

Рис. 11. Топограмма фрагмента интегральной микросхемы из монокристалла Si.

т. е. кристаллов с относительно низкой плотностью дефектов. Допустимая плотность дефектов зависит от применяемой схемы съёмки (рис. 1—6) и лимитируется разрешением; напр., для съёмки по методу Ланга (рис. 5) плотность дислокаций не должна превышать  $10^4 \text{ см}^{-1}$ . На рис. 7—11 приведены примеры рентг. топограмм с изображением некоторых дефектов кристаллич. структуры. Преимущество Р. т. перед обычной оптич. микроскопией — возможность изучать дефекты структуры непрозрачных для видимого света кристаллов, высокая чувствительность, позволяющая регистрировать отсчет. изменения  $\delta d$  (до  $10^{-6}$ ) и  $\delta \theta$  (до  $0,1''$ ). Р. т. существенно уступает просвечивающей электронной микроскопии в разрешении, но является неразрушающим методом исследования и контроля и применима для изучения структуры относительно толстых кристаллов — толщиной от  $\sim 1 \text{ мм}$  в методе Ланга до неск. см в методе Бормана, основанном на аномальном пропускании эффекта. Осн. область применения Р. т. — исследование и контроль качества высокосовременных монокристаллов полупроводников и изделий из них. Недостатки Р. т. — относительно низкое разрешение, большая продолжительность съёмки (от неск. до десятков часов). Для сокращения съёмки применяются мощные источники рентг. излучения — аппараты с вращающимся анодом и синхротроны, для регистрации — системы визуализации рентг. изображения, в частности рентгенооптич. преобразователи-усилители яркости и рентгенотелевиз. системы, позволяющие проводить наблюдения в режиме реального времени.

Лит.: Berg W., History of load of deformed crystals, «Z. Kristallogr.», 1934, т. 89, № 3/4, p. 286; Barrett C. S., New microscopy and its potentiality, «Trans. Amer. Inst. Min. and Metal. Eng.», 1945, т. 161, p. 15; Shultz L. G., Method of using a fine focus X-ray tube — for examining the surface of single crystals, там же, 1954, т. 200, p. 1082; Borrmann G., Hildebrandt G., Röntgen-Wellenfelder in grossen Kalkspat-kristallen und die Wirkung einer Deformation, «Z. Naturf.», 1956, Bd 112, H. 7, S. 585; Bonse U., Zur röntgenographischen Bestimmung des Types einzelner Versetzungen in Einkristallen, «Z. Phys.», 1958, Bd 153, H. 3, S. 278; Lang A. R., The projection topograph: a new method in X-ray diffraction microradiography, «Acta Crystallogr.», 1959, v. 12, p. 249; Fujiwara T., New method to taking X-ray radiographs the divergent X-ray method, «Mem. Defense Academy», 1963, v. 2, № 5, p. 127; Инденбом В. Л., Чуховский Ф. Н., Проблема изображения в рентгеновской оптике, «УФН», 1972, т. 107, в. 2, с. 229; Каули Д., Физика дифракции, пер. с англ., М., 1979; Computer controlled X-ray topographic imaging system, «The Rigaku Journal», 1984, v. 1, № 1, p. 23; Дифракционные и микроскопические методы в материаловедении, пер. с англ., М., 1984; Ингал В. Н., Гаврилова Л. А., Опыт применения рентгенотелевизионной топографической установки для наблюдения изображений дефектов кристаллов в условиях аномального прохождения рентгеновских лучей, «Зав. лаборатория», 1987, т. 53, № 9, с. 60. В. И. Кушмир, Э. В. Суворов.

**РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА** — источник рентгеновского излучения, возникающего при бомбардировке

вещества анода (антикатада) электронами, эмитируемыми катодом электровакуумной трубки. В Р. т. электроны ускоряются электрич. полем, часть их энергии переходит в энергию рентг. излучения. Излучение Р. т. является тормозным излучением в рентг. диапазоне длин волн, при достаточных энергиях электронов на него накладывается характеристич. излучение вещества анода. Р. т. применяют в рентг. структурном анализе, рентгеноспектральном анализе, дефектоскопии, рентгенотерапии и рентгенодиагностике и т. д. В зависимости от области использования Р. т. различаются по типу конструкции, способу получения пучка электронов и его фокусировки, вакуумированию, охлаждению анода, размерам и форме фокуса (области излучения на поверхности анода) и др. Наиб. широко применяются т. н. отпаянные Р. т. с термоэмиссионным катодом, водяным охлаждением анода, электростатич. фокусировкой электронов (рис.). Термоэмиссионный катод Р. т. обычно

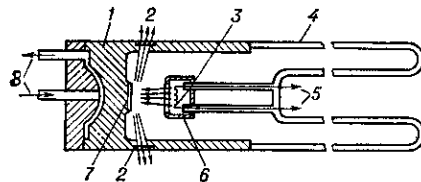


Схема рентгеновской трубки для структурного анализа: 1 — металлический анодный стакан (обычно заземляется); 2 — окна из бериллия для выхода рентгеновского излучения; 3 — термоэмиссионный катод; 4 — стеклянная колба; 5 — выводы катода, к которым подводится напряжение накала, а также высокое (относительно анода) напряжение; 6 — электростатическая система фокусировки электронов; 7 — анод; 8 — патрубки для охлаждающей системы.

представляет собой спираль или прямую вольфрамовую нить, накаливаемую электрич. током. Рабочий участок анода — металлич. зеркальная поверхность — расположен перпендикулярно или под некоторым углом к электронному пучку. Для получения сплошного тормозного спектра рентг. излучения высоких энергий и интенсивностей служат аноды из Au или W; в структурном анализе используются Р. т. с анодами из Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Ag. Осн. характеристики Р. т. — предельно допустимое ускоряющее напряжение (1—500 кВ), электрич. ток (0,01 мА — 1 А), уд. мощность, рассеиваемая анодом ( $10$ — $10^4 \text{ Вт/мм}^2$ ), общая потребляемая мощность (0,002 Вт — 60 кВт). Кпд Р. т. составляет 0,1—3%.

**РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ** — источники переменного периодич. рентг. излучения, представляющие собой вращающиеся нейтронные звёзды с сильным магн. полем, излучающие за счёт аккреции. Магн. поля на поверхности Р. п.  $\sim 10^{11}$ — $10^{14}$  Гс. Светимости большинства Р. п. от  $10^{36}$  до  $10^{39}$  эрг/с. Периоды следования импульсов Р от 0,07 с до неск. тыс. секунд. Р. п. входят в тесные двойные звёздные системы (см. Тесные двойные звёзды), вторым компонентом к-рых является нормальная (невырожденная) звезда, поставляющая вещество, необходимое для аккреции и нормального функционирования Р. п. Если второй компонент находится на стадии эволюции, когда скорость потери массы мала, нейтронная звезда не проявляет себя как Р. п. Рентг. пульсары встречаются как в массивных молодых двойных звёздных системах, относящихся к населению I Галактики и лежащих в её плоскости, так и в маломассивных двойных системах, относящихся к населению II Галактики и принадлежащих к её сферич. составляющей. Р. п. открыты также в Магеллановых Облаках. Всего открыто ок. 30 Р. п.

На нач. этапе исследований рентг. объектам присваивались наименования по созвездиям, в к-рых они находятся. Напр., Геркулес X-1 означает первый по рентг. яркости объект в созвездии Геркулеса, Кентавр