

рует в каждой точке число фотонов дифрактивов. Излучения за определ. интервал времени. Используются также одномерные и двумерные позиционно-чувствит. счётчики указанных выше типов, фиксирующие одновременно и факт попадания фотона в детектор и его пространственные координаты в детекторе. Одномерными и двумерными детекторами можно параллельно измерять дифракц. картину во мн. точках и тем самым ускорять регистрацию одновременно возникающей одномерной или двумерной картины и упростить устройство гониометров. Напр., Р. д. для поликристаллич. образцов с одномерным детектором или Р. д. для макромолекулярных кристаллов с двумерным детектором позволяют на два порядка сократить время измерения при соответствующем сокращении дозы облучения образца.

Р. д. обладают более высокими по сравнению с рентг. фотогр. камерами точностью, чувствительностью, экспрессностью, большим динамич. диапазоном. Процесс получения информации в Р. д. может быть полностью автоматизирован, а обработка может производиться очень быстро, поскольку в них отсутствует необходимость проявления фотоплёнки или считывания с пластины фотолюминесценции (рентг. фотогр. камера с регистрацией на пластину с фотостимулированной люминесценцией, оборудованная считывающим устройством, управляемым ЭВМ, по степени автоматизации эквивалентна Р. д.). Универсальные Р. д. для поликристаллич. материалов могут быть использованы для разл. рентгеноструктурных исследований: фазового количеств. и качеств. анализа, текстурных исследований, изучения фазовых превращений, ориентирования монокристаллов, исследований *малоуглового рассеяния* и т. д., путём замены приставок к гониометрич. устройству. Так, существуют приставки для крупнокристаллич. образцов, исследований текстуры, низкотемпературных (до темп-р жидкого азота и гелия) и высокотемпературных (до темп-р ок. 3000 °К) исследований, приставки для ориентирования монокристаллов и т. д. Управляющая ЭВМ и соответствующие программы позволяют автоматически получать дифракц. картину и рассчитывать конечные результаты даже в универсальном Р. д. В больших лабораториях применяются более производительные и точные специализиров. Р. д., предназначенные для решения к.-л. одной задачи. Источником излучения в Р. д. может быть отпаянная рентг. трубка с точечной или линейной проекцией фокуса с использованием в качестве коллиматоров соответственно круглых или щелевых диафрагм. Для повышения яркости источника и сокращения времени эксперимента на порядок применяют непрерывно откачиваемые рентг. трубки с вращающимся анодом. На два и более порядка можно ускорить дифракц. эксперимент в Р. д., если использовать в качестве рентг. источника синхротронное излучение.

Лит. см. при ст. *Рентгеновский гониометр*. Д. М. Хейкер.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ЛАЗЕР — источник когерентного эл.-магн. излучения рентг. диапазона. Иногда используется термин «разер» по аналогии с «лазер» (см. *Лазер, Гамма-лазер*). Идея создания Р. л. появилась в нач. 1960-х гг. сразу же после создания лазеров. Осн. концепции создания сложились к нач. 70-х гг. Первый лабораторный Р. л. был создан в Ливерморской лаборатории им. Э. Лоуренса (США) в 1985 (была получена генерация на серии линий Ne-подобного иона селена в области 182—263 Å, наиб. яркая из к-рых — линия 206,3 Å). К настоящему времени (1991) получено квазикогерентное рентг. излучение в режиме усиления спонтанного излучения с длиной волны от неск. сотен до десятков ангстрем, напр. 206Å (Se²⁴⁺), 182 Å (Cr⁶⁺), 81Å (Fe⁸⁺), 46Å (Al¹¹⁺). Длительность импульса генерации Р. л. составляет 0,1—10 нс и определяется, как правило, временем жизни плазменного образования. Величина коэф. усиления за один проход лежит в пределах 3—16. Т. о., макс. усиление отно-

сительно уровня спонтанного излучения составляет $\mu_0 \approx 10^7$. Макс. энергия, полученная в импульсе, ~10 мДж, угл. расходимость пучка ~10 мрад. Сравнение параметров импульса лазера *накачки* и импульса рентг. излучения показывает, что коэф. преобразования по энергии составляет лишь ~10⁻⁵. Однако уже этого достаточно для проведения ряда физ. и биол. экспериментов. Р. л. обладают наивысшей импульсной яркостью по сравнению с др. источниками рентг. излучения.

Активная среда Р. л. — высокоионизиров. плазма с электронной темп-рой от неск. сотен эВ до неск. кэВ, создаваемая при облучении мишени (напр., тонкой фольги из селена и иттрия) мощными лазерами видимого и ИК-диапазонов. Плазменное образование имеет длину в неск. см (0,5—5 см) и поперечный размер 0,01—0,1 см. Плазма создаётся, как правило, фокусировкой излучения либо 2-й гармоники Nd : YAG-лазера (см. *Твердотельный лазер*), либо излучения СО₂-лазера, имеющих энергию излучения ~1 кДж и длительность импульса генерации 0,1—10 нс. Энергия, необходимая для создания иона заданной кратности, и плотность атомов активного элемента в мишени определяют плотность энергии лазерного излучения *накачки*, необходимую для создания активной среды. Пороговые условия генерации Р. л. определяют мин. значения плотности ионов в плазме. Если длина поглощения генерируемого рентг. излучения больше длины активной области *L* кристалла, то пороговое условие генерации имеет вид

$$\mu_0 L > 1, \quad (1)$$

где резонансный коэф. усиления

$$\mu_0 = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \frac{\Delta N}{V} \cdot \frac{1}{\Gamma T_1}; \quad (2)$$

здесь $\Delta N = N_2 - (g_2/g_1)N_1$; N_2 , N_1 — населённости верх. и ниж. рабочих уровней, g_2 , g_1 — кратности их вырождения, Γ — ширина линии усиления, T_1 — спонтанное время жизни. Пороговая уд. мощность *накачки* определяется условием

$$W > \frac{\hbar\omega}{\delta} \frac{\Delta N}{V} \frac{1}{T_1} \quad (3)$$

или

$$W_{\text{пор}} = \frac{\hbar\omega}{\delta} \frac{4\pi\Gamma}{\lambda^2 L} = \frac{4\pi\hbar c}{\delta \lambda^2 L},$$

где $\hbar\omega = \epsilon_2 - \epsilon_1$, $\delta = (\epsilon_2 - \epsilon_1)/\epsilon_{\text{и}}$ — отношение энергии рабочего перехода к энергии $\epsilon_{\text{и}}$, затрачиваемой на создание иона требуемой кратности на верх. рабочем уровне. В предположении, что лазерное излучение полностью поглощается в слое плазмы, являющейся активной средой и имеющей длину *L* и поперечный диаметр *d*, а также что ширина линии усиления определяется доплеровским уширением $\Gamma = \Delta\omega_0 = v_T/c = 2\pi\nu_0/\lambda$, пороговая интенсивность лазерного излучения *накачки*

$$I_{\text{пор}} = \frac{2(2\pi)^2 \hbar c d v_T}{\delta \lambda^2 L}.$$

При $L \sim 1$ см, $d \sim 10^{-2}$ см, $v_T \sim 10^6$ см/с

$$I_{\text{пор}} \approx \frac{10^{11}}{\lambda^2 [\text{нм}] \delta} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}. \quad (4)$$

Требования к мощности *накачки* не являются очень жёсткими в области $\lambda = (0,1-10)$ нм. Гораздо более жёсткие требования предъявляются к *энерговкладу*. Из (4) следует, что

$$\epsilon_{\text{пор}} = W_{\text{пор}} T_1 L S \sim \frac{\hbar\omega}{\delta} n_{\text{пор}} L d^2; \quad (5)$$