

мация об отд. участках объекта, от к-рых прямого пути к детектору нет, теряется (возникают тени). Для устранения потерь информации, а также для формирования изображения рельефа образца, на к-рое не влияет его элементный состав и, наоборот, для формирования картины распределения хим. элементов в объекте, на к-рую не влияет его рельеф, в РЭМ применяется детекторная система, состоящая из неск. размещённых вокруг объекта детекторов, сигналы к-рых вычитаются один из другого или суммируются, а результирующий сигнал после усиления подаётся на модулятор ЭЛТ.

Рентг. характеристич. излучение регистрируется кристаллич. (волноводисперсным) или полупроводниковым (энергодисперсным) спектрометрами, к-рые взаимно дополняют друг друга. В первом случае рентг. излучение после отражения кристаллом спектрометра попадает в газовый пропорциональный счётчик, а во втором — рентг. кванты возбуждают сигналы в полупроводниковом охлаждаемом (для снижения шума) детекторе из кремния, легированного литием, или из германия. После усиления сигналы спектрометров могут быть поданы на модулятор ЭЛТ и на её экране возникнет картина распределения того или иного хим. элемента по поверхности объекта.

На РЭМ, оснащённом рентг. спектрометрами, производят локальный количеств. анализ: регистрируют число импульсов, возбуждаемых рентг. квантами от участка, на к-ром остановлен электронный зонд. Кристаллич. спектрометр с помощью набора кристаллов-анализаторов с разл. межплоскостными расстояниями (см. *Брэгга—Вульфа условие*) дискриминирует с высоким спектр. разрешением характеристич. спектр по длинам волн, перекрывая диапазон элементов от Ве до У. Полупроводниковый спектрометр дискриминирует рентг. кванты по их энергиям и регистрирует одновременно все элементы от В (или С) до У. Его спектральное разрешение ниже, чем у кристаллич. спектрометра, но выше чувствительность. Имеются и др. преимущества: быстрая выдача информации, простая конструкция, высокие эксплуатационные характеристики.

**Растровые оже-Э. м. (РОЭМ)** — приборы, в к-рых при сканировании электронного зонда детектируются оже-электроны из глубины объекта не более 0,1—2 нм. При такой глубине зона выхода оже-электронов не увеличивается (в отличие от электронов вторичной эмиссии) и разрешение прибора зависит только от диаметра зонда. Прибор работает при сверхвысоком вакууме ( $10^{-7}$ — $10^{-8}$  Па). Его ускоряющее напряжение ок. 10 кВ. На рис. 6 представлено устройство РОЭМ. Электронная пушка состоит из гексаборид-лантанового или вольфрамового термокатада, работающего в режиме Шоттки, и трёхэлектродной электростатической линзы. Электронный зонд фокусируется этой линзой и магн. объективом, в фокальной плоскости к-рого находится объект. Сбор оже-электронов производится с помощью цилиндрич. зеркального анализатора.

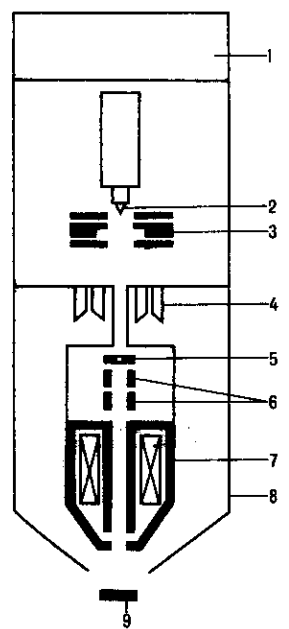


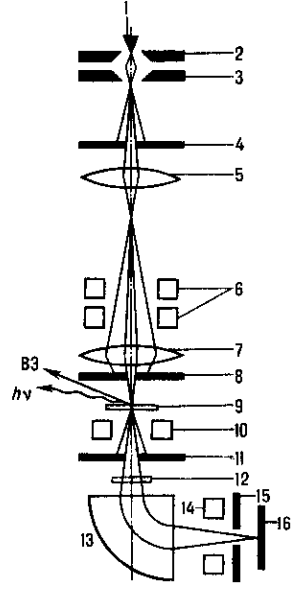
Рис. 6. Схема растрового оже-электронного микроскопа (РОЭМ): 1 — ионный насос; 2 — катод; 3 — трёхэлектродная электростатическая линза; 4 — многоканальный детектор; 5 — апертурная диафрагма объектива; 6 — двухъярусная отклоняющая система для развёртки электронного зонда; 7 — объектив; 8 — наружный электрод цилиндрического зеркального анализатора; 9 — объект.

ра энергий, внутренний электрод к-рого охватывает корпус объектива, а внешний примыкает к объекту. С помощью анализатора, дискриминирующего оже-электроны по энергиям, исследуется распределение хим. элементов в поверхностном слое объекта с субмикронным разрешением. Для исследования глубинных слоев прибор оснащается ионной пушкой, при помощи к-рой удаляются верхние слои объекта методом ионно-лучевого травления.

РЭМ с автоэмиссионной пушкой обладают высокой разрешающей способностью (до 2—3 нм). В автоэмиссионной пушке используется катод в форме острия, у вершины к-рого возникает сильное электрич. поле, вырывающее электроны из катода (*автоэлектронная эмиссия*). Электронная яркость пушки с автоэмиссионным катодом в  $10^3$ — $10^4$  раз выше яркости пушки с термокатодом. Соответственно увеличивается ток электронного зонда. Поэтому в РЭМ с автоэмиссионной пушкой осуществляют наряду с медленной быстрой развёрткой, а диаметр зонда уменьшают для повышения разрешающей способности. Однако автоэмиссионный катод работает устойчиво лишь при сверхвысоком вакууме ( $10^{-7}$ — $10^{-9}$  Па), что усложняет конструкцию и эксплуатацию таких РЭМ.

**Просвечивающие растровые Э. м. (ПРЭМ)** обладают столь же высокой разрешающей способностью, как и ПЭМ. В этих приборах применяются автоэмиссионные пушки, работающие в условиях сверхвысокого вакуума (до  $10^{-8}$  Па), обеспечивающие достаточный ток в зонде малого диаметра (0,2—0,3 нм). Диаметр зонда уменьшают две магн. линзы (рис. 7). Ниже объекта расположены детекто-

Рис. 7. Принципиальная схема просвечивающего растрового электронного микроскопа (ПРЭМ): 1 — автоэмиссионный катод; 2 — промежуточный анод; 3 — анод; 4 — диафрагма «осветителя»; 5 — магнитная линза; 6 — двухъярусная отклоняющая система для развёртки электронного зонда; 7 — магнитный объектив; 8 — апертурная диафрагма объектива; 9 — объект; 10 — отклоняющая система; 11 — кольцевой детектор рассеянных электронов; 12 — детектор нерассеянных электронов (удаляется при работе магнитного спектрометра); 13 — магнитный спектрометр; 14 — отклоняющая система для отбора электронов с различными потерями энергии; 15 — щель спектрометра; 16 — детектор спектрометра; ВЭ — вторичные электроны;  $h\nu$  — рентгеновское излучение.



ры — центральный и кольцевой. На первый попадают нерассеянные электроны, и после преобразования и усиления соответствующих сигналов на экране ЭЛТ появляется светлопольное изображение. На кольцевом детекторе собираются рассеянные электроны, создающие темнопольное изображение. В ПРЭМ можно исследовать более толстые объекты, чем в ПЭМ, т. к. возрастание числа неупруго рассеянных электронов с толщиной не влияет на разрешение (после объекта электронная оптика для формирования изображения отсутствует). С помощью анализатора энергии электроны, прошедшие сквозь объект, разделяются на упруго и неупруго рассеянные пучки. Каждый пучок попадает на свой детектор, и на ЭЛТ наблюдаются соответствующие изображения, содержащие дополнит. информацию об элементном составе объекта. Высокое разрешение в ПРЭМ достигается при медленных развёртках, т. к. в зонде диаметром всего 0,2—0,3 нм ток получается малым. ПРЭМ оснащаются всеми используемыми в электронной микроскопии устройствами для аналитич. исслед-