

## ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП ДЛЯ СВЕТОПОЛЬНЫХ, ТЕМНОПОЛЬНЫХ И СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ<sup>1</sup>

За последние два года в литературе появились описания электронных сверхмикроскопов как с магнитной<sup>2</sup>, так и с электростатической<sup>3</sup> фокусировкой.

Описываемый в статье М. Арденне универсальный электронный микроскоп (рис. 1) позволяет по желанию пользоваться либо магнитными, либо электростатическими линзами (главным образом объективами). Далее, этот микроскоп позволяет осуществлять быстрый переход от светопольных изображений к темнопольным, а также дает возможность получать стереоскопические изображения наблюдаемого объекта.

Универсальность прибора обеспечивается тем, что почти все его главные составные части могут по отдельности выниматься и заменяться без демонтажа всего микроскопа в целом. Так, например, полюсные башмаки магнитной линзы могут быть заменены электродами электростатической линзы. Точно так же можно по желанию устанавливать на пути электронных лучей объективы или проекционные линзы с различными данными и различными вспомогательными механизмами.

Все диафрагмы могут центрироваться и заменяться под вакуумом. Возможность центрировки диафрагм обеспечивает особенно большую четкость изображения за счет уменьшения астигматизма и других aberrаций. Возможность замены диафрагм под вакуумом допускает быстрый переход от светопольного изображения к темнопольному.

Специальное приспособление позволяет устанавливать условия, соответствующие наилучшей четкости, и поддерживать их в течение нескольких часов, либо воспроизводить с точностью до  $10^{-4}$ , что особенно важно при фотографировании с большим временем экспозиции. Жесткая связь между объектным патроном и полюсными башмаками объектива делает прибор нечувствительным к сотрясениям. Для устранения воздействия внешних магнитных полей на ход электронных лучей прибор экранирован пермаллоем. Источником электронных лучей служит система, состоящая из вольфрамовой проволоки (катода), расположенной внутри цилиндрического управляющего электрода (цилиндр Венельта), которому сообщается небольшой отрицательный потенциал, и коаксиального анода с просверленным в центре его отверстием, поддерживаемого при потенциале ускоряющего напряжения. При 100—200 V отрицательного напряжения на управляющем электроде и ускоряющем напряжении от 60 до 70 kV эта система дает слабо расходящийся электронный пучок с общим лучевым током  $2-5 \cdot 10^{-4}$  А. Расстояние между сечением пучка, отображаемым конденсорной оптикой, и центром конденсорной линзы примерно в два раза больше расстояния конденсор — объект, так что конденсорная оптика уменьшает сечение пучка в два раза. Облучаемая поверхность объекта составляет при этом лишь часть поля зрения, благодаря чему снижается общая тепловая нагрузка объекта и его держателя, что делает возможным исследование объектов, чувствительных к температуре.

Объект располагается в специальном патроне, который может перемещаться в плоскости, перпендикулярной оптической оси. Фокусное расстояние

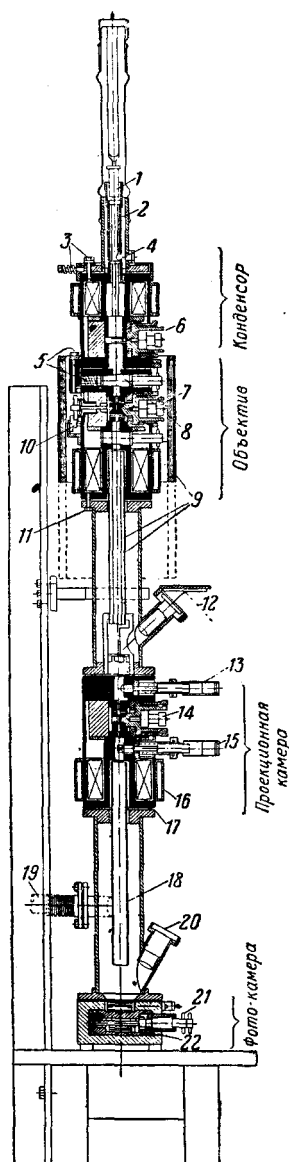


Рис. 1.

Разрез универсального электронного микроскопа. 1—источник электронов; 2—магнитная защита (пермаллой); 3—приспособление для юстировки катодной системы; 4—центрирующая диафрагма; 5—приспособление для юстировки конденсорной катушки; 6—вставка с диафрагмами для светлопольного и темнопольного освещения; 7—вставка с полюсными башмаками, держателем объекта и сменной диафрагмой; 8—вакуумные краны для отключения пространства объекта от главного вакуума; 9—магнитная защита (пермаллой); 10—приспособление для перемещения объекта ⊥ оптической оси; 11—приспособление для юстировки объектива; 12—окошко для наблюдения промежуточного изображения; 13—вспомогательный световой микроскоп с монокристаллическим экраном для наблюдения промежуточного изображения; 14—вставка с полюсными башмаками и сменной диафрагмой; 15—вспомогательный световой микроскоп с монокристаллическим экраном для наблюдения проекционного изображения; 16—водяное охлаждение; 17—корпус катушки; 18—магнитная защита (пермаллой); 19—соединение с насосом; 20—окошко для наблюдения конечного изображения; 21—приспособление для отключения фотокамеры от главного вакуума, впуска воздуха и перемещения кассеты; 22—затвор с флуоресцирующим экраном

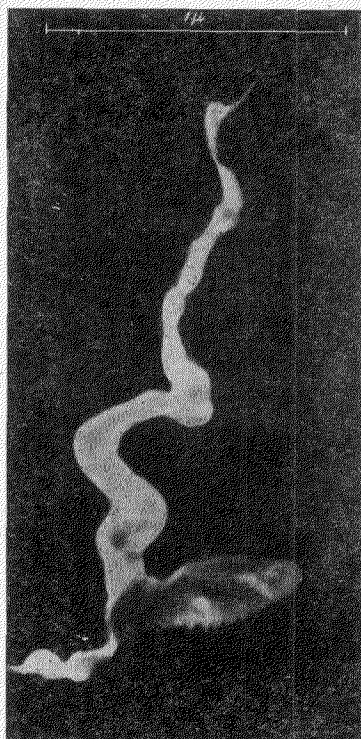
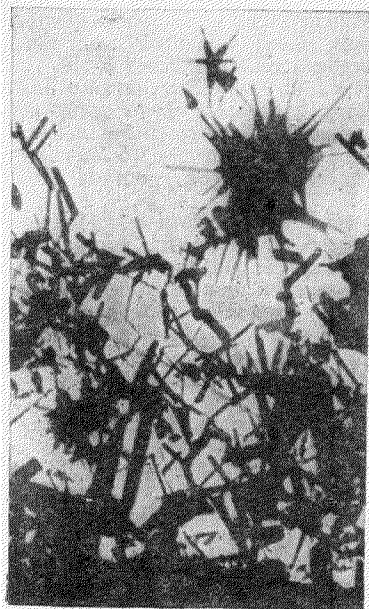


Рис. 2. Светлопольное изображение мельчайших кристаллов окиси цинка. Увеличение 50 000:1

Рис. 3. Темнопольное изображение тонкой нити  $\beta$ -полиоксиметилена. Увеличение 50 000:1

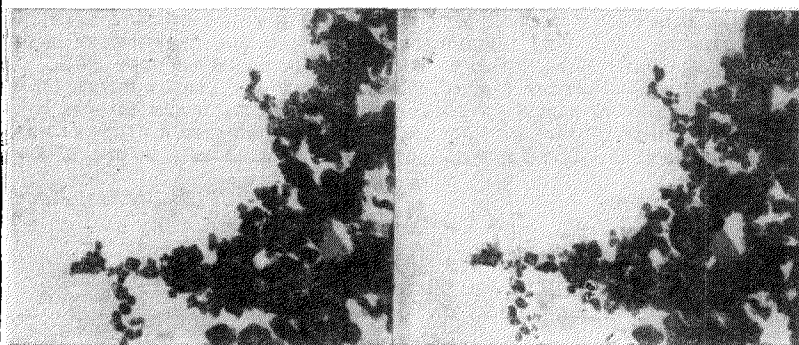


Рис. 4. Стереоскопическое изображение окиси магния. Увеличение 25 000:1. Угол наклона плоскости объекта  $4^\circ$

яние объектива составляет 2,5 мм в случае использования электростатической линзы (при напряжении 60 кВ) и 1,6—0,9 мм в случае магнитной линзы. Благодаря наличию кранов, отключающих пространство объекта и объектива от главного вакуума, процесс замены объекта или объектива занимает всего 2—3 мин.

Перед проекционной линзой располагается флуоресцирующий экран с небольшим отверстием, на который проектируется промежуточное изображение, даваемое объективом. Фокусное расстояние проекционной линзы может быть доведено до 1 мм. Расстояние от линзы до изображения как для объектива, так и для проекционной линзы равно 650 мм, так что максимальное увеличение, даваемое микроскопом, составляет  $5 \cdot 10^6$ .

Конечное изображение проектируется на расположенную в нижней части прибора фотокамеру, затвор которой покрыт флуоресцирующим составом, что дает возможность производить как фотографирование, так и визуальное наблюдение исследуемого объекта. Благодаря наличию герметического шлюза, смена кассет осуществляется без доступа воздуха в остальные части прибора.

Для контроля четкости изображения при юстировке и фотографировании прибор снабжен двумя вспомогательными световыми микроскопами с монокристаллическими флуоресцирующими экранами, располагаемыми на пути электронных лучей: первый в плоскости промежуточного изображения, второй за проекционной линзой на расстоянии, составляющем 100% от расстояния между проекционной линзой и конечным изображением.

Для получения стереоскопических изображений плоскость объекта посредством механических приспособлений может наклоняться в пределах угла 10—15°. Наклоняя плоскость объекта в ту и другую сторону, можно последовательно получить две фотографии одного и того же участка исследуемого объекта, отличающиеся лишь направлением проходящих сквозь объект электронных лучей. Эти фотографии могут далее рассматриваться с помощью обычного стереоскопа. Получение стереоскопических изображений представляет в этом случае особый интерес, так как применяемое в электронном микроскопе апертуры на 2—3 порядка меньше, чем в световом микроскопе, благодаря чему глубина фокуса оказывается в соответствующее число раз больше. Область наилучшей четкости в направлении оси электронного микроскопа имеет порядок величины диаметра поля зрения, что весьма повышает качество стереоскопических изображений. В ряде случаев только стереоскопическое изображение дает представление о действительном строении исследуемого объекта.

Разрешающую способность описываемого универсального электронного микроскопа, в случае использования магнитной оптики, при светлопольном изображении можно с уверенностью считать равной 30 Å. Однако, на приводимых в статье фотографиях вполне различимы частицы с диаметром даже порядка 10 Å. При темнопольном изображении практически достижимая разрешающая способность составляет по меньшей мере 50 Å.

Сравнения магнитных и электростатических объективов показали, что первые обладают большей разрешающей способностью, чем вторые.

Примером получаемых светлопольных, темнопольных и стереоскопических изображений могут служить фотографии, приведенные на рис. 2, 3 и 4.

*Д. Зернов, Москва*

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Ardenne, Z. Physik, **115**, 339, 1940.
2. B. Borries u. E. Ruska, Z. techn. Physik, **19**, 402, 1938.
3. H. Mahl, Z. techn. Physik, **20**, 316, 1939.