

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В ЖИДКОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Лежик С.Д., Зноско К.Ф., Шупан П.И., Волков И.А.

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Гродно, Республика Беларусь

Введение. В последние годы полимерные наночастицы привлекают все большее внимание в связи с развитием методов их получения, а также, что, может, не менее важно, методов их исследования [1-3]. В настоящее время полимерные ультрадисперсные материалы находят применение в микроэлектронике, катализе, триботехнике, микробиологии и других областях. Зачастую наночастицы вводятся в жидкие среды, поэтому эффективные методы получения наночастиц полимерных материалов непосредственно в жидкости могут представлять практический интерес. Среди полимерных материалов особое место занимает политетрафторэтилен, обладающий превосходными анти-фрикционными свойствами, высокой химической и термической стойкостью. Наночастицы этого материала могут выполнять роль противозносных наноприсадок в технических жидкостях, функциональных покрытиях, композиционных материалах. Одним из способов получения наночастиц твердофазных веществ в жидкости является лазерная абляция. Настоящая работа посвящена лазерной абляции политетрафторэтилена в жидкой среде и изучению образующихся при этом наноструктур.

Материалы и техника эксперимента. В качестве мишени при проведении импульсной лазерной абляции (ИЛА) использовали промышленный политетрафторэтилен (ПЭТФ) марки Ф-4 по ГОСТ 10007-80. Абляцию проводили излучением неодимового лазера LS-2147 с длиной волны 532 нм и 355 нм. Частота импульсов составляла от 1 до 10 Гц. Энергия в импульсе варьировалась от 15 до 120 мДж. Длительность импульсов составляла 30 нс (16 нс на полувысоте импульса). Лазерное излучение фокусировалось на мишень, находящуюся под слоем жидкости на различной глубине. В качестве жидкости, в которой осуществлялась абляция, применяли дистиллированную воду.

Исследования размерных характеристик частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости, проводили с использованием атомно-силового микроскопа NT-206. Сканирование проводили на воздухе, при нормальных условиях и комнатной температуре с использованием кантилевера CSC 38/AIBS жесткостью 0,03 Н/м.

Результаты и их обсуждение. В отличие от наблюдаемого при абляции металлов в различных жидкостях значительного изменения цвета образующейся суспензии [4], при абляции политетрафторэтилена в воде наблюдалось лишь незначительное помутнение жидкости. Для проведения исследований частиц методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) пробы полученной суспензии наносили на подложку из кварцевого стекла с последующим высушиванием. На

рис. 1 представлены характерные изображения частиц, полученных в результате абляции политетрафторэтилена импульсным лазерным излучением с длиной волны 532 нм, на которых видны как скопления наноразмерных частиц (измерения по оси Z на АСМ-изображениях), так и отдельные крупные частицы субмикронного и микронного размерного уровня.

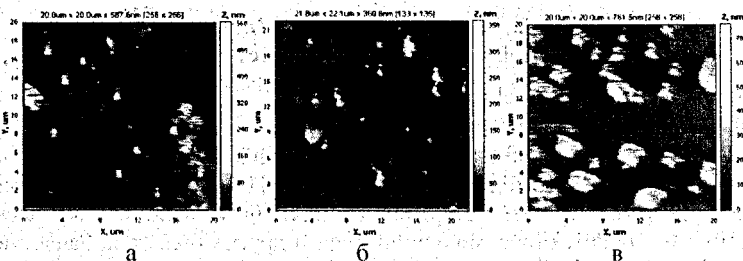


Рисунок 1 – АСМ-изображения частиц, полученных ИЛА политетрафторэтилена в дистиллированной воде при различных значениях энергии в импульсе: а – 30 мДж, б – 60 мДж, в – 120 мДж

Установлено, что размер частиц, образующихся при импульсной лазерной абляции политетрафторэтилена в дистиллированной воде, зависит от энергии в импульсе (рис. 2). При значениях энергии в импульсе 20-30 мДж пик распределения частиц по размерам приходится на 20-40 нм. С увеличением энергии в импульсе до 60 мДж наблюдается смещение максимума на гистограмме распределения частиц по размерам в область 40-60 нм, а при энергии в импульсе в 120 мДж большая часть продуктов абляции имеет размеры от 100 нм и более. Наблюдаемую зависимость можно объяснить тем, что с ростом энергии в импульсе увеличивается и ванна расплава на поверхности мишени. Чем больше ванна расплава, тем большее количество частиц материала покидает поверхность и тем больше вероятность их агрегации в результате столкновения их между собой [4]. Кроме того, с увеличением энергии лазерного воздействия возрастает и роль так называемых фотомеханических эффектов, т.е. деформаций и разрушения материала мишени из-за возникающих термоупругих напряжений [5], приводящих к образованию крупных частиц.

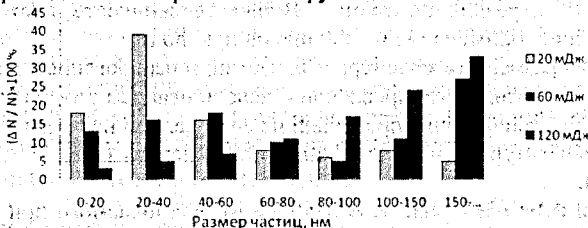


Рисунок 2 – Размерное распределение частиц, полученных при ИЛА политетрафторэтилена в воде при различных значениях энергии в импульсе лазерного излучения

При уменьшении длины волны лазерного излучения при прочих равных условиях наблюдается увеличение доли более крупных частиц (рис. 3).

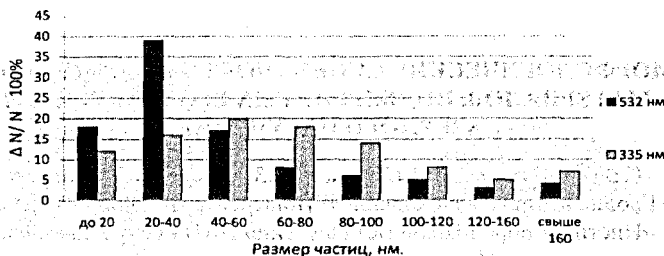


Рисунок 3 – Размерное распределение частиц, полученных при ИЛА политетрафторэтилена в воде при различных значениях длины волны лазерного излучения (энергия в импульсе – 20 мДж)

Можно предположить, что переход длины волны излучения лазера из видимого диапазона (532 нм) в ближний ультрафиолет (355 нм) сопровождается более интенсивным энергетическим воздействием на мишень с реализацией описанных выше механизмов образования крупных частиц.

Приведенные результаты справедливы для абляции политетрафторэтилена, находящегося под слоем жидкости в 6 мм. Принципиальных качественных и количественных различий в результатах экспериментов при толщине слоя жидкости от 3 до 12 мм не зафиксировано. Эксперименты показали, что при расположении мишени на глубине меньше 3 мм при используемых нами значениях энергии в импульсе лазерного излучения воспроизводимость результатов низкая. Возможно, это связано с выбросом части продуктов абляции за пределы кюветы с брызгами жидкости, образующимися при микровзрывах. При помещении мишени на глубины большие, чем 12 мм, усиливается роль поглощения излучения в жидкости.

Заключение. Экспериментально установлено, что при импульсной лазерной абляции политетрафторэтилена в дистиллированной воде образуются частицы наноразмерного и субмикронного уровня. Показано, что увеличение энергии в импульсе и уменьшение длины волны лазерного излучения способствуют образованию более крупных частиц.

Работа выполнена в рамках задания 2.3.11. Государственной программы научных исследований «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы».

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Поул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Поул – мл., Ф. Оуэнс. – Москва: Техносфера, 2006. – 336 с.
2. Гракович, П.Н. Лазерная абляция политетрафторэтилена / П.Н. Гракович [и др.] // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 2008. – т. LI, № 3. – С. 97-105.
3. Голодков, О.Н. Влияние гамма-облучения на лазерную абляцию поликетона / О.Н. Голодков [и др.] // Взаимодействие излучения с твердым телом: материалы 10-й. Междунар. конф. Минск, 24-27 сентября 2013г. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]; ред. кол.: В.М. Анищик (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2013. – С. 24-26.
4. Симакин, А.В. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях / А.В. Симакин [и др.] // Труды института общей физики им. А.М. Прохорова. – 2004. – Том 64. – С. 83-107.
5. Булгаков, А.В. Синтез наноразмерных материалов при воздействии мощных потоков энергии на вещество / А.В. Булгаков [и др.] // – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2009. – 462 с.