

тизм практически отсутствуют. Дифракц. разрешение на оптич. оси определяется, как и для оптич. микроскопа, отношением  $\lambda/A$ , при типичном значении  $A = 0,3-0,4$  в диапазоне  $\lambda = 10-20$  нм оно составляет 30-50 нм. Достижение такого разрешения требует точного изготовления зеркал и их взаимной юстировки с точностью порядка  $\lambda/4$ .

В дифракционном рентгеновском микроскопе осн. элементом является зонная пластинка Френеля, к-рая для монохроматич. излучения представляет собой линзу с фокусным расстоянием  $f = r_1^2/\lambda m$ , где  $r_1$  — радиус первой зоны Френеля,  $\lambda$  — длина волны,  $m$  — порядок спектра. Дифракц. разрешение зонной пластинки Френеля определяется шириной крайней зоны:  $\delta_m = 1,22 \Delta r_m/m = 0,61 r_1/m\sqrt{n}$ , где  $n$  — номер крайней зоны. Светосила определяется диаметром  $d = 2r_1\sqrt{n}$ . Эффективность дифракции для зонных пластинок Френеля с амплитудной модуляцией составляет ок. 10% в первом, 2% — во втором и 1% — в третьем порядках спектра. Дифракц. Р. м. обычно работает в области  $\mathcal{E} < 1$  кэВ, т. к. для более жёсткого излучения тонкоплёночные зонные пластинки Френеля становятся прозрачными.

Схема изображающего дифракц. Р. м. приведена на рис. 4. В качестве источника наиб. часто используются синхротроны, накопители кольца или орудляторы, излучение к-рых предварительно монохроматизуют до

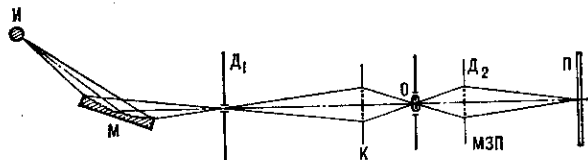


Рис. 4. Схема дифракционного рентгеновского микроскопа с зонными пластинками Френеля; И — источник излучения;  $D_1$  и  $D_2$  — диафрагмы; М — монохроматор с дифракционной решёткой; К — зонная пластинка Френеля — конденсор; МЗП — микрозонная пластинка; О — объект; П — приёмник излучения.

спектральной ширины  $\Delta\lambda \approx \lambda/mn$  и с помощью конденсора направляют на образец О, устанавливаемый в плоскости диафрагмы Д. Микрозонная пластинка (МЗП) даёт увеличенное изображение объекта в плоскости детектора. Доза облучения образца существенно снижается в сканирующем дифракц. Р. м., в к-ром используется только одна фокусирующая зонная пластинка. Дифракц. Р. м. обеспечивали (к 1991) наиб. высокое из всех Р. м. разрешение ( $\sim 50$  нм), к-рое определяется предельными возможностями технологии изготовления зонных пластинок.

Применение рентгеновских микроскопов. Р. м. наиб. перспективны для задач биологии и медицины (рис. 5, 6). Они позволяют исследовать влажные живые биол. объекты — одноклеточные организмы, срезы тканей, отд. клетки, их ядра (без дополнит. окрашивания). Использование «мягкого» рентг. излучения вблизи полос поглощения лёгких элементов даёт возможность исследовать распределение этих элементов в структуре объекта. Биополимеры, состоящие из макромолекул (белки, нуклеиновые кислоты и т. д.), эффективно изучаются высокоразрешающим методом контактной рентг. микроскопии. Использование импульсных источников даёт возможность исследовать динамику процессов в нестационарных объектах (напр., живых клетках). Для получения трёхмерных изображений тканей в медицине разрабатываются методы компьютерной рентгеновской томографии микрообъектов.

Р. м. успешно применяется в материаловедении при изучении особенностей структуры поликристаллических, полимерных и композитных материалов (рис. 7).

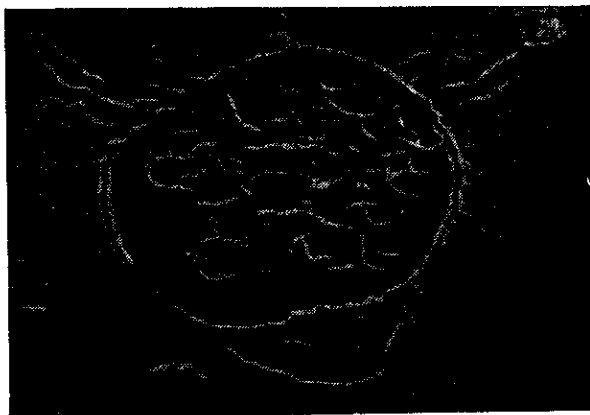


Рис. 5. Контактное микрографическое изображение живого тромбоцита человека, полученное с использованием импульсного рентгеновского источника (плазма пробоя в газе). На изображении различимы детали размером менее 10 нм.



Рис. 6. Изображение диатомовых водорослей, полученное с помощью дифракционного рентгеновского микроскопа. Длина волны излучения 4,5 нм. Масштаб соответствует 1 мкм.

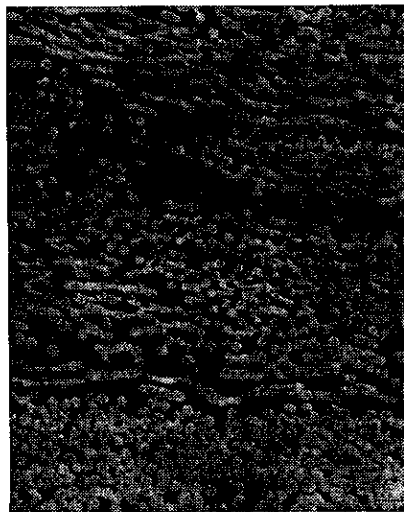


Рис. 7. Контактное микрографическое изображение образца композитного материала (стеклопластик). Светлые участки — стеклянные волокна (диаметр ок. 10 мкм), тёмные — полимер. Изображение характеризует плотность, однородность, направленность и распределение волокон. Толщина образца 400 мкм, энергия рентгеновских квантов  $\mathcal{E} < 30$  кэВ.

Для развития методов рентг. микроскопии важное значение имеет создание высокоинтенсивных источников рентг. излучения. Один из перспективных источников — высокотемпературная лазерная плазма. С помощью изображающих зеркальных Р. м. изучается структура и динамика процессов, происходящих в такой плазме.