ЛАЗЕРЫ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ

OPTICALLY PUMPED METAL VAPOR LASERS

УДК 339.54.012

Н.В. Нагибин, магистрант кафедры управления инновациями, Томский Государственный университет, г. Томск

N.V. Nagibin, Graduate Student, Tomsk State University, Tomsk

e-mail: highskill9r@yandex.ru

Аннотация

В последнее время возросла заинтересованность к исследованиям оптической накачки лазеров на парах металлов. В первую очередь, это связано с возможностью повышения, как практического КПД, так и мощности лазера в целом. Целью этого является улучшение энергетических характеристик для практических применений в совершенно разных областях науки и техники. Оптическая накачка газовых лазеров на парах металлов получила менее широкое использование, нежели накачка твердых и жидких сред. Всё это объясняется тем, что твёрдотельные и жидкостные активные среды имеют большие полосы поглощения, по сравнению с газовыми лазерами, и от возбуждающего источника совсем не требуется большой мощности излучения в узкой линии. Однако, ряд ученых исследователей проявляют особый интерес, в наше время, к газовым лазерам с оптической накачкой и считают, что эти лазеры имеют крайне высокие перспективы в будущем.

Annotation

Research has increased interest in the optical pumping of metal vapour lasers. First of all, this is due to the possibility of increasing both practical efficiency and laser power as a whole. The aim of this is to improve energy performance for practical applications

in completely different fields of science and technology. Optical pumping of metal vapor gas lasers has received less widespread use than pumping solid and liquid media. All this is explained by the fact that solid-state and liquid active media have large absorption bands in comparison with gas lasers, and a high radiation power in a narrow line is not required from the exciting source at all. However, a number of scientific researchers are showing particular interest, in our time, to optically pumped gas lasers and believe that these lasers have extremely high prospects in the future.
Ключевые слова: оптическая накачка, поперечная оптическая накачка, коэффициент полезного действия лазера, газовые лазеры, лазеры на парах металлов.

Keywords: optical pumping, transverse optical pumping, coefficient of efficiency, gas lasers, metal vapor lasers.

Практический коэффициент полезного действия (КПД) у газоразрядных лазеров на парах металлов в смесях с инертными газами или водородом, в сочетании со столкновительными механизмами создания инверсий населённости не превышает 1-3 % [1]. Такой факт можно объяснить неселективным характером возбуждения энергетических уровней ионов и атомов в плазме разряда. А использование оптического метода накачки верхних рабочих уровней атомов с сочетанием столкновительного механизма создания инверсии населённости с помощью светодиодов позволит значительно повысить КПД и выходные энергетические характеристики у лазерного излучения.

Инжекционные полупроводниковые лазерные диоды, имеющие квантовый КПД порядка около 60 % и более, можно использовать в качестве источника оптической накачки [2]. Они имеют ряд преимуществ, в отличие от газоразрядных ламп, которые менее эффективны. Именно по этим причинам их можно применять в оптической накачке паров металлов с целью получения лазерных излучений большой мощности с высоким КПД.

Практический КПД у газоразрядных лазеров на парах металлов в смесях с инертными газами или водородом, в сочетании со столкновительными механизмами создания инверсий населённости не превышает 1-3 % [3]. Такой факт можно объяснить неселективным характером возбуждения энергетических уровней ионов и атомов в плазме разряда. А использование оптического метода накачки верхних рабочих уровней атомов с сочетанием столкновительного механизма создания инверсии населённости с помощью светодиодов позволит значительно повысить КПД и выходные энергетические характеристики у лазерного излучения.

В то время, когда появились новые источники оптического излучения, такие как светодиодные лазеры (они имеют крайне высокий КПД), у учёных появилась возможность увеличить эффективность излучения лазеров и их усилителей. Кроме внешних плюсов этих светодиодных лазеров, они имеют достаточно высокую удельную спектральную плотность мощности, имеют и широкий спектр излучения (инфракрасный – вакуумный ультрафиолет). В наше время такие лазеры преобладают на рынке лазерной техники в силу их распространённости в системах оптики. Если взять доступный простой пример, то отличным применением этот лазер послужит во всем известным измерителях скорости. Так же, используется в системах наведения у высокоточных оружий, дальномерах, устройствах воспроизведения информации, дисководах у компьютеров. Благодаря ним было преодолено главное препятствие широкого применения лазеров и лазерной техники – низкий КПД. Проще всего всё просто сравнить в таблице, представленной ниже.

Таблица 1 - КПД Nd:YAG-лазера с оптической накачкой

Активная среда	η, %	η_t, %	η_a, %	η_{pq}, %	η_p, %
Ламповая	43	82	17	59	3,5-10
Светодиодная	50	80	90	82	30

Благодаря этой таблице видно [4], что КПД данного лазера со светодиодной накачкой значительно выше, чем с ламповой. В наши дни перспективны исследования, которые направлены с точки зрения повышения КПД, а это очень важно для развития лазерных технологий.

Высокий КПД – это важнейшее качество, особенно когда мы затрагиваем тему с мощными лазерами. При высоком КПД, у системы в разы уменьшается потребление электроэнергии и количества тепла, которое должно быть удалено с системы охлаждения активной среды лазерной установки. Для маломощных лазеров КПД важен в определенных прикладных областях науки (например, телекоммуникации и лазеры, созданные для космической техники).

При создании лазерных систем, использующих оптическую накачку на основе газоразрядных трубок/ламп, эффективность всей системы будет определяться изменением из электрической энергии в оптическую с наиболее оптимальным для возбуждения верхнего рабочего уровня лазера спектром. При этом, спектр газоразрядной лампы при излучении должен совпадать со спектром поглощения верхних рабочий уровней, или с энергетическими уровнями, которые с ними связаны быстрыми переходами. В отличие от других лазеров, газовые лазеры уникальны своей шириной спектра поглощения линий. У них она очень узкая и определяется доплеровским и лоренцовским уширениями. Из-за этого достаточно сложно к таким лазерам подобрать источник некогерентного излучения, который смог бы с большой легкостью использоваться в оптической накачке.

Для оптической накачки лазера с применением газоразрядной лампы, КПД определяется как отношение минимальной мощности излучения Pmin, которая нужна для того, чтобы создать определенную скорость возбуждения верхнего рабочего уровня, к электрической мощности P, т.е.

$$\eta_p = \frac{P_m}{P}. \qquad (1)$$

Минимальная мощность накачки можно будет представить в следующем виде [4], если распределение скорости накачки будет однородным

$$P_m = \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_p V h\nu_{g2} = W_p N_g V h\nu_{g2}, \quad (2)$$

где N – это населённость основного состояния (уровень 1 или 0) для 3-х или 4-х уровневой системы; $(dN_2/dt)p$ – это плотность числа атомов, V – это объём активной среды.

Исходя из всего этого, мы можем сделать вывод, записав КПД накачки следующий образом:

$$\eta_p = \frac{P_m}{P} = \langle W_p \rangle N_g V \frac{h\nu_{g2}}{P}. \quad (3)$$

Для импульсного лазера:

$$\eta_p = \frac{P_m}{P} = N_g V \frac{h\nu_{g2}}{\int \langle W_p \rangle \frac{dt}{E}}, \quad (4)$$

где интервал времени будет браться в пределе от начала до конца импульса накачки, E – это электрическая энергия, которая подведена к лампе.

Говоря об оптической накачке с мощным оптическим излучением, то, в этом случае, лучше всего подойдет образец с поперечной оптической накачкой продольной среды, показанный на рисунке 1. В целом, интерес к поперечной оптической накачке возник после предложения В.Ф. Крупке [5] использовать лазерные диоды в накачке щелочных металлов. После этого появлялось огромное количество работ по исследованию эффективности такой оптической накачки. Вообще, данная модель позволяет увеличивать объём активной среды за счёт длины трубки, а вся суть конструкции заключается в том, что оптическая накачка производится лазерными диодами, которые расположены на боковых поверхностях трубки в направлении перпендикулярном направлении выходящего излучения щелочного металла.



Рисунок 1 - Схема лазера с поперечной оптической накачкой

Литература

1. Солдатов А.Н., Прокопьев В.Е., Логинов С.С. Перспективы развития столкновительных лазеров на парах металлов с оптической накачкой // Известия высших учебных заведений, Физика. – 2013. – С. 19–32.

2. Беннет В.Р., Гулд Г. // Appl. Opt. Suppl. 2. Chemical Lasers. – 1965. – С. 3–33 и С. 59–67.

3. Солдатов А.Н., Федоров В.Ф., Юдин Н.А. // Квантовая электроника. – 1994. – Т. 21. – № 8. – С. 733–734.

4. Data for the Sustainable Development Goals [Электронный ресурс]. Database. – URL: http://uis.unesco.org/node/334569 (дата обращения: 25.03.2021).

5. Эммет Дж., Крупке У.Ф., Тенхольм Дж.Б., The future of high-power solid-state laser systems // Квантовая электроника. - 1983. - №. 10. - С. 44.

Literature

1. Soldatov A.N., Prokopiev V.E., Loginov S.S. Prospects for the development of optically pumped collisional metal vapor lasers // Bulletin of higher educational institutions, Physics. – 2013. – P. 19–32.

2. Bennett W.R., Gould G. // Appl. Opt. Suppl. 2. Chemical Lasers. – 1965. – P. 3–33 and P. 59–67.

3. Soldatov A.N., Fedorov V.F., Yudin N.A. // Quantum electronics. – 1994. – N. 21. – No. 8. – P. 733–734.

4. Data for the Sustainable Development Goals [Electronic resource]. Database. – URL: http://uis.unesco.org/node/334569 (date of the application: 25.03.2021).
5. Emmett J., Krupke U.F., Trenholm, J.B. The future of high-power solid-state laser systems // Quantum Electronics. - 1983. - No. 10. - P. 44.