

РЕВЕРСИВНЫЙ ИСТОЧНИК НВг ДЛЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

© 2013 г. А. Г. Филонов, Д. В. Шиянов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Россия, 634021, Томск, пл. Академика Зуева, 1

E-mail: qel@asd.iao.ru

Поступила в редакцию 16.05.2012 г.

Описаны устройство и работа реверсивного источника НВг на основе цеолита для лазера на парах бромида меди. Пористый цеолит поглощает или выделяет газообразный НВг в зависимости от температуры, что позволяет эффективно регулировать давление компоненты НВг в активной среде лазера. Приведен график зависимости давления добавки от температуры в исходно пустом рабочем объеме и при давлениях буферного газа Ne 30 и 60 Торр. Показана в динамике работа прибора в реверсивном режиме.

DOI: 10.7868/S0032816213020195

ВВЕДЕНИЕ

В ряде работ [1, 2] показано, что добавка НВг в рабочий объем лазера на парах бромида меди приводит к почти таким же результатам, как и добавка водорода: возрастает мощность генерации и эффективность работы лазера. Предполагается, что положительное действие водорода обусловлено появлением в разрядном объеме молекул бромистого водорода с последующим диссоциативным прилипанием к ним остаточных межимпульсных электронов [3]. Преимущество использования добавки НВг заключается в том, что при этом можно пользоваться реверсивным источником примеси [4], в то время как в условиях работы лазеров на парах бромида меди работа реверсивного источника водорода затруднена. В качестве примера можно привести разработку источника водорода, поддерживающего его давление на заданном уровне [5], в котором естественная убыль H_2 компенсируется специальным устройством. Естественная убыль водорода не контролируется, а компенсирующее устройство настроено на заданное заранее значение давления водорода. Реверсивный источник НВг позволяет оперативно подстраивать давление добавки на оптимальном уровне, при котором мощность генерации максимальна при заданной вводимой в разряд мощности. Это существенно удобнее при эксплуатации лазеров на парах металлов. Использование реверсивного источника НВг позволило разработать эффективный лазер на парах бромида меди [6]. Исследования влияния дозы добавки на характеристики лазера в работах [7, 8] указывают на целесообразность управления ее величиной. В силу этого представляет определенный практический

интерес детально рассмотреть устройство и особенности работы реверсивного источника НВг.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В экспериментальной установке, показанной схематически на рис. 1, газообразный НВг находится в рабочем объеме (РО) емкостью 640 см³, что соответствует емкости небольшой газоразрядной трубки лазера на парах бромида меди. В газоразрядной трубке лазера реверсивный источник НВг располагается в холодной зоне – как правило, в буферном объеме для Ne. Реверсивный источник НВг (РИ) соединен непосредственно с газоразрядной трубкой лазера (оформлен в виде бокового отростка). В нем находится определенное количество активного поглотителя примесного газа – цеолита 13X(NaX) с диаметром пор ~10 Å. Цеолит используется для селективного выделения/поглощения [9] газовой добавки для активной среды лазера. Давление НВг регулируется изменением температуры сосуда с цеолитом. Предполагается, что существует однозначное соответствие между давлением НВг в активной среде и температурой цеолита.

Как показано на рис. 1, в разработанной нами экспериментальной установке к рабочему объему РО присоединен отросток – сосуд, выполненный из оптически чистого плавленого кварца, объемом 29 см³, в котором помещен РИ. Теплоизолятор ТИ поддерживает равномерное распределение температуры по объему сосуда с цеолитом. Температура контролируется с помощью хромель-алюмелевой термопары (ИТ). Блок управления температурой (БУТ) поддерживает температуру реверсивного источника РИ на заданном

уровне. Для измерения давления НВг в рабочем объеме используется дифференциальный манометр (ДМ).

Форвакуумный (ФН) и диффузионный (ДН) насосы позволяют обеспечивать достаточно высокий вакуум на уровне 10^{-3} Торр при прокачке системы. Поскольку рабочее давление НВг в лазере на парах бромида меди составляет порядка 0.5 Торр, это позволяет пренебрегать влиянием дополнительных примесей, присутствующих в цеолите. Перед началом измерений камера совместно с цеолитом предварительно обезгаживалась при температуре 400°C в вакууме 10^{-3} Торр.

Для насыщения цеолита реверсивного источника бромистым водородом рабочий объем РО заполняли парами НВг при давлении 700 Торр из внешнего баллона. Затем вентиль BK_5 закрывали, газообразный НВг начинал интенсивно поглощаться цеолитом, и в результате давление в рабочем объеме падало до нуля. При необходимости увеличения содержания НВг в РИ цикл насыщения можно повторить. Однако, как правило, для длительной работы лазера достаточно одного цикла. В данной статье мы приводим результаты изучения поведения РИ при однократном и двукратном насыщении.

В рабочем состоянии газоразрядная трубка лазера на парах бромида меди заполнена буферным газом Ne при давлении в десятки Торр. При этом давление неона изменяется в довольно широком диапазоне. Поэтому в экспериментальной установке предусмотрено заполнение рабочего объема неоном при заданном давлении. Дифференциальный манометр ДМ позволяет следить за изменением давления в рабочем объеме при введении добавки НВг на фоне заметно более высокого давления буферного газа, что позволяет изучать влияние НВг на среду в рабочем объеме в присутствии буферного газа. Дифференциальный манометр позволял измерять разность давлений с точностью до 0.1 Торр.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Реверсивный источник НВг должен удовлетворять следующим критериям. Во-первых, он должен создавать давление НВг в объеме газоразрядной трубки лазера на парах бромида меди, достаточное для вывода мощности генерации на максимальный уровень. Во-вторых, источник должен позволять управлять величиной создаваемого давления. В-третьих, источник должен способствовать длительной работе лазера. Кроме того, он должен быть застрахован от любых резких изменений давления примеси при возможных резких изменениях температуры. С этой точки зрения мы и оценивали работу реверсивного источника.

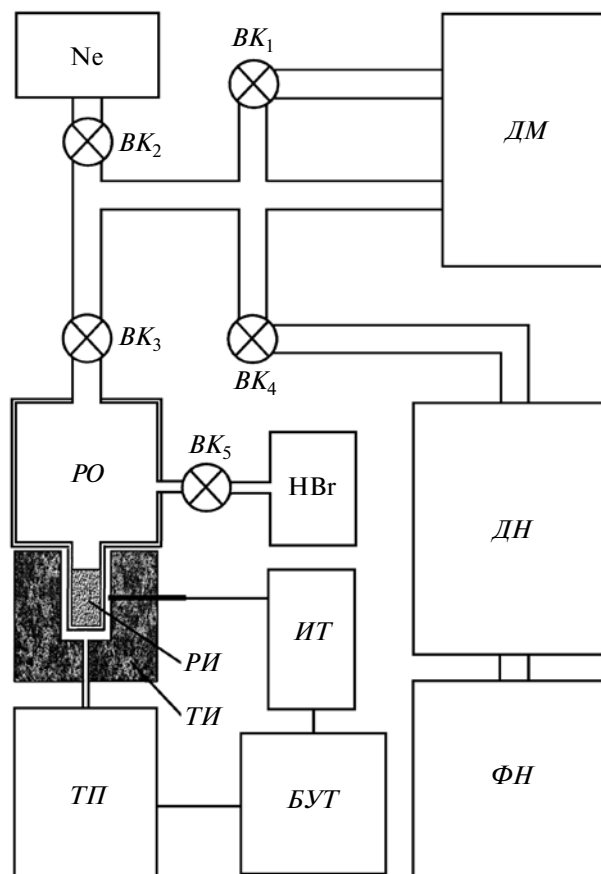


Рис. 1. Экспериментальная установка. ФН – форвакуумный насос; ДН – диффузионный насос; ДМ – дифференциальный манометр; ИТ – измеритель температуры; БУТ – блок управления температурой; ТП – тепловая пушка; РО – рабочий объем; РИ – реверсивный источник НВг; ТИ – теплоизолятор; НВг – баллон с НВг; Ne – источник неона; BK_1 – BK_5 – вакуумные краны.

Подготовка источника к работе (рис. 1) заключалась в следующем. Первоначально рабочий объем через вакуумный кран BK_5 заполняли НВг до давления 700 Торр, после чего кран закрывали. Поглощение НВг цеолитом приводило к тому, что постепенно давление в рабочем объеме падало до нуля (однократное заполнение). После этого систему прокачивали при открытых кранах BK_1 , BK_3 и BK_4 до давления в 10^{-3} Торр при температуре источника НВг 80°C . После достижения указанного вакуума источник НВг считался готовым к работе. Для проверки работоспособности РИ вакуумные краны BK_1 и BK_4 закрывали, а газообразный НВг, выделяемый при нагреве РИ, через открытый кран BK_3 подавали на вход дифференциального манометра ДМ. Для проверки работоспособности РИ в присутствии буферного газа в рабочий объем через кран BK_2 из баллона с Ne напускали буферный газ при заданном давлении.

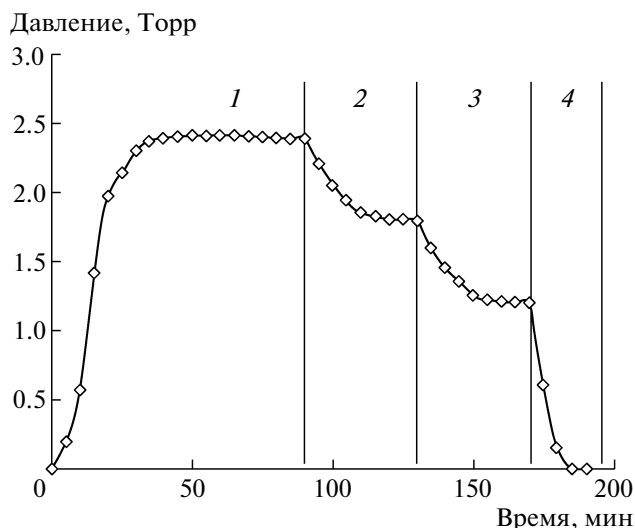


Рис. 2. Изменение парциального давления добавки НВг в рабочем объеме при изменении температуры РИ. Область 1 – выход на рабочее давление при температуре источника $T = 195^\circ\text{C}$; область 2 – переключение температуры РИ со 195 на 180°C , область 3 – переключение температуры РИ со 180 на 165°C , область 4 – отключение нагрева источника НВг.

Известно, что область оптимальных давлений добавки НВг лежит вблизи 0.5 Торр. Соответственно исходя из того, что рабочие объемы трубок в лазерах на парах бромидов меди с добавками существенно больше рабочего объема нашей экспериментальной установки, необходимо рассмотреть работу источника при формировании давления как при указанном давлении, так и при несколько более высоких давлениях.

На рис. 2 показано изменение давления НВг в рабочем объеме при изменении температуры реверсивного источника. При этом первоначально в рабочем объеме был вакуум. Характерным является выход на заданное значение давления за 30–40 мин при постепенном повышении температуры РИ до 195°C . При этом через 20 мин после включения тепловой пушки ТП давление примеси уже находится вблизи рабочего давления. При дальнейшем нагреве через 20 мин формируется установившийся режим, давление практически не изменяется. Видно, как со временем происходит процесс заполнения рабочего объема при повышении температуры и выход на плато (область 1 на рис. 2), а затем понижение давления при ступенчатом снижении температуры РИ (области 2–4). Важным моментом является стабильность удержания заданного давления и воспроизводимость давления при термоциклировании. На графике показан пример удержания заданного давления в течение часа. Однако нужно отметить, что в работе [6] лазер отработал 1500 ч без снижения характеристик, при этом ее авторы неоднократно прово-

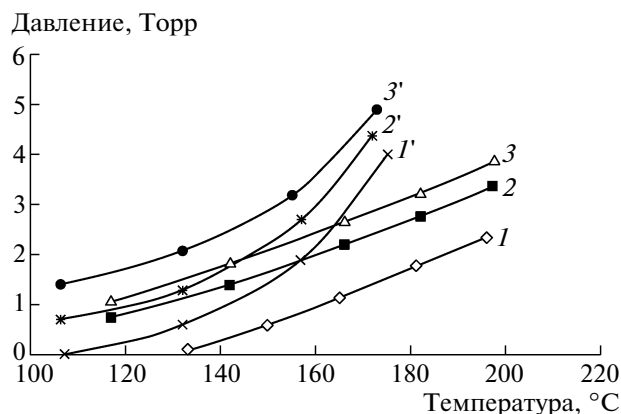


Рис. 3. Зависимость парциального давления НВг в рабочем объеме от температуры источника. 1 – в первоначально вакуумированном объеме; 2 – при наличии буферного газа Ne при давлении $P = 30$ Торр, 3 – при $P = 60$ Торр. 1'–3' описывают зависимости парциального давления добавки НВг от температуры в случае двукратного набора примеси НВг.

дили процедуру отключения и включения (вывода в рабочий режим) с использованием РИ. Таким образом, реверсивные свойства источника бромистого водорода с цеолитовым поглотителем достаточно хорошо выражены.

На рис. 3 представлена зависимость давления НВг от температуры РИ в условиях, когда первоначально в установке был вакуум (кривая 1). Близкая к линейной зависимость $P(T)$ делает прибор удобным в эксплуатации. Видно, что наклон кривой 1 невелик: при изменении температуры РИ на 10°C давление примеси изменяется на 0.4 Торр. Подобное поведение обеспечивает стабильную работу лазера, поскольку исключает сильный выброс добавки при случайных колебаниях температуры. Кроме того, как мы видели, система обладает определенной инерционностью: для стабилизации режима после изменения температуры требуется около 20 мин. На рис. 3 также приведены зависимости парциального давления добавки НВг в атмосфере буферного газа Ne при давлении 30 Торр (кривая 2) и при 60 Торр (кривая 3). Видно, что парциальное давление добавки заметно возросло. Можно предположить, что часть буферного газа при заполнении холодного объема поглощается и затем участвует в работе источника РИ. На это указывает увеличение давления добавки с увеличением давления буферного газа. Наблюдаемое поведение РИ может быть полезно для работы лазера, так что утверждение авторов [1] о том, что реверсивный источник поглощает некоторую часть возникающих в процессе работы примесей (и тем самым увеличивает срок службы активного элемента), в этом случае вполне оправдано. Необходимо отметить, что при работе с буферным газом при давлении 30 Торр результирующее дав-

ление изменяется незначительно (при повышении температуры до 150°C давление возрастает на ~2 Торр) и практически не влияет на работу лазера.

Учитывая возможность использования *РИ* для заполнения лазерных разрядных трубок больших размеров (некоторые газоразрядные трубки имеют длину 3 м и диаметр 60 мм), мы исследовали изменение давления, создаваемого *РИ*, при двукратном заполнении цеолита бромистым водородом. После того, как поглотится вторая порция НВг, реверсивный источник обезгаживается при 80°C при давлении 10⁻³ Торр.

Кривые 1'–3' на рис. 3 показывают зависимость парциального давления НВг при двукратном заполнении источника. Как видно, рабочее давление при этом растет до существенно больших значений, что вполне естественно. Однако в этом случае нелинейные свойства источника *РИ* выражены более явно, что, по-видимому, связано с недостаточно большим рабочим объемом в нашем случае. Обращает на себя внимание то, что и в этом случае в присутствии буферного газа изменение суммарного давления по сравнению с общим давлением мало и соответственно слабо влияет на работу лазера. Нужно отметить, что увеличение давления Ne в два раза привело к одинаковому смещению кривых как в случае двукратного заполнения источника *РИ*, так и в случае однократного заполнения источника НВг.

Уменьшить давление НВг можно откачкой части газообразного НВг из реверсивного источника. Удаление определенного количества НВг не нарушает работоспособности прибора. Возможность снижения давления НВг при заданной температуре конечно же очень удобна, так как это позволяет перейти в режим работы прибора при заданном давлении для конкретного объема газоразрядной трубки лазера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаны особенности работы реверсивного источника НВг на основе цеолита. Изменение

температуры *РИ* позволяет эффективно регулировать давление добавки в активной среде лазера. Приведены результаты измерений зависимости давления в рабочем объеме от температуры работы *РИ* вследствие выделения/поглощения цеолитом газовой добавки НВг. На примере поглощения буферного газа Ne показано, что цеолит в процессе работы источника может поглощать примеси, выделяемые во время работы лазера. Пологий график температурной зависимости давления НВг, характер которой показан на рис. 3, а также достаточно сильная инерция работы источника позволяют избегать резких изменений давления при кратковременных бросках температуры. Показано, что диапазон рабочих давлений можно менять, изменяя количество поглощенного цеолитом НВг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиянов Д.В., Суханов В.Б., Евтушенко Г.С., Андриенко О.С. // Квантовая электроника. 2004. Т. 34. № 7. С. 625.
2. Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010.
3. Земсков К.И., Исаев А.А., Петраш Г.Г. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 7. С. 596.
4. Андриенко О.С., Суханов В.Б., Троицкий В.О. и др. Патент 2295811 РФ. МПК 7 H01S 3/22 // БИПМ. 2007. № 8. С. 438.
5. Бочков В.Д., Гошева-Маразова М., Климовский И.И. // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. № 11. С. 1027.
6. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троицкий В.О. и др. // ПТЭ. 2008. № 6. С. 119.
7. Шиянов Д.В. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2007.
8. Филонов А.Г. // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 7. С. 609.
9. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976.