

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТОНКИХ ПЛЕНОК С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ. СВЕРХВЫСОКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Досова А. П., Букато А. В.

Боднарь И.В. – д-р хим. наук, профессор  
Гременок В.Ф. – д-р физ.-мат.наук, профессор

Изображения полимеров в реальном пространстве с субмолекулярным разрешением могут дать ценную информацию о связи между морфологией и функциональностью полимерных оптоэлектронных устройств, но их получение проблематично из-за предполагаемых ограничений в атомно-силовой микроскопии (АСМ). В данной статье описывается способ, позволяющий получить изображения поверхности тонких пленок со сверхвысоким разрешением с помощью АСМ.

Возможность получать изображения в реальном масштабе микроструктуры полимерных материалов с молекулярным разрешением необходима для улучшения понимания и контроля их локального упорядочения, ключевого элемента, особенно это важно для проводящих и полупроводящих органических полимеров, которые широко используются в органических фотоэлектрических элементах, светодиодах и других гибких оптоэлектронных устройствах. Микроструктура полимера играет решающую роль в переносе носителей заряда и экситонов, определяя таким образом характеристики устройства. Здесь важно определить характер границ между доменами, которые имеют решающее значение для понимания переноса носителей на макроскопическом уровне и для этого используется сканирующая зондовая микроскопия, однако разрешение, которое обычно доступно с использованием обычной атомно-силовой микроскопии в условиях окружающей среды, является существенным препятствием для получения изображений, которые выявляют упорядочение полимеров в молекулярном и субмолекулярном масштабах [1].

В данной статье описывается возможность получения изображений полимеров в сверхвысоком разрешении с помощью атомно-силовой микроскопии. Обычно для этого подхода требуются специализированные Т-образные ультраострые кантилеверы с наконечниками из углеродного уса и модифицированный АСМ с улучшенными шумовыми характеристиками сигнала бокового отклонения [2]. Известно, что более высокие собственные моды могут обеспечить путь к более высокому разрешению на молекулярных пленках и двумерных (2D) материалах в условиях окружающей среды, а также что бимодальная полуконтактная визуализация может обеспечить высокое пространственное разрешение для изображений полимеров [3]. Однако также изображения со сверхвысоким разрешением могут быть получены в обычном полуконтактном режиме (режим переменного тока) с использованием стандартных зондов нитрида кремния в сочетании с коммерчески доступным инструментом путем возбуждения резонансов высших порядков кантилевера. Данный метод получения изображений рассматривается на примере материалов, которые широко используются для изготовления органических солнечных элементов и полевых транзисторов.

На рисунках 1-3 располагаются АСМ-изображения поверхности полукристаллической покрытой спином пленки РЗНТ.

Изображения были получены с помощью повернутого монолитного кремниевго зонда с симметричной формой наконечника, с основной частотой 67,7 кГц (3-я мода 1,255 МГц) при разной амплитуде и частоте сканирования.

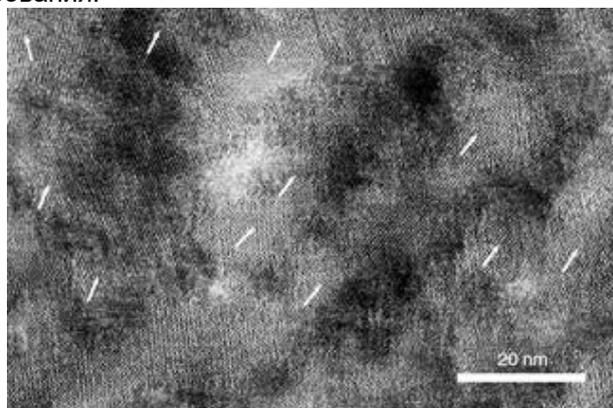


Рисунок 1 – Изображение поверхности полукристаллической покрытой спином пленки РЗНТ, 3-я мода, амплитуда 9 mV, сканирующая частота 4,34 Гц, разрешение 1536 × 1536

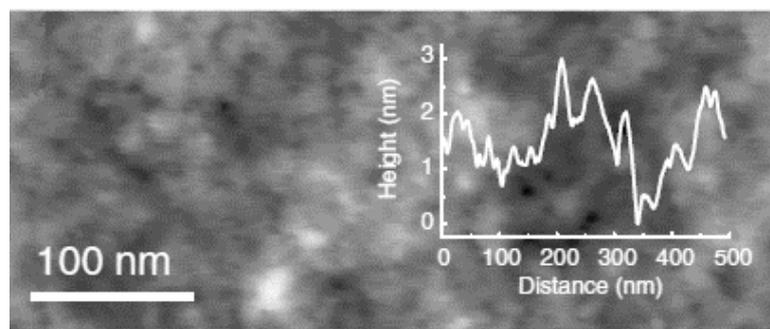


Рисунок 2 – Изображение поверхности полукристаллической покрытой спином пленки P3HT, 1-я мода, амплитуда 280 mV, сканирующая частота 1,5 Гц, разрешение 512 × 512

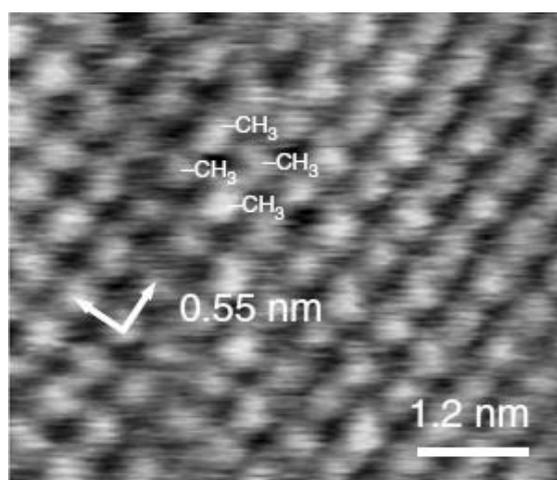


Рисунок 3 – Изображение поверхности полукристаллической покрытой спином пленки P3HT, 3-я мода, амплитуда 10 mV, сканирующая частота 1,5 Гц, разрешение 512 × 512

Исходя из приведенных выше изображений видно, что использование более высоких собственных мод при полуконтактном режиме АСМ может быть успешно использовано для получения изображений с высоким разрешением. Это подчеркивают важную роль АСМ с высоким разрешением в определении свойств полимерных материалов и тонких пленок, имеющих технологическое значение.

**Список использованных источников:**

1. Wang, D. & Russell, T. P. Advances in atomic force microscopy for probing polymer structure and properties / *Macromolecules* – 2018. – Vol. 51. – P. 3–24.
2. Savage, R. C., Mullin, N. & Hobbs, J. K. Molecular conformation at the crystal–amorphous interface in polyethylene / *Macromolecules* – 2015. – Vol. 48. – P. 6160–6165.
3. Korolkov, V. V., Allen, S., Roberts, C. J. & Tendler, S. J. B. Green chemistry approach to surface decoration: trimesic acid self-assembly on HOPG / *The Journal of Physical Chemistry* – 2012. – Vol. 116. – P. 11519–11525.