в наших экспериментах, плотность атомов свинца достигает величины $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Малая длительность накачивающего импульса резонансного излучения (300–600 нс по основанию) тоже не способствует достижению высоких плотностей электронов. Далее излучение из резонансной лампы небольшого диаметра (около 0,8 см) облучает объем кюветы с диаметром 3 см, ввиду чего плотность вложенной в поглощающую среду энергии уменьшается по сравнению с плотностью энергии в лампе.

Форма импульсов спонтанного излучения спектральных линий из камеры сильно реагирует (при одной и той же температуре газоразрядного прибора и одинаковых напряжениях зарядки, емкости и составе газовой среды в трубке) на давление и состав газовой среды в камере. Сильная изменчивость спектра излучения и многофакторный характер эксперимента делают выбор условий проведения эксперимента существенно неоднозначным.

Выводы

1. Из сравнения импульсов спонтанного излучения одних и тех же спектральных линий свинца видно, что в среду из паров свинца и инертных газов в кювете вкачивается заметная доля резонансного излучения импульсно-периодического газового разряда в лампе. Эффективность импульсной накачки выбранной спектральной линии резонансным излучением может оказаться сравнимой с эффективностью накачки в газовом разряде или даже превосходить ее.

2. При резонансном импульсном многолинейчатом оптическом возбуждении среды из паров

свинца и инертного газа в кювете вплоть до давлений 0,9 атм образуется фоторезонансная плазма.

3. Распределение энергии по спектру в камере сильно отличается от такого же распределения в накачивающей лампе и меняется при изменении рода и давления буферного газа в камере. Это говорит о сильных различиях в механизмах возбуждения уровней атомов и ионов в смеси пар – буферный газ, облучаемой резонансным светом, и в импульсном разряде в накачивающей лампе.

4. Сильная изменчивость спектра излучения в кювете при варьировании условий эксперимента позволяет надеяться на получение среды с лучшим

управлением параметрами, чем газоразрядная плазма.

1. *Djeu N., Burnham R.* // *Appl. Phys. Lett.* 1974. V. 25. N 6. P. 350–351.
2. *Schlie L.A., Jusinski L.E., Rathge R.D., Hamil R.A. and Drummond* // *J. Chem. Phys.* 1980. V. 72. N 8. P. 4548–4561.
3. *Митчелл А. и Земанский М.* Резонансное излучение и возбужденные атомы. М.; Л.: Объедин. научн.-техн. изд. НКТП СССР, 1937. 286 с.
4. *Бетеров И.М., Елецкий А.В., Смирнов Б.М.* // *УФН.* 1988. Т. 155. Вып. 2. С. 265–298.
5. *Гриднев А.Г.* Особенности применения фоторезонансной плазмы в качестве активной среды лазеров. Томск, 1997. 77 с. Деп. в ВИНТИ 24.04.97. N 1306–В97.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
5 ноября 1997 г.

A.G. Gridnev, G.S. Evtushenko, V.M. Klimkin. **Experimental Peculiarities of Lead Vapors Pumping by Resonance Pulse Lamps.**

Peculiarities of lead vapors pumping by resonance pulse lamps are discussed in the paper. The used experimental instrumentation is described. The problem of appearance of spurious bias current at the resonance lamp switching on is treated. It is found that the spectrum of the lead vapors glow differs significantly from that of radiation of the pumping resonance lamp. Some lines, which are intense in the pulse discharge, are not observable in the vapors glow. Other lines, on the contrary, are more intense in the vapor chamber. An appearance of ion lines of the lead testifies to formation of photoresonance plasma in irradiated chamber.