

рактера, к-рые можно сформулировать в виде граничных условий для f или ρ . При этом из двух возможных решений ур-ния Лиувилля (запаздывающего и опережающего) отбирается лишь запаздывающее решение, к-рое соответствует возрастанию энтропии. Из ур-ния Лиувилля с граничным условием можно найти неравновесный статистич. оператор. Ур-ния теплопроводности и гидродинамики вязкой жидкости получаются при усреднении ур-ний движения для плотности энергии и плотности импульса с неравновесным статистич. оператором. В этих ур-ниях коэф. теплопроводности оканчивается выраженным через временные корреляц. ф-ции потоков тепла, а вязкость — через временные корреляц. ф-ции потоков импульса с помощью Грина — Кубо формул.

Лит. см. при ст. Термодинамика неравновесных процессов и Кинетика физическая. Д. Н. Зубарев.

НЕОБЫКНОВЕННЫЙ ЛУЧ — см. Кристаллооптика.

НЕОДИМ (Neodimium), Nd, — хим. элемент III группы периодич. системы элементов, ат. номер 60, ат. масса 144,24, относится к лантаноидам. В природе предствлен 7 изотопами с массовыми числами 142—146, 148, 150, среди к-рых преобладают ^{142}Nd (27,13%) и ^{144}Nd (23,80%). Изотопы ^{144}Nd и ^{145}Nd слабо радиоактивны, значения $T_{1/2}$ для них равны соответственно $2,1 \cdot 10^{15}$ и св. $6 \cdot 10^{16}$ лет. Электронная конфигурация внешних оболочек $4s^2 p^6 d^{10} f^5 s^2 p^6 s^2$. Энергии последоват. ионизации равны 5,49; 10,72; 22,1; 40,4 эВ. Металлич. радиус 0,182 нм, радиус иона Nd^{3+} 0,099 нм. Значение электроотрицательности 1,07.

Н. — серебристо-белый металл. При темп-рах от комнатной до 885 °C устойчив $\alpha\text{-Nd}$, к-рый имеет двойную гексагональную плотную упаковку с параметрами кристаллич. структуры $a = 0,36579$ и $c = 1,17992$ нм. При 885 °C $\alpha\text{-Nd}$ переходит в $\beta\text{-Nd}$ с объёмноцентриров. кубич. структурой с параметром $a = 0,413$ нм. Плотность $\alpha\text{-Nd}$ 7,007 кг/дм³, $t_{\text{пл}} = 1024$ °C, $t_{\text{кип}} = 3030\text{—}3080$ °C, теплота плавления 7,15 кДж/моль, теплота испарения 271,7 кДж/моль. Коэф. теплопроводности (при темп-рах 26—30 °C) 13 Вт/(м·K), температурный коэф. линейного расширения $6,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Уд. сопротивление $\alpha\text{-Nd}$ $64,3 \times 10^{-2}$ мкОм·м, температурный коэф. электрич. сопротивления 1,64·10⁻³ град⁻¹. Н. парамагнитен, магн. восприимчивость $39,2 \cdot 10^{-6}$. Модуль норм. упругости 38 ГПа, модуль сдвига 14,5 ГПа, предел прочности 136 МПа, твёрдость по Бринеллю 314 МПа (для Nd чистой 99%). В соединениях проявляет степень окисления +3, по хим. свойствам сходен с др. лантаноидами. Металлич. Н. применяется в металлургии как компонент сплава (сплава редкоземельных элементов). Оксид Nd_2O_3 вводят в оптич. стёкла. Н. служит активатором в лазерных материалах. В качестве радиоакт. индикатора обычно используют β -радиоактивный ^{147}Nd ($T_{1/2} = 10,98$ сут).

С. С. Бердников.

НЕОДИМОВЫЙ ЛАЗЕР — лазер, генерирующий оптич. излучение за счёт квантовых переходов между энергетич. состояниями трёхвалентных ионов Nd^{3+} , помещённых в конденсиров. среду (матрицу), напр. диэлектрич. кристаллы и стёкла, полупроводники, металлоорганич. или неорганич. жидкости. Концентрация Nd^{3+} , вводимых в матрицу, ограничена эффектом центрац. тушения люминесценции и обычно $\sim 1\text{—}3 \times 10^{20}$ см⁻³. В нек-рых кристаллах и стёклах этот эффект ослаблен и концентрация $\sim 10^{21}$ см⁻³. Наиб. перспективны фосфатные и силикатные стёкла (см. Лазерные стёкла), кристаллы иттрий-алюминиевого граната (ИАГ) и гадолиний-скандий-галлиевого граната (ГСГГ). Ионы Nd^{3+} — наиб. распространённые рабочие частицы твердотельных лазеров. Они легко активируют мн. матрицы. Накачка переводит ионы Nd^{3+} из осн. состояния $^4I_{9/2}$ в неск. относительно узких полос, играющих роль верх. уровня. Эти полосы образованы рядом перекрывающихся возбуждённых состояний, их

положения и ширины несколько меняются от матрицы к матрице. Из полос накачки осуществляется быстрая передача энергии возбуждения на метастабильный уровень $^4F_{3/2}$ (рис. 1). Время жизни этого уровня составляет 0,2 мс в ИАГ и 0,7 мс в стекле. Наиб. вероятностью обладает лазерный переход $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ ($\lambda = 1,06$ мкм). Энергетическая щель между состояниями $^4I_{11/2}$ и $^4I_{9/2}$, равная 2000 см⁻¹, обеспечивает четырёхуровневый характер генерации Н. л. Чем ближе к уровню $^4F_{3/2}$ расположены полосы поглощения, тем выше

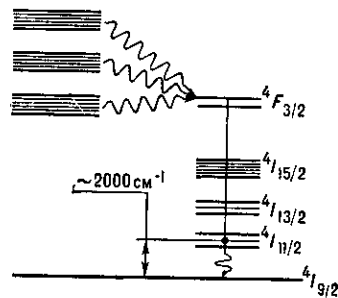


Рис. 1. Уровни энергии иона неодима.

к стёклам из-за неоднородности локальных электростатич. полей линия люминесценции 1,06 мкм сильно уширена (до $\Delta\lambda \approx 30$ нм; неоднородное уширение). В кристаллах ИАГ однородное уширение составляет примерно 0,7 нм. Сильное неоднородное уширение приводит к тому, что неодимовое стекло имеет меньшее усиление, а соответствующие лазеры — более богатую модовую структуру, чем гранат, активированный неодимом. Вместе с тем стекло допускает большее (до 6%) введение активных центров. В литий-лантан-фосфатных стёклах допустимо почти полное замещение лития неодимом, приводящее к концентрации ионов Nd^{3+} , превышающей $(2\text{—}3) \cdot 10^{21}$ см⁻³. Кристаллы ИАГ активируются до концентрации 1,5% в стехиометрич. замещении иона Y^{3+} на Nd^{3+} .

Обычно области применения Н. л. на гранате и стекле существенно различны. В силу большей теплопроводности и однородности гранатовые лазеры легко работают в непрерывном и импульсно-периодич. режимах. Достигнуты ср. мощности $\sim 10^3$ Вт. Неодимовое стекло в силу больших объёмов и более высокой концентрации активатора хорошо накапливает энергию. Поэтому именно стекло служит активной средой импульсных лазеров высокой энергии. Достигнуты значения импульсной энергии в десятки кДж.

В случаях, когда существенно высокое качество пзлучения, используется схема задающий генератор — усилитель мощности. В этой схеме задающим генератором является часто гранатовый лазер, а усилителем мощности (или конечным каскадом усиления мощности) — лазер на неодимовом стекле.

Н. л. работают в широком диапазоне режимов генерации, от непрерывного до существенно импульсного с длительностью, достигающей 0,5 пс. Последняя достигается методом синхронизации мод в широкой линии усиления, характерной для лазерных стёкол.

При создании Н. л. реализованы все характерные методы управления параметрами лазерного излучения, разработанные квантовой электроникой. В дополнение к т. н. свободной генерации, продолжающейся в течение практически всего времени существования импульса накачки, широко распространение получили режимы включаемой (модулированной) добротности и синхронизации (самосинхронизации) мод.

В режиме свободной генерации длительность импульсов излучения составляет 0,1—10 мс, энергия излучения в схемах усиления мощности достигает многих кДж. Характерная длительность импульсов включаемой добротности составляет ок. 10 нс при использовании для модуляции добротности эл.-оптич. устройств. На рис. 2 приведена схема Н. л. с модулиров. добротностью. Характерная энергия лазерного генератора такого типа составляет $\sim 1\text{—}2$ Дж.

Дальнейшее укорочение импульсов генерации достигается применением просветляющихся фильтров как