

Новые возможности трёхвалентных ионов хрома как активных частиц Т. л. проявились в кристаллах алемандрита (BeAl_2O_4). В отличие от кристалла рубина, генерация ионов Cr^{3+} в алемандрите осуществляется не только на бесфоновой линии перехода ${}^2E - {}^4A_2$, но и на электронно-колеб. переходе ${}^4F_2 - {}^4A_2$. При этом Т. л. работает по четырёхуровневой схеме и даёт возможность плавной перестройки длины волны генерации. Типичная область перестройки: 730—803 нм.

Особенностью лазера на кристалле алемандрита является улучшение энергетич. характеристик с нагреванием АЭ выше комнатной темп-ры, что обусловлено ростом с темп-рой величины эфф. сечения генерации. Нагревание АЭ в этом лазере приводит также к расширению диапазона перестройки длины волны генерации в длинноволновую сторону. Лазер на кристалле алемандрита также работает во всех упоминавшихся выше режимах, в т. ч. и в режиме больших ср. мощностей, чему способствует высокая теплопроводность этого кристалла ($\approx 0,23$ Вт/см \cdot К).

Плавную перестройку длины волны генерации обеспечивает лазер на кристалле корунда с титаном ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ti}^{3+}$). Характерная область перестройки: 700—1024 нм. Малость времени жизни возбуждённого состояния Ti^{3+} (≈ 3 мкс) при комнатной темп-ре делает малоэффективной ламповую накачку этого лазера. Накачка $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ti}^{3+}$ -лазера, как правило, осуществляется или непрерывным аргоновым лазером, или импульсами второй гармоники неодимового лазера. При этом эффективность трансформации излучения лазерной накачки в генерацию ионов титана может превышать 20%.

Перестройка длины волны генерации в широком спектральном диапазоне осуществляется в лазерах на центрах окраски (см. *Лазеры на центрах окраски*), к-рые также обычно работают с накачкой др. лазром.

К существ. возрастанию кпд Т. л. привела реализация донорных способностей ионов Cr^{3+} относительно трёхвалентных ионов редкоземельных элементов (см. *Сенсибилизированная люминесценция*) в кристаллах гранатов. Высокая изоморфная ёмкость этих кристаллов в отношении редкоземельных ионов и ионов группы железа допускает введение необходимых концентраций обоих типов частиц без ухудшения оптич. качества кристаллов (см. *Изоморфизм*). Специфика энергетич. структуры ионов Cr^{3+} в кристаллах гранатов обеспечивает полную и быструю передачу энергии из его электронно-колебат. полос на верхние лазерные уровни ионов редкоземельных элементов.

К семейству хромсодержащих гранатов, работающих на осн. переходе неодима в области 1,06 мкм. прежде всего относятся кристаллы гадолиний-скандий-галлиевого (ГСГГ), иттрий-скандий-галлиевого (ИСГГ) и гадолиний-скандий-алюминиевого (ГСАГ) гранатов. Эти кристаллы предназначены для импульсного и импульсно-периодического режимов работы. В лазере на кристалле ГСГГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} в режиме свободной генерации в области накачек 1—3 Дж достигнут кпд $\approx 6\%$. На кристалле ИСГГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} при накачке ≈ 200 Дж абс. кпд достигает 10% в режиме свободной генерации. ИСГГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} -лазер в режиме модуляции добротности и частоте повторения импульсов до 50 с $^{-1}$ обеспечивает абс. кпд $\approx 6\%$ при энергии за импульс $\approx 0,4$ Дж, что ограничивается оптич. прочностью торца АЭ. Длина волны излучения этого лазера (1,058 мкм) хорошо согласуется с контуром усиления фосфатного стекла с неодимом, что позволяет эффективно использовать эту пару в системе: задающий генератор—усилитель. Кристалл ГСАГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} имеет спектрально-люминесцентные свойства, аналогичные свойствам кристаллов ГСГГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} и ИСГГ— Cr^{3+} — Nd^{3+} . При этом величина теплопроводности этого кристалла (0,11 Вт/см \cdot К) приближается к теплопроводности кристалла ИАГ.

Длинноволновая граница эфф. генерации Т. л. с ламповой накачкой (при комнатной темп-ре) ≈ 3 —3,5 мкм. При меньшей энергетич. зазоре вероятность многофоновых безызлучательных переходов оказывается существенно больше вероятности излучения, что обуславливает

малые величины квантового выхода люминесценции и времени жизни возбуждённого состояния. Эта длина волны обеспечивается, напр., переходом ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ ионов эрбия (Er^{3+}). Генерация излучения ионами Er^{3+} при ламповой накачке с кпд, превышающим $\approx 1\%$, получена на кристаллах ИАГ— Er^{3+} и ИСГГ— Cr^{3+} — Er^{3+} . В первом случае длина волны генерации $\lambda_r = 2,94$ мкм; во втором $\lambda_r = 2,79$ мкм. Реализован режим модуляции добротности с частотой повторения импульсов до 100 с $^{-1}$.

Развитие полупроводниковых лазеров сделало перспективным использование их для накачки Т. л. Полупроводниковые лазеры (ПЛ) на основе монокристаллов арсенида галлия путём изменения состава позволяют получать генерацию в области 0,75—1 мкм, что даёт возможность эффективно возбуждать генерацию на ионах Nd^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+} и Yb^{3+} [5]. Накачка излучением ПЛ является близкой к резонансной, что в значит. степени снимает проблему наведённых термич. искажений в АЭ и позволяет относительно легко достигать предельно высокой направленности лазерного пучка. Получена непрерывная генерация на ионах Ho^{3+} ($\lambda_r \approx 2,1$ мкм), Tm^{3+} ($\lambda_r \approx 2,3$ мкм), Er^{3+} ($\lambda_r \approx 2,9$ мкм), а также на разл. переходах ионов Nd^{3+} . Порог генерации по мощности накачки в нек-рых случаях составляет единицы милливольт. Так, напр., порог генерации на ионах Ho^{3+} в кристалле ИАГ— Tm^{3+} — Ho^{3+} равен 4 мВт, а порог генерации на осн. переходе ионов Nd^{3+} в стекле не превышает 2 мВт. На целом ряде кристаллов с неодимом получена генерация второй гармоники. На осн. переходе неодима реализованы режимы модуляции добротности и синхронизации мод. Общий кпд неодимового непрерывного лазера с накачкой излучением ПЛ на длине волны генерации 1,06 мкм достигает 20%.

Т. л. с накачкой ПЛ совмещает в себе достоинства твердотельного и полупроводникового лазеров. По сути дела, активная среда Т. л. является эфф. концентратором излучения ПЛ по спектру, во времени и в пространстве. Ожидается бурное развитие этой области лазеростроения.

Развитие Т. л., работающих в режиме высоких ср. мощностей (субкиловаттный и киловаттный диапазоны), связано с замкнутой цилиндрических АЭ на прямоугольные, в к-рых лазерное излучение проходит, многократно отражаясь от боковых поверхностей АЭ. В этом случае неоднородности разл. природы, наведённые накачкой, оказываются скомпенсированными и слабо влияют на качество выходного пучка.

Применения Т. л. чрезвычайно разнообразны. Это — лазерная технология (сварка, резка и др.), технология электронных приборов, медицина, лазерная локация, системы контроля состава атмосферы, оптич. обработка информации, интегральная и волоконная оптика, лазерная спектроскопия, лазерная диагностика плазмы и управляемый термоядерный синтез, лазерная химия и лазерное разделение изотопов, нелинейная оптика, сверхскоростная фотография, лазерные гироскопы, сейсмографы и другие точные физ. приборы.

Лит.: 1) Справочник по лазерам, пер. с англ., под ред. А. М. Прохорова, т. 1, М., 1978, гл. 11—15; 2) Карлов Н. В., Лекции по квантовой электронике, 2 изд., М., 1988; 3) Прохоров А. М., Новое поколение твердотельных лазеров, «УФН», 1986, т. 148, с. 7; 4) Прохоров А. М., Щербаков И. А., Лазеры на кристаллах редкоземельных гранатов с хромом, «Изв. АН СССР, сер. физ.», 1987, т. 51, № 8, с. 1341; 5) OSA Proceedings on Advanced Solid-State Lasers, February 7—10, 1994 in Salt Lake City, UT, v. 20. И. А. Щербаков.

ТВЁРДЫЕ РАСТВОРЫ — твердотельные двух- или многокомпонентные однородные системы переменного состава (напр., типа A_xB_{1-x}), в к-рых атомы или ионы компонентов, смешиваясь в разл. соотношениях ($0 \leq x \leq 1$), образуют общую кристаллич. решётку, характерную для одного из компонентов. Системы, в состав к-рых входят изоструктурные компоненты, как правило, образуют из-за неогранич. растворимости непрерывный ряд Т. р. Величина x в этом случае не лимитирована (непрерывные, или неограниченные, Т. р.). Область существования т. н. ограниченных Т. р. (растворимость ограничена) на диаграмме состояния имеет пределы по концентрации, зависящие от темп-ры Т.