

ПРИМЕНЕНИЕ ПЭТФ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАНОПРОВОЛОЧНЫХ СТРУКТУР.

О.Г. Рыбалко^{1,2}

¹ *Московский государственный институт электроники и математики*

² *Институт Кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН*

E-mail: rybalko_og@mail.ru

The copper wires with the diameter from 1 μm down 30 nm are grown in etched ion-track membranes. Different possibilities for investigation and controlling of nanowires fabrication is reviewed. Individual wires are contacted by means of atomic force microscopy. Electronic transport and oxidation processes are investigated.

В последнее время для создания наноразмерных структур все чаще применяется метод матричного синтеза. Он основан на использовании пористой матрицы. Известно, что заряженная частица, летящая с большой скоростью, при прохождении через полимерную пленку образуют каналы радиационного повреждения (скрытые, латентные треки) с одинаковой плотностью дефектов. Последующее химическое травление удаляет разрушенный материал и превращает эти каналы в сквозные отверстия. Обработанная таким образом плёнка в последствии называется трековой мембраной (ТМ) или ядерным фильтром.

При надлежащем контроле над пространственным распределением частиц образующих треки и условиями травления можно получать структуры, имеющие заранее заданные геометрические параметры.

Для изготовления ТМ чаще всего используются ускорители тяжелых ионов. Равномерное облучение всех участков пленки тяжелыми ионами производится развертка пучка в горизонтальной плоскости путём сканирования переменным электрическим полем с частотой 2000 Гц. Скорость движения пленки в процессе облучения составляет от 0.1 до 2 м/с в зависимости от интенсивности ионного пучка и требуемой плотности облучения. Благодаря относительно высокой интенсивности пучков на ускорителях многозарядных ионов этот метод весьма производителен. Например, в течение 1 часа на циклотроне У-300 (Дубна) можно облучить $500\text{-}1000\text{m}^2$ полимерного материала при плотности треков 10^9cm^{-2} .

Дальнейшее химическое травление проводят в растворах щелочей. Исследования показали, что концентрационная и температурная зависимости скорости травления деструктурированных молекул, заполняющих объём трека, носят иной характер, чем для полимеров в исходном состоянии. В результате появляется возможность значительно изменять форму пор ядерных фильтров, варьируя в широких пределах технологические параметры процесса химической обработки [1].

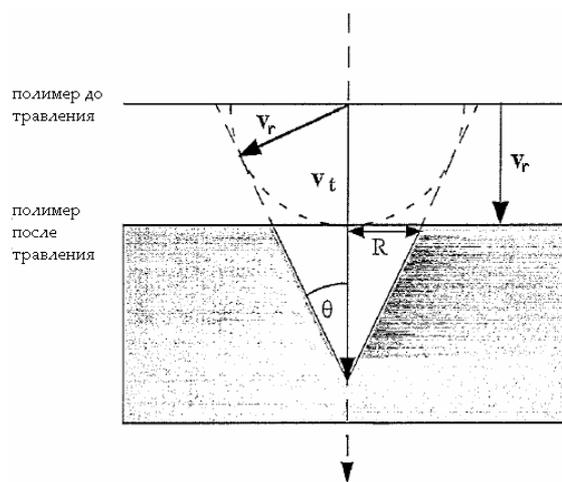


Рис. 1. Геометрия травления латентных треков определяется скоростью травления неповреждённого полимера V_r и скоростью травления вдоль латентного трека V_t .

Конечная форма пор в трековой мембране определяется главным образом двумя величинами: скорость травления вдоль трека V_t и скорость травления неповреждённого полимера V_r . А так же их отношением $\beta = \frac{V_t}{V_r}$, которое служит критерием селективности травления, и в итоге определяет конечную форму пор.

Следующей задачей матричного синтеза является заполнение пористой мембраны требуемым веществом. Нами был использован метод электрохимического синтеза. В этом случае первоначально наносится тонкий контактный слой (например, термическим распылением металла на поверхность мембраны) который в последующем процессе служит катодом. Электрохимическое заполнение поры начинается от контакта в конце поры; продолжительность процесса определяют длину получаемой реплики.

Однако, заполнение пор по всей поверхности полимера является не одинаковым. В результате получают области с острями не полностью заполнившими поры, а так же с теми которые «вышли» на поверхность и образовали своеобразную шляпку (рис. 2).

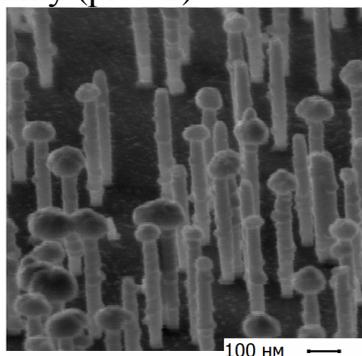


Рис. 2. СЭМ изображение цилиндрических нанопроволок с $d = 50$ нм.

Таким образом, можно отметить быстроту, экономичность и лёгкость регулирования формы получаемых наноструктур на стадии изготовления

самой матрицы. В связи с этим возникает необходимость контроля не только готовых структур, но и самих пористых матриц на различных этапах её производства. Настоящая работа посвящена исследованию матриц до и после их заполнения.

Первым этапом контроля при создании вторичных структур является изучение формы и размера пор матрицы. Одним из методов является электронная сканирующая микроскопия (СЭМ). Однако она имеет ряд недостатков, которые связаны с предварительной деструктивной подготовкой образцов и препятствуют изучению материалов с малыми диаметрами пор (от 50 нм и меньше). Это связано с тем, что изучаемый нами полиэтилентерефталат (ПЭТФ) является диэлектриком. Данное обстоятельство требует предварительного покрытия образцов проводящим материалом для изучения в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). В этом случае может происходить нивелирование мелких особенностей поверхностной структуры полимера. Более того, зачастую поверхность полимеров имеет развитый микрорельеф, который при изучении пор диаметром меньше 50 нм может дать дополнительные искажения. Что, в конечном счете, приводит к неправильному определению, как плотности, так и размера и формы пор.

Поэтому для изучения поверхности мембраны нами была выбрана атомно-силовая микроскопия. Этот неразрушающий и не требующий какой-либо дополнительной подготовки образцов метод позволяет быстро получить изображение поверхности с хорошим пространственным разрешением (рис. 3). Нами было проведено исследование трековых мембран на основе ПЭТФ с различными диаметрами пор, от 30 нм до 1 мкм. Сравнение СЭМ и АСМ результатов изучения поверхности трековых мембран показало, что наилучшим методом для изучения образцов с диаметром пор менее 50 нм является атомно-силовая микроскопия.

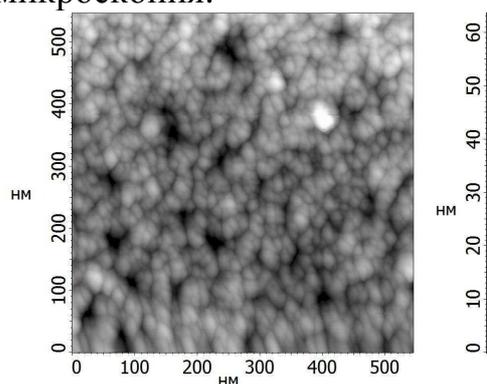


Рис. 3. АСМ изображение поверхности ПЭТФ с диаметром пор 50 нм.

Вторым этапом в контроле изготовления вторичных наноструктур является исследование самих структур.

Ранее для исследования полученных острий полимерную матрицу полностью удаляли с последующим просмотром образцов в СЭМ. Нами был предложен метод исследования композитного материала (металл-полимер), который позволил применить атомно-силовую микроскопию (АСМ). Отличительной особенностью данного метода явилась возможность изучения

локальных электрических характеристик с одновременным получением данных о рельефе поверхности. Для этого использовался дополнительный режим АСМ – отображение сопротивления растекания тока. Он заключается в следующем. Проводящий зонд АСМ находится в контакте с поверхностью, между ними прикладывается напряжение смещения и проводится измерение результирующего тока через образец одновременно с получением данных о рельефе по методу постоянной силы. Если предположить, что контактное сопротивление «зонд-образец» постоянно, то при заданном смещении величина измеряемого тока пропорциональна локальному сопротивлению исследуемого образца.

Рис. 4б иллюстрирует распределение сопротивления растекания. Здесь можно заметить, что не только шляпки обладают проводимостью.

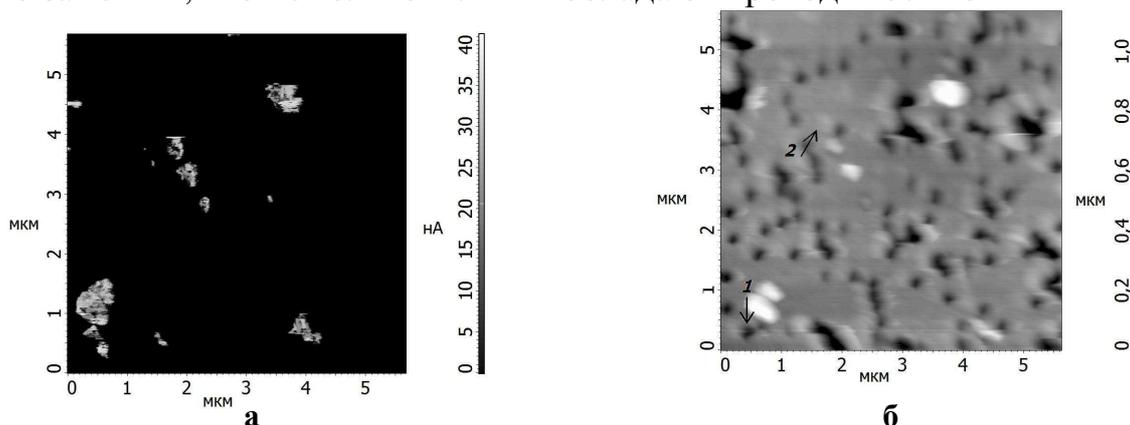


Рис. 4. Изображение поверхности полимерной матрицы с проращенными остриями: а – топографическое изображение, полученное в контактном режиме; б – распределение сопротивления растекания.

Стрелка 1 указывает на проводящую пору. Этот случай может быть связан с тем, что зонд АСМ имел достаточную длину и, провалившись в пору, сумел достать до металлического острия. Стрелка 2 указывает так же на области, обладающие проводимостью, но не отличимые от полимерной матрицы на топографической картине. Это иллюстрирует случай полностью проращенных нанопроволок с малой или отсутствующей «шляпкой».

В работе так же рассматривается потенциальное применение получаемых структур. Увеличение эффективной площади поверхности приводит к возможности их применения в качестве охлаждающих поверхностей. Но наибольший интерес связан с возможностью применения получаемых нанопроволок в электронике. В связи с этим, открывается ещё одно преимущество АСМ, связанное с его возможностью отображение сопротивления растекания. Так же будут рассмотрены характеристики электронного переноса и процесса окисления.

1. Trautmann C., Briichle W., Spohr R., Vetter J., Angert N. Pore geometry of etched ion tracks in polyimide. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Bill, 1996, pp.70-74