

ответствуют поглощению зелёного и фиолетового света. Переходы с  $\epsilon_1$  на узкие уровни  $\epsilon_2$  не оказывают влияния на окраску кристалла, т. к. красный свет практически не поглощается. Т. о., положение и ширина полос поглощения  $\epsilon_3$  и  $\epsilon_4$  определяют красный цвет Р.

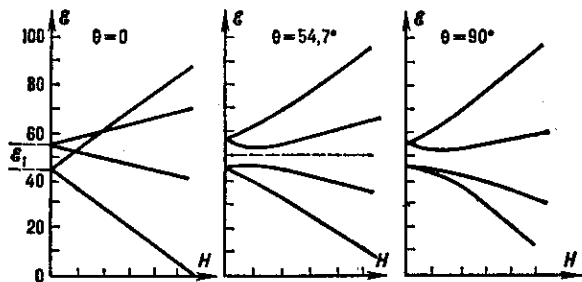


Рис. 2. Расщепление уровней иона  $\text{Cr}^{3+}$  в рубине в магнитном поле, направление которого параллельно кристаллографической оси кристалла ( $\theta = 0$ ) и составляет с ней углы  $\theta = 0$ ;  $54,7^\circ$  и  $90^\circ$ .

При обычных темп-рах практически все ионы  $\text{Cr}^{3+}$  находятся на двух нижних уровнях  $\epsilon_1$ , отличаясь величиной проекции магн. момента на направление поля  $E_{кр}$ . Частота перехода между ними  $\nu = 11,9$  ГГц. Каждый уровень иона  $\text{Cr}^{3+}$  в Р. дважды вырожден (противоположные знаки проекции магн. момента иона на  $E_{кр}$ ). Магн. поле  $H$  дополнительно расщепляет каждый из уровней  $\epsilon_1$  на 2, величина расщепления зависит от величины поля  $H$  и его ориентации относительно кристаллографич. оси кристалла (рис. 2; см. *Зеемана эффект*). Т. о., в Р., находящемся в пост. поле  $H$ , образуются 4 уровня, переходы между к-рыми находятся в диапазоне СВЧ. Благодаря этому Р. может быть использован как трёхуровневая система в квантовых парамагн. усилителях. Применение Р. в квантовых усилителях обусловлено также большим временем его спин-решёточной релаксации при низких темп-рах и, следовательно, малой потребляемой мощностью накачки.

В лазере оптич. диапазона Р. накачивается светом от мощной лампы с широким спектром излучения, соответствующим переходам с уровней  $\epsilon_1$  на полосы  $\epsilon_3$ ,  $\epsilon_4$ . Подавляющее большинство возбуждённых ионов

ностей уровней  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  и, следовательно, к генерации света с длиной волны  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (рис. 1), что соответствует красному свету (см. *Твердотельный лазер*).

Искусств. монокристаллы Р. выращиваются обычно по методу Вернейля в кислородно-водородном пламени (рис. 3; см. также *Монокристаллов выращивание*). Удаётся получить монокристаллы Р. в виде стержней диаметром до 5 см и метровой длины.

Лит. см. при ст. *Твердотельный лазер, Квантовый усилитель*.

**РУПОРНАЯ АНТЕННА** — антенна в виде отрезка волновода, расширяющегося к открытому концу. Это расширение улучшает согласование Р. а. с открытым пространством и увеличивает её эфф. площадь и угл. разрешение, поскольку увеличиваются размеры излучающего раскрыва, а фазовая скорость волны у раскрыва приближается к скорости света.

Параметры Р. а. определяются размером раскрыва, формой, длиной и конструкцией рупора. В зависимости от назначения используют секториальные, пирамидальные, конические, биконические рупоры и их сочетания с отражающими поверхностями и линзами (напр., в рупорно-параболич. антенне).

Р. а. применяют в СВЧ-диапазоне как самостоят. антенны, облучатели зеркальных антенн, элементы антенных решёток, а также в качестве антенн-зондов в измерит. установках.

Н. М. Цейтлин.

**РУТЕНИЙ (Ruthenium), Ru**, — хим. элемент VIII группы периодич. системы элементов Менделеева, ат. номер 44, ат. масса 101,07, относится к платиновой группе *благородных металлов*. Природный Р. состоит из 7 изотопов:  $^{98}\text{Ru}$ ,  $^{99}\text{Ru}$  —  $^{102}\text{Ru}$ ,  $^{101}\text{Ru}$ , наиб. распространён  $^{102}\text{Ru}$  (31,6%), наименее —  $^{98}\text{Ru}$  (1,88%). Металлич. радиус 0,133 нм, радиус иона  $\text{Ru}^{4+}$  0,062 нм. Электронная конфигурация внеш. оболочек  $4s^2 4p^6 4d^7 5s^1$ . Энергии последоват. ионизации соответственно равны 7,366; 16,76 и 28,47 эВ. Сродство к электрону 1,4 эВ. Значение электроотрицательности 1,42.

В свободном виде хрупкий блестящий серебристый металл, кристаллич. структура имеет гексагональную плотнейшую упаковку с параметрами  $a = 0,27057$  нм и  $c = 0,42815$  нм. Плотность 12,37 кг/дм<sup>3</sup> (по др. данным, 12,06 кг/дм<sup>3</sup>),  $t_{пл} = 2250^\circ\text{C}$ ,  $t_{кип}$  ок. 4100—4200  $^\circ\text{C}$ . Уд. теплота плавления 24 кДж/моль, теплота испарения 602 кДж/моль. Уд. теплоёмкость  $c_p = 24,1$  Дж/моль·К. Темп-ра перехода в сверхпроводящее состояние 0,47 К (при напряжённости магн. поля 0,578 А/м). Работа выхода электронов 4,6 эВ. Термич. коэф. линейного расширения  $9,91 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  (при 323 К). Уд. электрич. сопротивление 0,07427 мкОм·м (при 298 К), теплопроводность 116,3 Вт/(м·К). Магн. восприимчивость  $0,427 \cdot 10^{-9}$  (при 293 К). Для отожжённого Р. твёрдость по Бригеллю 1790—2160 МПа. Модуль упругости 422—462,8 ГПа (по разл. данным), модуль сдвига 160—170 ГПа.

Р. химически малоактивен, в соединениях проявляет степени окисления от +2 до +8 (наиб. характерны +3, +4, +6 и +8). Р. (особенно полученный электроосаждением) способен адсорбировать значит. кол-во водорода.

Чистый Р. и его сплавы с др. платиновыми металлами применяют в качестве катализаторов хим. реакций, используют для защитного покрытия электрич. контактов. Сплавы Ru, Pt, Rh служат для изготовления фильер. Сплав Ru и Ir применяется при изготовлении высокотемпературных термопар. Нек-рые соединения Р. используют при варке стёкол. В качестве радиоакт. индикаторов применяют  $\beta^-$ -радиоактивные  $^{103}\text{Ru}$  ( $T_{1/2} = 39,4$  сут) и  $^{106}\text{Ru}$  ( $T_{1/2} = 367$  сут), образующиеся в ядерных реакторах.

С. С. Бердоносков.

**РЫТОВА МЕТОД** — см. *Плазменный возмущенный метод*.  
**РЭЛЕЕВСКОЕ РАССЕЯНИЕ** — когерентное рассеяние света на оптич. неоднородностях, размеры к-рых значительно меньше длины волны  $\lambda$  возбуждающего света. В отличие от флуоресценции, происходящей с

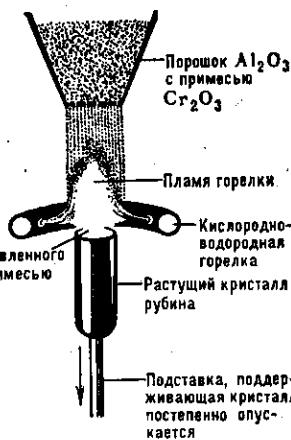


Рис. 3. Выращивание рубина по методу Вернейля. Смесь  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в виде пудры сыплется сверху на выращиваемый кристалл, верхняя кромка которого находится в пламени горелки с температурой  $2050^\circ\text{C}$ , достаточной для плавления рубина. Кристалл постепенно опускают, и расплавленный слой смеси, выходя из пламени, кристаллизуется.

отдаёт часть своей энергии тепловым колебаниям кристалла и переходит на уровни  $\epsilon_2$ , к-рые не заселены при комнатной темп-ре. Время жизни ионов на уровнях  $\epsilon_2$  достаточно велико (3,5 мс), и большинство ионов скапливается на них. При достаточно мощной накачке уменьшение населённости уровней  $\epsilon_1$  и обогащение населённости уровней  $\epsilon_2$  приводит к *инверсии населён-*