

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Болгарская Академия наук
ООО «ЛИТТ»

ИННОВАТИКА-2016

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XII Международной школы-конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
20–22 апреля 2016 г.
г. Томск, Россия**

Под ред. А.Н. Солдатова, С.Л. Минькова

Scientific & Technical Translations



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Томск – 2016

2. Э.А. Соснин: Эксилампы и новое семейство ультрафиолетовых облучателей на их основе // Светотехника, №6, 2006, 25 с.
3. Автаева С.В., Жданова О.С., Пикулев А.А., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Новые направления в научных исследованиях и применении эксиламп. Томск: STT, 2013.
4. Пикулев А.А., Цветков В.М., Соснин Э.А., Панарин В.А., Тарасенко В.Ф. Исследования термодинамических процессов в эксилампах методом скачка давления (обзор) // Приборы и техника эксперимента. 2012. №5. 3–15 с.
5. Пикулев А.А., Цветков В.М. Эффект динамического скачка давления в KrCl-эксилампе барьерного разряда // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 316, № 4. – 132–135 с.

ЛАЗЕР НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ

А.Н. Солдатов, В.Е. Прокопьев, Б.В. Дорошенко, Н.Н. Юдин

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
e-mail: werdikt2@sibmail.com*

THE STRONTIUM VAPOR LASER WITH OPTICAL PUMPING OF THE ACTIVE MEDIUM

A.N. Soldatov, V.E. Prokopiev, B.V. Doroshenko, N.N. Yudin

National Research Tomsk State University

It is proposed to use a three-level scheme with selective optical pumping of the upper laser level and collisional destruction of the lower working levels in the active medium of metal vapor lasers. The radiation of the pump radiation is proposed to use an injection semiconductor laser.

Keywords: strontium vapor laser, optical pumping, transverse optical pumping, longitudinal optical pumping.

Тенденции развития лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов (ЛПМ) показывают, что на сегодняшний день им нет альтернативы в качестве источников видимого излучения в нанотехнологиях, для скоростной прецизионной обработки материалов. Однако расширение областей их использования сдерживается значительной дороговизной лазерного излучения из-за низкой эффективности $\sim 1\%$, что в свою очередь тормозит развитие и прогресс иных областей науки и техники. Соответственно, решение фундаментальной проблемы, связанной с экспериментальным и теоретическим поиском возможностей реализации энергетического потенциала ЛПМ и повышение его эффективности [1, 2] является актуальной задачей.

В связи с этим в последнее время повысился интерес к исследованию лазеров на парах металлов с оптической накачкой. Это связано, с воз-

возможностью повышения практического КПД и мощности лазера, с целью улучшения энергетических характеристик для практических применений в различных областях науки и техники.

Появившиеся в последнее время инжекционные полупроводниковые лазерные диоды с высоким КПД (порядка 60%) с успехом можно применить в качестве источника оптической накачки. Инжекционные лазеры обладают рядом преимуществ по сравнению с газоразрядными лампами, благодаря которым их можно использовать для оптической накачки металлов с целью получения лазерного излучения большой мощности.

Физический принцип действия лазеров на парах металлов с оптической накачкой выглядит следующим образом [3, 4]. Излучение накачки резонансно поглощается на переходе из основного состояния атома металла $n^2S_{1/2}$ в состояние $n^2P_{3/2}$, D_2 -линия (рис. 1).

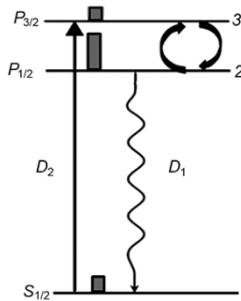


Рис. 1. Схема рабочих уровней и переходов в атомах щелочных металлов с оптической накачкой. Прямой стрелкой обозначен переход под действием накачки, волнистой – лазерный переход, изогнутой – переходы под действием столкновений. Вертикальные столбики показывают относительные заселенности уровней

Принципиальное условие работы лазера достаточно высокое давление буферного газа. Столкновения с частицами буферного газа вызывают переходы между компонентами тонкой структуры $n^2P_{3/2}$ – $n^2P_{1/2}$. Энергетическое расстояние между ними меньше или порядка kTg – энергии теплового движения атомов, поэтому переходы происходят с большой вероятностью. При давлениях буферного газа порядка несколько сотен миллиметров ртутного столба между компонентами тонкой структуры за время меньшее времени жизни успевает установиться равновесное бoльцмановское распределение. Поэтому населенность уровня $n^2P_{1/2}$ оказывается выше заселенности уровня $n^2P_{3/2}$ на бoльцмановский фактор $\exp(\Delta E/kTg)$, где ΔE – энергетическое

расстояние между уровнями. Обеспечивая высокую интенсивность излучения накачки, ведущую к насыщению уровней и выравниванию населенностей основного состояния $n^2S_{1/2}$ и $n^2P_{3/2}$, заселенность уровня $n^2P_{1/2}$ становится выше заселенности основного состояния (на бальцмановский фактор).

Таким образом, на переходе D_1 можно получить условие для лазерной генерации на частоте этого перехода, верхний уровень которого заселяется в результате неупругих столкновительных переходов из возбужденного состояния атома металла, создаваемого в результате оптической накачки с атомами при столкновениях с инертным газом, как правило, атомами гелия. Данная схема накачки обеспечивает высокие энергетические характеристики: КПД лазера и выходную мощность излучения. Например, в работе [5] сообщается о создании лазера с оптической накачкой на парах цезия в смеси с гелием с прокачкой активной среды по замкнутому контуру. При этом мощность излучения лазера составила ~ 1 кВт при эффективности преобразования «свет в свет» $\sim 48\%$. Считая, что КПД инжекционного лазера в красной и ИК-области достигает 50–60%, эффективность передачи порядка 70%, эффективность поглощения около 70–80%, квантовый КПД системы порядка 90%. Если рассматривать четырёхуровневую схему уровней атома Sm, с учётом дополнительных потерь энергии (мощности), связанных с перенаселенностью нижнего лазерного уровня, близкого к основному состоянию, КПД всей системы может достигать 15–20 %.

Лазеры на парах металлов с накачкой инжекционным полупроводниковым лазером, с учётом возможностей масштабирования, претендуют на то, чтобы быть источниками когерентного излучения очень высокой мощности (более 100 кВт [6,7]), которые могут найти широкое применение в различных приложениях.

Очевидно, что инверсию населённости в трёхуровневой схеме можно реализовать в результате как столкновительного заселения верхнего лазерного уровня (как в случае щелочноземельных металлов), так и столкновительного тушения нижнего.

Появляется возможность осуществления оптической накачки паров стронция Sr в смеси с инертными газами или водородом по схеме, показанной на рис. 2. Данная лазерно-активная среда интересна с точки зрения практического применения для лазерной обработки таких материалов как: стекло, глиноземная керамика, кремний, железо. Максимум коэффициента поглощения данных материалов как раз приходится на линии излучения Sr лазера: 6,45 мкм, 3,06 мкм, 3,01 мкм,

2,92 мкм, 2,73 мкм, 2,69 мкм, 2,6 мкм. Поэтому данный лазер может с большой эффективностью использоваться для абляции, скрайбирования и термораскалывания данных материалов.

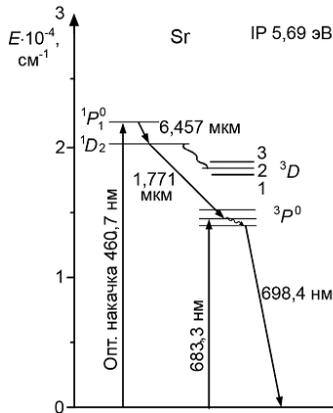


Рис. 2. Схема уровней и переходов для атома Sr в условиях оптической накачки.

Лазер с поперечной оптической накачкой активной среды. После того как В.Ф. Крупье предложил использовать лазерные диоды для накачки щелочных металлов [6], появилось множество работ по исследованию условий эффективной оптической накачки щелочных металлов с помощью лазерных полупроводниковых диодов с различными схемами накачки. Для получения мощного оптического излучения необходима газовая активная лазерная среда большого объема.

Для данной задачи лучшим образом подходит конструкция лазера с поперечной оптической накачкой, представленная на рис.3 [8]. Данная конструкция позволяет увеличивать объем активной среды за счет длины трубки. Суть данной конструкции заключается в том, что оптическая накачка паров металлов, осуществляется лазерными диодами, расположенными на боковой поверхности трубки в направлении перпендикулярном направлению выходящего излучения щелочного металла.



Рис. 3. Принципиальная схема лазера с поперечной оптической накачкой

Лазер на парах цезия с продольной оптической накачкой активной среды. Продольная оптическая накачка была продемонстрирована в работе [4]. Для накачки паров цезия были использованы сборки диодных лазеров в виде линеек. Линейки диодных лазеров были оптически объединены в единый корпус (модуль). В каждом модуле располагалось 15 линеек. Зона свечения представляла собой прямоугольник размером 5×30 мм. Каждый элемент накачки представлял собой четыре модуля лазерных линеек – матрицу. Оптическая система сложения излучения в горизонтальной плоскости позволяла получать суммарную зону свечения от четырех модулей размером 6×120 мм. В горизонтальной плоскости расходимость излучения составляла ~ 3 мрад, а в вертикальной ~ 1 рад. Система ввода излучения в активную среду позволяла формировать в лазерной кювете пучок излучения накачки длиной $L \sim 36$ мм с поперечным размером $\sim 5 \times 4$ мм при мощности излучения на окне лазерной кюветы ~ 350 Вт. Для повышения мощности накачки использовался принцип вертикального перископа. Вертикального сложения излучения от N матриц, расположенных одна над другой. Со второй стороны лазерной кюветы находился такой же источник оптической накачки (рис. 4) [4]. В Данной работе использовался плоскопараллельный резонатор, образованный зеркалами 31 и 32 с коэффициентами отражения $R_1 = 0.35$ и $R_2 = 0.95$ а зеркало 33, использовалось для вывода лазерного излучения. Лазерная кювета объемом 12 см^3 была включена в замкнутую систему прокачки активной среды (суммарный объем системы $\sim 3000 \text{ см}^3$).

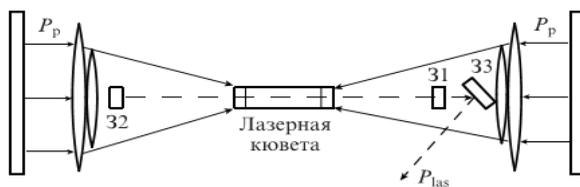


Рис. 4. Схема лазера с продольной оптической накачкой

Лазер на парах стронция с продольной оптической накачкой. Для реализации лазера на парах стронция с оптической накачкой необходимо учитывать, что для получения необходимой плотности паров стронция необходима температура ~ 700 °С. Также необходимо учитывать, что стронций является химически активным элементом, что накладывает определенные ограничения на конструкцию лазерной трубки и к

материалам, используемым для изготовления трубки. Трубка может состоять из керамического канала (изготовленного из керамической бериллиевой ВеО трубки необходимой длины и диаметра), активного вещества, вакуумноплотной оболочки, теплоизолятора и окон для выхода лазерного излучения. Керамический канал заполняется буферным газом гелием или неоном. Поверх разрядного канала помещен омический нагреватель, подключенный к источнику питания, как показано на рис.5. Использование омического нагревателя позволяет разогревать объем активной среды до рабочей температуры. Наличие керамического оптически непрозрачного канала выполненного из непрозрачной ВеО керамики не позволяет использовать схему с поперечной оптической накачкой. В связи с этим предлагается реализация лазера с продольной накачкой паров стронция, как показано на рис. 5.

Выводы

1. Показаны основные преимущества использования инжекционных полупроводниковых лазеров для оптической накачки щелочных металлов перед газоразрядными лампами.
2. Предложено использовать концепцию столкновительных лазеров с оптической накачкой верхних уровней для реализации лазера на парах стронция с оптической накачкой с высоким КПД $\sim 7\%$ и высокой средней мощностью выходного излучения ~ 10 кВт.
3. Предложена конструкция лазера на парах стронция с продольной оптической накачкой.

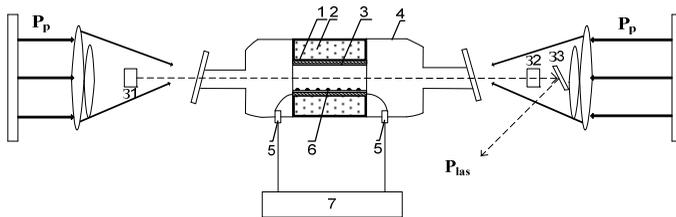


Рис.5. Схема лазера на парах стронция с продольной оптической накачкой: 1 – омический нагреватель; 2 – слой теплоизолятора; 3 – трубка из ВеО керамики; 4 – кварцевый вакуумный кожух; 5 – токовводы; 6 – активное вещество; 7 – источник питания омического нагревателя; 31, 32 – зеркало оптического резонатора; 33 – зеркала, выводящие лазерное излучение; P_p – излучение накачки от сборки лазерных диодов; P_{las} – выходное лазерное излучение.

Литература

1. Петраш Г.Г. Импульсные газоразрядные лазеры // УФН. – 1971. – Т.105. – №4. – С.645–676.

2. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Монография. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. –1985г. – 152 с.
3. Глушко Б.А., Мовсесян М.Е., Овакумян Т.О. // Опт. и спектр. 1982.–Т.52.–С.458.
4. Атутов С.Н., Плеханов А.И., Шалагин А.М. // Опт. и спектр.1984.–Т.56.–С.134.
5. Богачев А.В., Гаранин С.Г., Дудов А.М. и др. // Квантовая электроника. – 2012. – Т. 42. – No 2. – С. 95–98.
6. Krupke W.F et al. //Opt.Lett.–2003.–V.28.–P.2336.
7. Солдатов А.Н., Прокопьев В.Е., Логинов С.С. Перспективы развития столкновительных лазеров на парах металлов с оптической накачкой // Известия вузов. Физика. 2013.– Т.56.–№11 . – С. 19-32.
8. KrupkeWF, U.S. Patent No. 6643311 B2 (2003).
9. Шалагин А.М. Мощные лазеры на парах щелочных металлов диодной накачкой// УФН. – 2011. – Т.181. – №9. – С. 1011–1016.

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА**

В.Г. Евтушенко, С.В. Шидловский

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
e-mail: evtushenko_nika@mail.ru*

**HARDWARE AND SOFTWARE PROCURING OF AUTOMATIC
SYSTEM FOR POSITIONING MOBILE OBJECT**

V.G. Evtushenko, S.V. Shidlovskiy

National Research Tomsk State University

Research identified some serious gaps for flight control system DJI A2. These gaps can be eliminated by refining software of that system. However, the A2 system is completely closed to any changes. A number of found gaps is given in this report and presented variants of solutions.

Keywords: firmware, station-keeping equipment, mobile object, flight controller, multi-rotor platform.

Сейчас мы используем такие технологии, о которых ранее даже не задумывались. Все помнят время, когда начали появляться радиоуправляемые вертолеты. Тогда еще никто не думал, что подобного рода устройство, разработанное для развлечения, может преобразиться до такой степени, что его станут использовать в самых различных областях. Обычный радиоуправляемый вертолет в настоящее время преобразился в мультироторную платформу или, что то же самое, мультикоптер. Применение данным устройствам можно найти самое различное. Так, например, сейчас их активно используют в сельском хозяйстве, в медици-