НОВЫЙ МЕТОД ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Сферическая аберрация электронных линз ограничивает, как известно, разрешающую способность электронного микроскопа примерно 5 Å. Исправление электронных линз, затруднительное само по себе, не имеет существенных перспектив, ибо разрешающая способность пропорциональна корню четвёртой степени от сферической аберрации и для увеличения разрешающей способности на один порядок необходимо уменьшение аберрации на четыре порядка, что практически безнадёжно.

Новый метод микроскопии, предложенный Габором *), позволяет устранить электронную оптику из процесса формирования изображения и создаёт, таким образом, возможность обойти эту трудность, правда, за счёт заметного ухудшения качества изображения. Процесс получения изображения при этом распадается на две последовательные и независимые операции: электронный анализ и оптический синтез, несколько напоминая этим «рентгеновский микроскоп» Брэгга.

«Осветительная» электронно-оптическая система собирает электронный пучок в фокус, вблизи от которого (за ним или перед ним) помещается рассматриваемый объект, причём размеры объекта должны быть несколько меньше, чем сечение электронного пучка в плоскости объекта. Если гауссовский диаметр фокуса меньше, чем $\frac{\lambda}{2}\sin\alpha$, где α — полураствор пучка, то обеспечивается достаточная когерентность пучка. Фактический диаметр фокуса, определяемый дифракцией и аберрацией в освещающей системе, может быть значительно больше. Первичная электронная волна будет интерферировать с когерентной частью вторичной, дифрагированной на объекте волны. Если на пути расходящегося от фокуса электронного пучка

*) D. Gabor, Nature, **161**, 777 (1948).

поместить фотопластинку, так, чтобы её расстояние от фокуса во много раз превышало расстояние от фокуса до объекта, то на ней получится отчётливая интерференционная картина.

Интерференционные максимумы будут, очевидно, наблюдаться в тех местах, где фазы первичной и вторичной волн совпадают (рис. 1) — во всяком случае, как отмечает автор, во внешней части интерференционной картины.

После проявления и репродуцирования максимумам интерференционной картины будут соответствовать места наибольшей прозрачности полученного позитива, причём величина прозрачности в максимумах будет примерно пропорциональна интенсивности дифрагированной волны. Таким

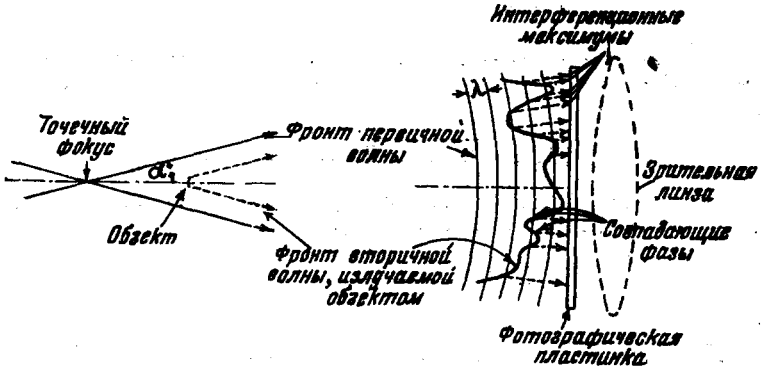

Рис. 1. Интерференция между гомоцентрической освещающей волной и вторичной волной, излучаемой объектом.

образом, если осветить фотографическую пластинку (позитив) оптической имитацией электронного пучка, то через неё пройдёт только та часть первичной волны, которая имитирует дифрагированную волну и по фазе и по амплитуде. Поэтому, рассматривая прошедшую через позитив световую волну с помощью оптической системы, отфокусированной на точку, имитирующую положение объекта, мы увидим изображение оригинального объекта. Автор отмечает, что «экранирование» части диффрагированной волны непрозрачными местами позитива не может привести к значительным искажениям.

Интересной особенностью этого метода является то, что, перемещая фокальную плоскость оптической системы, применяемой для просматривания позитива, можно с одним и тем же позитивом последовательно получить изображения любой плоскости объекта, ибо синтезированное оптической системой изображение является трёхмерным, так же как и оригинальный объект. Так как положительная и отрицательная разности фаз выступают на позитиве одинаково, при оптическом синтезировании появляется не одно, а два изображения объекта — до и после точечного фокуса освещающего пучка.

Для оптического имитирования электронного пучка необходимо увеличить все масштабы в отношении, равном отношению длин волн, т. е. примерно в 10^5 раз. При этом необходимо предусмотреть, чтобы осветительная система оптического синтезирующего устройства в точности имитировала бы электронную „осветительную" систему, включая аберрацию и прочие её дефекты. Эта задача, повидимому, вполне выполнима. Увеличения размеров позитива и расстояния между позитивом и фокусом,

которые при соотношении масштабов $1:10^5$ сделались бы непомерно большими, легко избежать, используя соответствующую оптику между позитивом и фокусом.

Описанное устройство на практике ещё не применялось и находится в стадии постройки, однако автор приводит результаты испытаний оптической модели, на которой позитив был получен в монохроматическом свете (рис. 2). Из рисунка видно, что синтезированное изображение весьма несовершенно, но позволяет всё же различить контуры большинства букв.

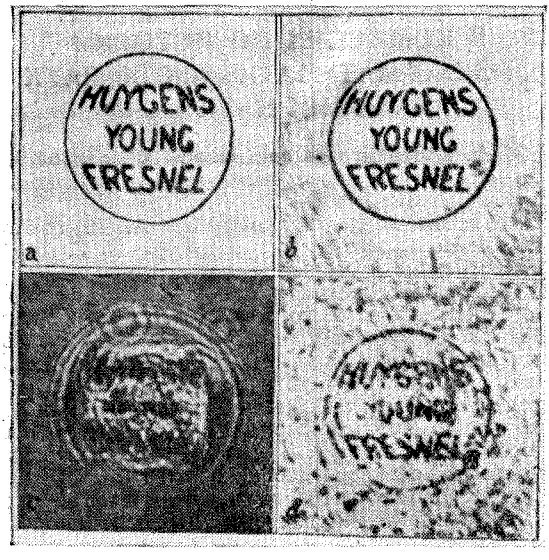

Рис. 2.

a — микрография оригинала диаметром 1,4 *мм*; *b* — микрография, снятая непосредственно через систему, служащую для оптического синтеза; *c* — интерференционная картина (позитив), полученная проектированием микрографии на фотографическую пластинку пучком, расходящимся из точечного фокуса; *d* — реконструкция оригинала путём оптического синтеза из позитива *c*. Сравнить с *b*. Буквы снова становятся различными.

Особенно сильно искажено изображение в центре, что, по словам автора, происходит вследствие влияния круглой диафрагмы. Остальные искажения автор относит на счёт дефектов микроскопических объективов, использованных в качестве осветителя и для фотографирования изображения. Автор предлагает назвать описанное им устройство «Электронным интерференционным микроскопом».

Г. Р.