ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, 2021, № 5, с. 156–158

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 681.723

ПРОСТОЙ ПОДВИЖНЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП ВЫСОКОГО УВЕЛИЧЕНИЯ

© 2021 г. А. Ю. Кунцевич

Поступила в редакцию 25.03.2021 г.
После доработки 27.03.2021 г.
Принята к публикации 30.03.2021 г.

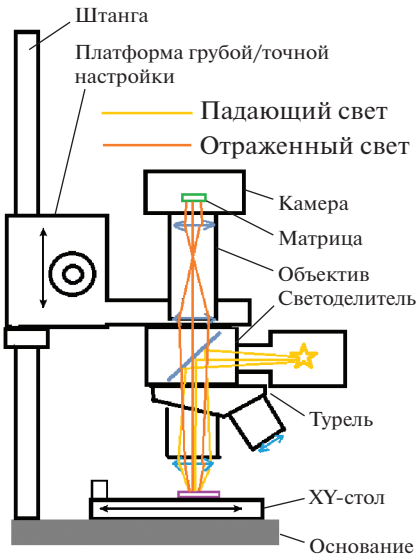
DOI: 10.31857/S0032816221050074

Создан микроскоп для наблюдения элементов с микронным разрешением в отраженном свете, в котором освещение осуществляется через объектив. Микроскоп имеет три переключаемых объектива различного увеличения, расположенных на турели, и оснащен камерой, подключенной к компьютеру и монитору. Схема прибора приведена на рис. 1а, а его внешний вид показан на рис. 1б. Микроскоп подвижен по вертикали, что позволяет исследовать объекты произвольной высоты. При создании прибора используются общепринятые оптические стандарты и очень недорогие компоненты, доступные на интернет-платформе www.aliexpress.com. Далее в скобках () приводятся строки, по которым поисковая система www.aliexpress.com позволяет найти соответствующий элемент.

которому подключается осветитель (Coaxial Microscope Light LED).

Объект исследования располагается в фокальной плоскости объектива с поправкой на бесконечность, что позволяет ставить видеокамеру на произвольном расстоянии. Использованный набор план объективов с большим рабочим отрезком (plan objective long working distance) увеличениями 10×, 20× и 50× обладает одинаковым расстоянием между посадочной и фокальной плоскостями, так что при их переключении в турели (Hole Microscope Objective Lens) предмет остается в фокусе. Объективы совместимы с выпускавшимися в СССР по резьбе (наружным диаметром 20.2 мм). Для объективов другого стандарта можно приобрести переходники (Micro-scope Objective Lenses Adapter Ring). По базовой плоскости турели выставляется держатель светоделительной пластины 1/1 (Coaxial Illuminated Digital Microscope Adapter), к

(а)



(б)

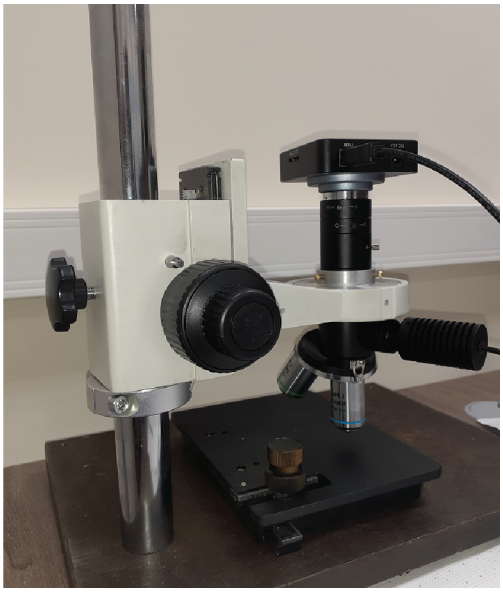


Рис. 1. Схема собранного микроскопа и хода лучей в нем (**а**) и внешний вид микроскопа (**б**).

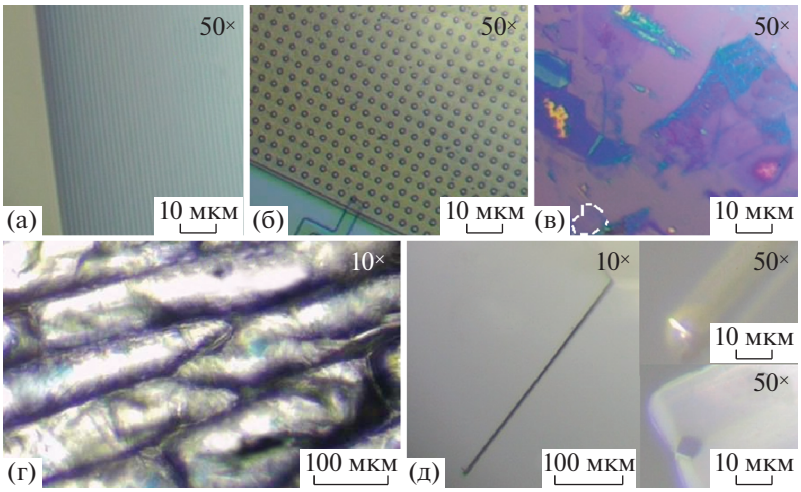


Рис. 2. Примеры изображений, получаемых в собранном микроскопе: **а** – поверхность компакт-диска (период 1.6 мкм); **б** – массив антиточек, изготовленный по Si-м.о.п.-технологии с периодом 5 мкм; **в** – отслоенный на оксид кремния графен (штриховой линией выделен монослой); **г** – клетки кожуры репчатого лука; **д** – балка с кантилевером атомно-силового микроскопа (слева – вид в профиль с объективом $10^{\times}$, справа – вид самого кантилевера $50^{\times}$ в профиль и сверху).

Микроскоп оснащен цветной к.м.о.п.-камерой с матрицей 38 Мпикселей и скоростью до 60 кадров/с (video microscope camera). Сохранение, обработка изображений и измерение длин осуществляются бесплатной программой ToupView. Чтобы сфокусировать на матрицу камеры получаемое из объектива изображение, к камере был приобретен объектив с переменным фокусным расстоянием 5–60 мм, вкручивающийся в нее по резьбе C-mount (Focus Length C Mount Lens). Объектив вместе с камерой фокусировались на удаленный объект.

Высота объектива управляется механизмом (Microscope Adjustment Coaxial Coarse and Fine), ручка на оси которого обеспечивает точную настройку фокуса (шкала деления 1 мкм), необходимую при работе с объективами большого увеличения, а наружная ручка — быструю грубую настройку. Механизм размещается на штанге ∅32 мм (Microscope Stand Holder Rod) со стопорной гайкой (optical axis locking ring) и крепится к микроскопу при помощи алюминиевой муфты с канавками для зажимных винтов, которая может быть напечатана из пластика на 3D-принтере.

Микроскоп легко улучшать и трансформировать. Например, вместо камеры можно поставить тринокуляр (Trinocular Head for Biological Microscope). Столик для образца (microscope stage xy platform) также существует в различных исполнениях. Осветительный тракт можно оснастить поляризатором, а перед камерой поставить анализатор, рамки для контролируемого вращения которых (rotating frame polarizer) нужно укрепить через муфту. Можно, установив соответствующие объективы и затемнитель, организовать наблюдение объектов в темном поле. Соединительные муфты позволяют потенциально сопрягать микроскоп с частями других оптических приборов, например с готовым осветительным блоком. Размещение микроскопа на штативе позволяет интегрировать его в такие установки, как атомно-силовой микроскоп, зондовая станция, или использовать для автоматического поиска объектов при помощи машинного зрения, если укомплектовать сканирующим моторизованным столиком (xy motorized stage). При освещении вместо белого света расфокусированным лазером можно наблюдать флуоресцирующие объекты или использовать прибор для наблюдения колец Ньютона в образовательных целях.

Образцы снимков высокого увеличения, полученные в данном микроскопе, показаны на рис. 2: продемонстрировано микронное разрешение на примере поверхности компакт-диска (рис. 2а) и микроструктуры – массива антиточек (рис. 2б), исследовавшегося в работе [1], микроскоп отлично подходит для различения атомно-тонких графеноподобных материалов (рис. 2в), полученных отслоением при помощи скотча, как в работе [2], биологических объектов (кожура лука на рис. 2г), непланарных объектов типа кантилевера атомно-силового микроскопа (рис. 2д).

Созданный прибор оказался в несколько раз дешевле металлографических микроскопов, имеющихся на рынке. Он развивает линейку самодельных устройств для сборки ван-дер-ваальсовых гетероструктур, создаваемую в ФИАН [3]. Планируется его дооснащение автоматизирован-

ным столиком XYZΘ и помещение в бокс с инертной атмосферой. Также микроскоп обладает образовательной ценностью, как прототип, в котором каждый узел по отдельности понятен и легко сопрягается с другими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kuntsevich A.Yu., Shupletsov A.V., Nunuparov M.S.* // Phys. Rev. B. 2016. V. 93. P. 205407. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.93.205407
2. *Akmaev M.A., Kochiev M.V., Duleba A.I., Pugachev M.V., Kuntsevich A.Yu., Belykh V.V.* // JETP Lett. 2020. V. 112. № 10. P. 607. https://doi.org/10.1134/S0021364020220063
3. *Martanov S.G., Zhurbina N.K., Pugachev M.V., Duleba A.I., Akmaev M.A., Belykh V.V., Kuntsevich A.Y.* // Nanomaterials. 2020. V. 10. № 11. P. 2305. https://doi.org/10.3390/nano10112305

Адрес для справок: Россия, 119991, Москва, Ленинский просп. 53, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. E-mail: alexkun@lebedev.ru