

*А. С. Першин, Е. А. Петрова\**

## **ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Многие из перспективных направлений в материаловедении, нанотехнологии, нанoeлектронике, прикладной химии связываются в последнее время с фуллеренами, углеродными нанотрубками (УНТ) и другими похожими структурами, которые можно назвать общим термином углеродные наноматериалы, обозначающем различные низкоразмерные структуры или наноструктурированные материалы, основой которых является углерод.

Современное развитие физики и технологии твердотельных наноструктур потребовало разработки новых и усовершенствования существующих диагностических методов, а также создания новых образцов оборудования для анализа свойств и процессов в низкоразмерных системах, в наноматериалах и в искусственно создаваемых наноструктурах. В этом плане особое внимание уделяется созданию и применению взаимодополняющих высокоразрешающих методов практической диагностики и характеристики наноструктур, обеспечивающих получение наиболее полной информации об основных физических, физико-химических и геометрических параметрах наноструктур и протекающих в них процессов.

В настоящее время существует огромное число методов диагностики, еще больше методик исследования физических и физико-химических параметров и характеристик твердотельных и молекулярных структур. Вместе с тем, получение наноструктур, низкоразмерных систем и новых наноструктурированных материалов с заданными свойствами, ставит и новые диагностические задачи. Для решения современных задач диагностики наноструктур требуется адаптация к этим задачам традиционных методов (оборудования), а также развитие новых, прежде всего локальных (до масштабов 0,1 нм) методов исследования и анализа свойств и процессов, присущих объектам нанометровой геометрии и системам пониженной размерности.

Методы нанодиагностики должны быть по возможности неразрушающими и давать информацию не только о структурных свойствах нанобъектов, но и об их электронных свойствах с атомным разрешением. Для разработки нанотехнологий решающим оказывается также возможность контролировать атомные и электронные процессы *in situ*

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Т. В. Пасько.

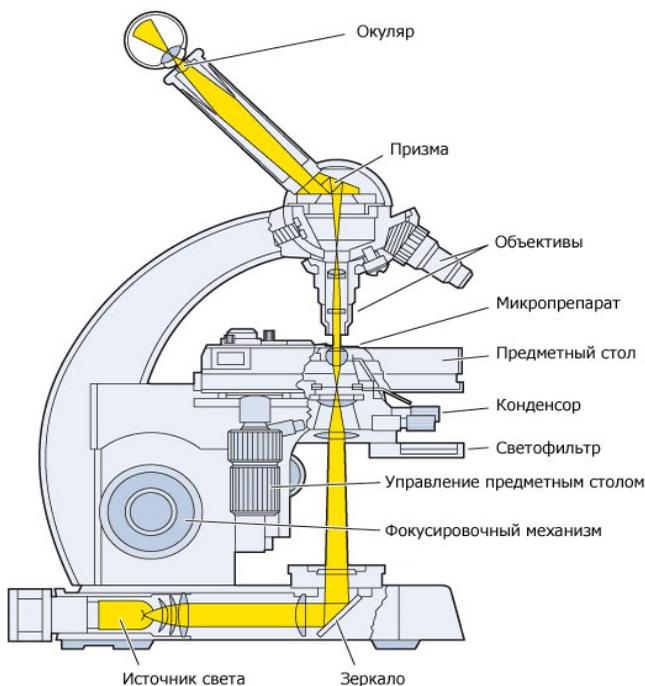
с высоким временным разрешением в идеале до времени, которое равно или меньше периода атомных колебаний (до  $10^{-13}$  с и менее). Необходима также диагностика электронных, оптических, магнитных, механических и иных свойств нанообъектов на «наноскопическом» уровне. Невозможность полного удовлетворения этих требований приводит к использованию комплекса методов диагностики нанообъектов, среди которых можно выделить поляризационную микроскопию – метод наблюдения в поляризованном свете для микроскопического исследования препаратов, включающих оптически. Оптические свойства анизотропных микрообъектов различны в различных направлениях и проявляются по-разному в зависимости от ориентации этих объектов относительно направления наблюдения и плоскости поляризации света, падающего на них. Наблюдение можно проводить как в проходящем, так и в отраженном свете. Свет, излучаемый осветителем, пропускают через поляризатор. Сообщенная ему при этом поляризация меняется при последующем прохождении света через препарат (или отражении от него). Эти изменения изучаются с помощью анализатора и различных оптических компенсаторов.

Для подготовки к исследованию частиц УНТ «Таунит» методом поляризационной микроскопии после их синтеза необходимо:

- размельчить некоторое количество УНТ в планетарной мельнице;
- полученный мелкодисперсный порошок УНТ погрузить в водный раствор;
- суспензию обработать с помощью ультразвуковой мешалки;
- зафиксировать образец до образования новых агломератов.

При подготовке образца, особое внимание необходимо уделить качеству измельчения исходного материала на планетарной мельнице, подобрав при этом оптимальный режим работы. Также на результаты поляризационной микроскопии оказывает влияние толщина материала между предметными стеклами. При исследовании толстых слоев создаются условия для наложения разных анизотропных структур друг на друга. Кроме того, при разной толщине образцов могут меняться анизотропные свойства изучаемых структур, поэтому очень важно, особенно при сравнительных исследованиях, обеспечивать постоянную толщину образцов. Рекомендуемая максимальная толщина образца не должна превышать 10 мкм.

Для данного исследования использовался микроскоп Altami 312. Принцип действия подобного рода приборов заключается в получении изображения после облучения исследуемого образца поляризационными лучами (при изменении направления поляризации света проявляются анизотропные свойства образца).

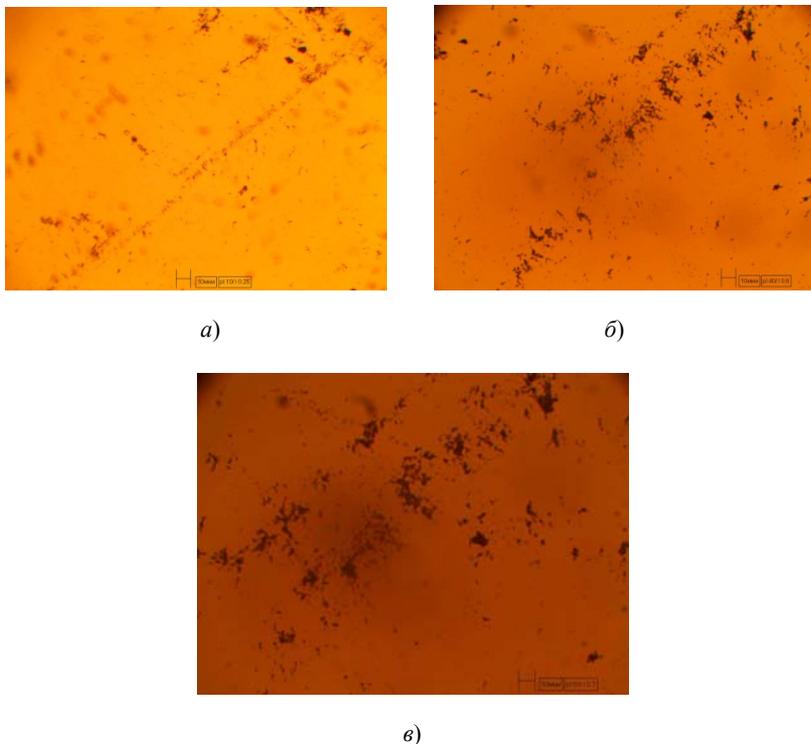


**Рис. 1. Схема расположения основных элементов оптического микроскопа Altami**

Используемый микроскоп Altami 312 применяется для исследований, как в проходящем поляризованном свете, так и в отраженном. Преимуществом данного микроскопа является наличие линзы Бертрана, помогающей точнее исследовать изменения, проявляющиеся при повороте предметного столика с объектом, сосредотачивая и увеличивая область наблюдения. Так же в устройстве микроскопа Altami 312, предусмотрены вращающиеся и разворачивающиеся друг относительно друга поляризаторы – поляризатор на  $360^\circ$  и анализатор на  $180^\circ$ .

Анализатор находится за объективом по ходу лучей, т.е. между объективом и окуляром (рис. 1). При скрещивании поляризаторов видимое поле должно быть равномерно темным (эффект погашения).

При достижении максимального затемнения настройка микроскопа считается законченной. Затем на предметный столик помещают исследуемый образец УНТ. Делают центровку образца относительно оптической оси, вращающегося на  $360^\circ$ .



**Рис. 2. Снимки образца УНТ «Таунит» полученные с микроскопа Altami 312:**  
*а* – приближение 8000×; *б* – приближение 32 000× раз; *в* – приближение 48 000×

Далее проводят непосредственные наблюдения и получают снимки с помощью встроенной в микроскоп цифровой камеры с использованием различных объективов (рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о мелкой дисперсности УНТ «Таунит» (размер частиц менее 1 мкм). Так же в ходе эксперимента обнаружена склонность частиц к образованию агломератов и увеличению размера агломератов со временем.

Подводя итог можно сказать, что оптическая микроскопия является очень важным инструментом для определения различных характеристик у материалов с микроструктурой.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*