

УДК 54.057: 544.536

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ПЛЕНОК НИТРИДА УГЛЕРОДА МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

В.Н. Варакин, Ю.Я. Кузяков

(кафедра лазерной химии; e-mail: varakin@laser.chem.msu.ru)

Впервые быстродействующий пироэлектрический приемник использован для изучения синтеза пленок методом импульсного лазерного осаждения (ИЛО). Измерения осуществляли в реальных условиях осаждения пленок нитрида углерода. Исследована динамика осаждения частиц и индуцированного ими нагрева подложки. Показано, что в двухимпульсном режиме ИЛО реализуются эффективная доставка прекурсорных молекул из газовой фазы на подложку и новый канал синтеза молекул CN.

Ключевые слова: нитрид углерода, синтез пленок, импульсное лазерное осаждение, пироэлектрический приемник.

Теоретически предсказано существование твердофазных азот-углеродных материалов с уникальными функциональными свойствами. Например, твердость β -фазы C_3N_4 должна быть сравнима с твердостью алмаза [1]. Эти предсказания стимулировали многочисленные исследования, посвященные синтезу таких материалов. Для синтеза использовали разнообразные методы, в том числе имплантацию ионов азота в углеродную матрицу, магнетронное распыление графита в азоте, химические реакции, инициированные лазерным излучением в смесях метана (или этилена) с азотом (или аммиаком) и т.п. [2].

Одним из наиболее эффективных методов синтеза азот-углеродных пленок стал метод импульсного лазерного осаждения (ИЛО), который заключается в лазерной абляции графита в азоте при давлении 1–100 Па с последующим осаждением продуктов газофазных химических реакций на подложку. Основная особенность ИЛО – создание импульсного потока частиц с большими плотностями и скоростями, при этом в его состав входят реакционно-активные частицы: электронно-возбужденные атомы и молекулы, а также ионы. Это существенно повышает вероятность осуществления химических реакций с окружающим газом. Процесс создания пленки методом ИЛО можно разделить на три этапа: 1) абляция твердофазной мишени мощным лазерным излучением, приводящая к фрагментации вплоть до атомов, ионизации и формированию импульсного потока частиц (светящаяся часть которого называется лазерным факелом); 2) физико-химические реакции частиц между собой и

с окружающим газом при их движении к подложке; 3) осаждение продуктов газофазного синтеза на подложку и формирование структуры пленки в ходе поверхностной диффузии. Если первые два этапа интенсивно изучали как экспериментально, так и теоретически [3–8], то процессы роста пленки изучены недостаточно вследствие сложности эксперимента и недостаточности теоретических представлений.

Основными экспериментальными методами исследования процессов ИЛО в газе являются оптические (эмиссионная оптическая спектроскопия, лазерно-индуцированная флуоресценция, скоростная фотография) [3–5] и детектирование заряженных частиц с временным разрешением (включая масс-спектрометрию) [7, 8]. К сожалению, не удается получить полную картину превращений с испаренными частицами, так как оптические методы имеют ограничения по возможности идентификации частиц, а для масс-спектрометрии необходимы высоковакуумные условия. Формирование пленки исследуется методами поверхностного анализа, которые требуют сверхвысоковакуумных условий [9, 10]. Поэтому сейчас основным путем изучения синтеза пленок остается сравнительный анализ готовых пленок, полученных при разных параметрах ИЛО. Существенный прогресс в понимании роли этих параметров может дать информация о частицах, осаждающихся на подложку. Это позволит разделить процессы в газовой фазе и на поверхности, облегчив тем самым формирование представлений о ИЛО. Импульсный характер процесса синтеза обуславливает необходимость контроля не только состава частиц,

но также динамики их осаждения и приносимой ими энергии. Кратковременный нагрев поверхности подложки падающими частицами важен для образования кристаллической структуры пленки.

В настоящей работе было впервые предложено использовать быстродействующий пироэлектрический приемник для исследования ИЛО, а именно для изучения динамики прилета испаренных частиц (включая электроны и ионы) и нагрева поверхности. Ранее таким приемником изучали кластеризацию атомов и молекул в импульсной газодинамической струе [11]. Мы проводили измерения в реальных условиях синтеза пленок нитрида углерода (в азоте при давлении ~ 100 Па), поместив пироэлектрический приемник на место подложки для осаждаемой пленки. Изучался как стандартный вариант ИЛО, так и двухимпульсный режим лазерной абляции, предложенный ранее на кафедре лазерной химии и обеспечивший повышение кристалличности пленок нитрида углерода [12]. В качестве дополнительного метода для анализа заряженных частиц применяли электрический зонд.

Экспериментальная часть

Экспериментальная установка для изучения синтеза пленок нитрида углерода включает два импульсных лазера, вакуумную камеру, пироэлектрический приемник, электрический зонд и компьютерный осциллограф. Откачку камеры проводили насосом “2НВР-5М”. Напуск азота осуществляли в режиме прокачки. Давление контролировали с помощью манометрического преобразователя “ПМТ-6-3” (рабочий диапазон $0,27-10^5$ Па) на цифровом регистрирующем приборе. В камере на столике, вращаемом электродвигателем со скоростью 8,7 об./мин, была прикреплена мишень – графитовая пластинка. На расстоянии 23 мм от мишени и на 8 мм ниже оси ее вращения был помещен пироэлектрический приемник. Перед ним располагалась металлическая заслонка или электрический зонд для детектирования заряженных частиц.

Использовали два Nd-YAG-лазера: “ЛТИ-411” (лазер 1) и “ЛТИ-407Б” (лазер 2) с преобразованием излучения во вторую гармонику (длина волны 532 нм, длительность импульсов 15 нс, значения энергии импульсов 60 и 70 мДж). Излучение лазеров фокусировали линзами с фокусными расстояниями 17 и 14 см и направляли под углом 45° на мишень (размеры площади облучаемых областей составляли $0,4$ и $0,2$ мм²). Вращение мишени препятствовало образова-

нию кратеров на ее поверхности. Задержку между лазерными импульсами обеспечивали генераторы “Г5-56”. Энергию и временное положение лазерных импульсов контролировали фотодиоды “ФД-24К”. Используемый для измерения формы импульсного лазерного излучения пироэлектрический приемник со встроенным предусилителем “БП-10” (“*Риэлта*”) обладал временным разрешением 10 нс и вольтовой чувствительностью 5×10^{-4} В/Вт при температуре черного тела 573 К, частоте модуляции 20 Гц, в полосе частот 1 Гц. Для регистрации падающих частиц было демонтировано входное окно приемника. Электрический зонд, на котором измеряли напряжение, представлял собой изолированную медную пластинку с отверстием в изоляции диаметром 5 мм, он был нагружен на сопротивление 50 Ом. Сигналы с пироэлектрического приемника, электрического зонда и фотодиодов регистрировали на компьютерном цифровом осциллографе “PSC-500” (“*Velleman*”) с дискретностью точек 20 нс.

Результаты и обсуждение

Первоначально пироэлектрический приемник предназначался для измерения величины кратковременного нагрева падающими частицами. Высокое временное разрешение этого прибора позволило различать сигналы, вызванные группами частиц, заметно отличающихся по массе (времени прилета), а также изучать динамику прилета разных частиц. Измерения, проведенные с помощью пироэлектрического приемника (и электрического зонда), привели к новым представлениям о процессе ИЛО и раскрыли возможности его двухимпульсного варианта.

Одноимпульсный режим лазерной абляции. Максимальный нагрев поверхности подложки достигается при осаждении частиц, испаренных в вакууме. С ростом давления N_2 -газа в камере происходит рассеяние и торможение испаренных частиц молекулами газа, а значит, уменьшение числа и кинетической энергии долетевших до подложки частиц. Временная форма сигнала пироэлектрического приемника связана как с распределением по времени (t) пролета частиц от мишени до приемника, так и с величиной приносимой ими энергии. Кратковременному нагреву поверхности используемого приемника отвечают сигналы отрицательной полярности. Если частицы не осаждаются на поверхности (например, молекулы N_2), а отражаются от нее, то они не ведут к появлению пироэлектрического сигнала. Однако наблюдались и ин-

тенсивные положительные пики на малом времени пролета ($t < 1$ мкс). Приемник представляет собой плоский конденсатор, заполненный между обкладками пьезокерамикой на основе твердых растворов цирконатов – титанатов свинца, поэтому он чувствителен к попаданию на обкладку заряженных частиц. Присутствие положительных пиков обусловлено электронами. Вместе с тем даже при перекрытии доступа частиц из мишени к приемнику с помощью заслонки сохранялся сигнал, обусловленный электромагнитной наводкой от лазерной плазмы на поверхности мишени. Он искажал вид быстрых сигналов для заряженных частиц. Поэтому в зависимостях, полученных с помощью пироэлектрического приемника, начальный участок ($t < 2$ мкс) не представлен. Сигнал от ионов связан как с приносимым ими зарядом, так и с нагревом пироэлектрика, что затрудняет его интерпретацию. Для изучения сигналов от заряженных частиц использовали электрический зонд.

Измеренные при разных давлениях окружающего газа N_2 временные зависимости сигналов электрического зонда и пироэлектрического приемника представлены на рис. 1, 2 соответственно. Наводка на электрический зонд (первый положительный пик с максимумом при $t_m = 0,04$ мкс) разделяется по времени от сигнала для электронов (второй положительный пик при $t_m > 0,3$ мкс) и ионов (отрицательный пик при $t_m \approx 1,4$ мкс), а более легким ионам C^+ соответствует пик с минимумом при $t_m \approx 0,6$ мкс). Амплитуда пика электронов при добавлении N_2 линейно уменьшалась от давления, так как любое столкновение с окружающими молекулами препятствует попаданию электрона в электрический зонд. Сигнал электронов может служить индикатором общего числа молекул газа на пути от

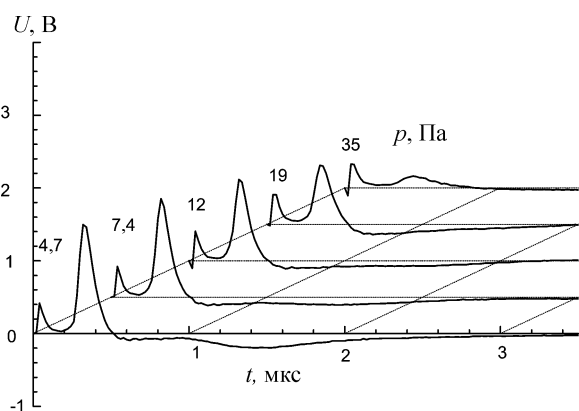


Рис. 1. Временная форма напряжения на нагрузке (U) электрического зонда при разных значениях давления азота (p). На всех рисунках экспериментальные зависимости представляют собой усреднение результатов 5–7 измерений

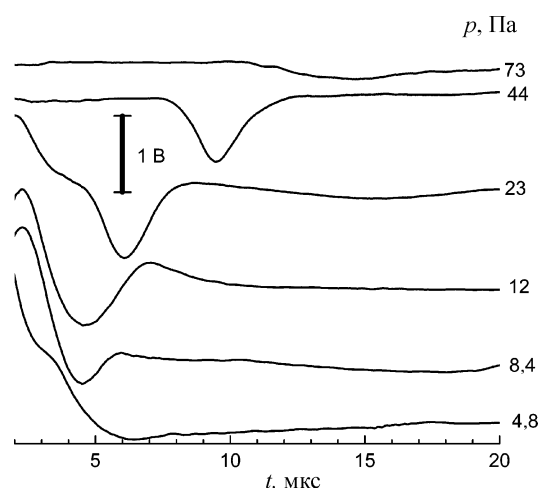


Рис. 2. Временная зависимость сигнала пироэлектрического приемника в одноимпульсном режиме при разных значениях давления азота (p). На рисунке зависимости смещены по вертикали относительно друг друга

мишени к приемнику. Амплитуда ионных сигналов росла при $p < 20$ Па, затем этот сигнал резко исчезал. В вакууме поток испаренных заряженных частиц содержит одно- и многократно заряженные атомарные ионы и молекулярные ионы углерода C_n^{K+} [6, 7]. В наших условиях лазерной абляции преобладают ионы C_2^+ , которым отвечает задержанный отрицательный пик ($t_m \approx 1,4$ мкс), а более легким ионам C^+ соответствует пик с минимумом при $t_m \approx 0,6$ мкс. Широкий отрицательный пик пироэлектрического сигнала при $t \approx 5$ мкс, при малых давлениях и без напуска азота, по-видимому, описывает атомы углерода. Рост амплитуды первого ионного пика при $p < 20$ Па и сигнала нейтральных атомов при $p < 12$ Па можно связать с фрагментацией молекулярных ионов при столкновениях с окружающим газом, а падение и запаздывание этих сигналов при больших давлениях обусловлено возрастающим рассеянием этих частиц в N_2 . Образование ионов C^+ при ионизации атомов под действием электронов из-за малой энергии последних связано, по-видимому, только с наличием электронно-возбужденных атомов в лазерном факеле.

Таким образом, исследование динамики испаренных частиц быстродействующими пироэлектрическим приемником и электрическим зондом показывает, что на расстояниях ~ 20 мм от мишени направленное движение частиц, образовавшихся при лазерной абляции графитовой мишени, полностью нарушается при давлении азота свыше 100 Па. Высокое давление N_2 благоприятно для химических реакций между высоко-

коэнергетическими испаренными частицами и молекулами газа вблизи мишени, но синтезированные прекурсорные для формирования пленки молекулы могут достичь в этих условиях подложки только в ходе диффузионного движения и не могут вызвать сколько-нибудь заметного локального нагрева подложки, благоприятного для формирования структуры осаждаемой пленки.

Двухимпульсный режим ИЛО. Поток испаренных вторым лазером частиц распространяется в среде с неравновесным неоднородным распределением плотности молекул газа, созданным первым импульсным потоком. Восстановление равновесного распределения может происходить на отрезке времени, сравнимом с используемыми задержками второго лазерного импульса (t_d), что делает картину происходящих процессов сложной. При распространении от мишени к подложке импульсный поток испаренных частиц давит на окружающий газ – в результате в области от мишени до фронта импульсного потока формируется область разрежения для азота, а от фронта до подложки – область повышенного давления. Можно выделить две характерные временные области. Первая – до момента (t_1) достижения молекулами неподвижного препятствия (подложки). На этом этапе в основном происходит движение газа в продольном направлении. На втором этапе при встрече отраженных от подложки молекул газа с подпирающим потоком частиц осуществляется выдавливание газа в стороны, пока поток не остановится (момент времени t_2). Восстановление исходного давления на пути распространения лазерного факела осуществляется за счет поперечных газовых потоков. Импульсный поток частиц от задержанного лазерного импульса формируется и сначала распространяется в области разрежения. Столкновения между частицами приводят как к возврату части из них на мишень, так и к появлению более быстрых частиц, движущихся вперед. При встрече второго импульсного потока частиц с остановленным первым потоком происходит передача импульса его частицам, и они могут достичь подложки, преодолев слой сжатого газа.

Измерения в двухимпульсном режиме проводили при давлении азота 133 Па. С помощью электрического зонда наблюдали сигналы (рис. 3) от электронов (временное положение максимума пика $t_m \approx 0,06$ мкс) и ионов. Абсолютный минимум для ионного пика смещался между двумя положениями ($t_m \approx 0,26$ мкс и $t_m \approx 0,40$ мкс), причем в диапазоне задер-

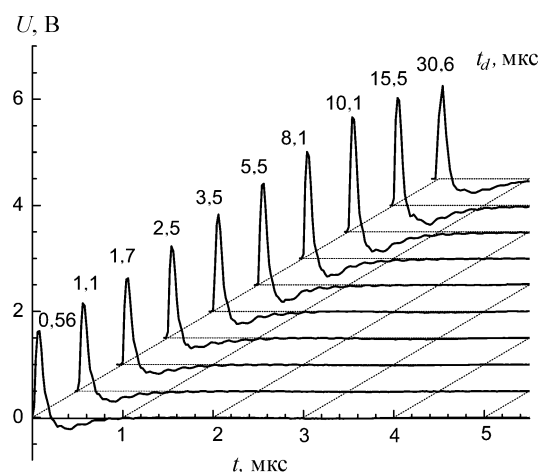


Рис. 3. Временная форма напряжения на нагрузке (U) электрического зонда при различных задержках между импульсами лазеров (t_d)

жек $t_d = 1-10$ мкс минимум находился в первом из них, а вне этого диапазона – во втором. Меньшее время пролета этих частиц по сравнению с одноимпульсными экспериментами обусловлено использованием лазера 2, излучение которого более жестко фокусировали на поверхность мишени, чем излучение лазера 1. Общим для электронов и ионов было наличие максимума сигналов при задержке $t_d \approx 11$ мкс, а также отсутствие роста этих сигналов при малых (до $t_d \approx 2,5$ мкс) задержках. Неизменность электронного сигнала при малых задержках указывает на то, что число молекул N_2 на пути распространения электронов не меняется. Это отвечает преимущественно продольному движению газа в области сжатия, т.е. $t_1 \approx 2,5$ мкс. Увеличение электронного сигнала свидетельствует о выдавливании газа в стороны, которое завершается через $t_2 \approx 11$ мкс, в момент остановки потока частиц от первого лазера. Изменение числа рассеивающих молекул азота обуславливает максимум ионного сигнала. Говоря о природе ионов, можно предположить, что это ионы углерода. Два положения минимума отрицательного пика ($t_m \approx 0,26$ мкс и $t_m \approx 0,40$ мкс) могут отвечать ионам C^+ , образованным по разным механизмам. Более быстрые ионы могут появляться при ионизации углеродсодержащих частиц (в особенности электронно-возбужденных атомов) первого потока под действием быстрых электронов, испускаемых из мишени при ее облучении вторым лазерным импульсом. Более медленные ионы могут отвечать ионам C^+ , образующимся при лазерной абляции графита вторым импульсом. Падение

ионного сигнала при малых задержках может отражать уменьшение вследствие релаксации числа электронно-возбужденных атомов в лазерном факеле по мере его удаления от мишени.

В пироэлектрическом сигнале (рис. 4) можно выделить два основных пика ($t_m = 7-9$ мкс и $t_m = 11-19$ мкс), обусловленных нейтральными частицами. Параметры этих пиков (амплитуда, положение минимумов и ширина) существенно изменяются при $t_d = 11$ мкс. При меньших задержках быстрый пик мал по величине (проявляется в виде плеча на спаде от ионного сигнала) и слабо смещается в сторону меньшего времени пролета, тогда как при больших он резко растет, а далее его амплитуда мало изменяется. Пик медленных частиц уменьшается по амплитуде и появляется все раньше, а при $t_d > 11$ мкс преобразуется в более широкий и быстрый (сдвиг t_m на 5 мкс) пик. Возможно, это уширение связано с вкладом от нового пика с $t_m \approx 10-12$ мкс, вклад от которого определяет и амплитуду этого сигнала.

Изменения сигналов связаны не только с рассеянием частиц при столкновениях с окружающим газом или с процессами ионизации, в которых участвуют заряженные частицы лазерного факела, но и с химическими процессами синтеза и диссоциации молекул. При этом химические процессы активизируются в области повышенного давления окружающего газа.

Быстрый пик ($t_m = 7-9$ мкс) можно соотнести с атомами углерода, появившимися при абляции графита вторым лазерным импульсом. Малые изменения и небольшой дальнейший рост амплитуды этого пика, а также смещение положения минимума пика к меньшему времени пролета при $t_d < 11$ мкс отвечают рассеянию атомов С при столкновениях с молекулами N_2 с учетом изменений плотности молекулярного газа под действием первого импульсного потока.

Поток испаренных частиц мишени, созданный вторым лазерным импульсом, при столкновении с остановленными частицами от первого лазера передают им свой импульс, обеспечивая их движение до поверхности приемника. Среди них, по-видимому, есть как атомы углерода, обуславливающие сигнал с $t_m \approx 7$ мкс, так и двухатомные молекулы C_2 и CN, которым отвечает сигнал с $t_m \approx 10-12$ мкс. Наблюдаемое различие во временном положении соответствующих сигналов вызвано двукратным различием масс атомов углерода и двухатомных молекул. Малые изменения этих сигналов при $t_d = 20-40$ мкс обусловлены, с одной стороны, стабильностью слоя

азота у поверхности приемника, а с другой стороны, сохранением величины импульса, передаваемого остановленным частицам, несмотря на рост плотности газа в области разрежения. Это возможно при передаче импульса через молекулы азота как буферные частицы.

Наряду с физическим воздействием на остановленные частицы второй поток частиц может химически взаимодействовать с молекулами азота в слое у поверхности приемника. Большая концентрация молекул N_2 и высокая плотность углеродсодержащих частиц во втором импульсном потоке благоприятны для синтеза молекул CN. Осаждение синтезированных молекул на поверхности приемника приводит к сигналу, описываемому “медленным” пиком ($t_m = 11-19$ мкс). Поведение этого сигнала при увеличении задержки t_d отражает динамику плотности молекул N_2 в этой области: малые изменения на начальном этапе и резкое падение вследствие выдавливания в стороны избытка азота. Смещение пика в сторону меньшего времени пролета при увеличении задержки до $t_d \approx 2,5$ мкс свидетельствует о большей кинетической энергии частиц второго лазерного факела, достигших слоя молекул азота, из-за увеличения длины области разрежения. Следует отметить, что в синтезе молекул CN в области сжатия азота главную роль играют, по-видимому, наиболее быстрые из испаренных частиц, ускоренные в результате столкновений между собой. Синтез вблизи подложки облегчает доставку прекурсорных для формирования пленки молекул на подложку, снижая потери из-за рассеяния при столкновениях.

Таким образом, двухимпульсный режим ИЛО позволяет доставить на подложку остановленные частицы первого лазерного факела, включая прекурсорные молекулы, образованные в ходе газофазных реакций, а также дополнительно синтезировать углерод-азотные соединения при взаимодействии частиц второго лазерного факела с N_2 вблизи подложки, где плотность газа в течение короткого времени (~ 10 мкс) повышена. Меняя задержку между лазерными импульсами, можно обеспечить различное соотношение между количеством атомов углерода и синтезированных молекул, осаждаемых на подложку. При этом меняется и разница во времени прилета этих групп частиц на поверхность. Таким образом, двухимпульсный режим ИЛО имеет более широкие и контролируемые возможности для синтеза пленок нитрида углерода.

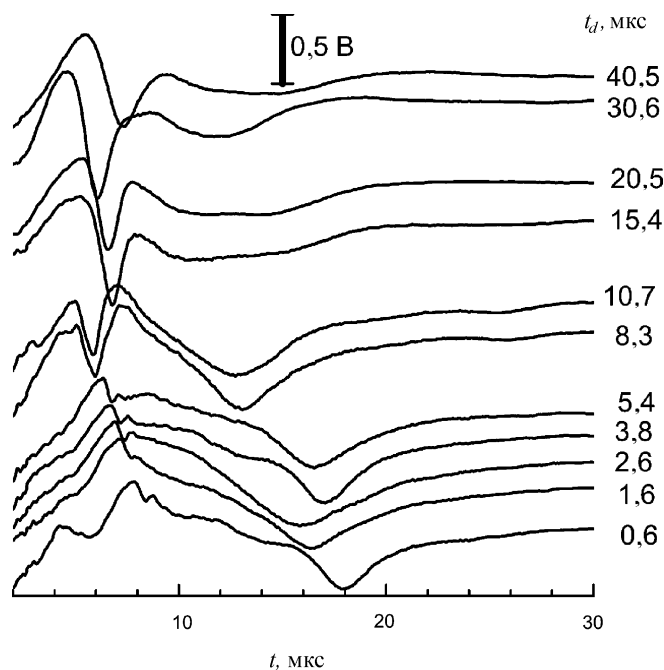


Рис. 4. Временная зависимость сигнала пироэлектрического приемника при различных задержках между импульсами лазеров (t_d). На рисунке зависимости смещены по вертикали относительно друг друга

Нагрев поверхности подложки падающими частицами. Временная форма сигнала пироэлектрического приемника позволяет изучить динамику прилета частиц на поверхность и оценить нагрев подложки такими частицами. Пироэлектрический приемник был откалиброван с помощью лазерного импульса с известными параметрами. Сигнал амплитудой 1 В обеспечивался поглощением излучения лазера с пиковой плотностью потока энергии 40 кВт/см^2 . Исходя из табличных величин плотности, теплоемкости и теплопроводности кремния, а также величины плотности потока энергии, приносимой частицами при их осаждении, был рассчитан нагрев поверхности кремниевой подложки. Импульсный поток частиц длительностью 1 мкс, вызывающий сигнал пироэлектрического приемника амплитудой 1 В, способен вызывать, по оценкам, кратковременный нагрев поверхности кремния на 20 К. Малая величина нагрева подложки в наших экспериментальных условиях обусловлена тем, что вследствие широкого углового распределения направлений движения испаренных частиц лишь малая доля частиц из лазерного факела попадает на подложку. Повышение направленности лазерного факела достигается увеличением размера облучаемой области на мишени за счет взаимной ликвидации при столкновениях поперечной составляющей скоростей частиц, испущенных из разных точек мишени. При

этом для осуществления эффективной абляции мишени необходимо сохранять уровень плотности энергии излучения на ее поверхности. Следовательно, для обеспечения заметного кратковременного нагрева поверхности подложки частицами лазерного факела в ИЛО необходимо иметь высокую энергию лазерных импульсов и протяженные размеры облучаемой области на мишени.

Заключение

Пироэлектрический приемник впервые применен для измерения динамики осаждения частиц и нагрева подложки в условиях синтеза пленки нитрида углерода методом ИЛО. Быстродействие приемника позволило разделить по времени прилета сигналы от электронов, ионов, а также нейтральных частиц с массами, отличающимися в 2 и более раза. Эксперименты показали, что в стандартном варианте ИЛО при давлении азота $\sim 100 \text{ Па}$ окружающий газ останавливает прямой поток испаренных частиц из графитовой мишени на расстояниях менее, чем 20 мм. Двухимпульсный режим ИЛО обеспечивает доставку этих частиц и синтезированных в газе прекурсорных молекул на подложку. В результате действия двух лазерных импульсов возможен также новый канал получения молекул CN при взаимодействии в плотном слое N_2 вблизи подложки. Выбор задержки между лазерными

импульсами позволяет управлять соотношением между осаждаемыми атомами и молекулами, а также временем их прилета на подложку. На основании пи-

роэлектрических измерений был оценен нагрев кремниевой подложки импульсным потоком осаждаемых частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-03-01048).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu A.Y., Cohen M. L. // Science. 1989. **245**. N 4920. P. 841.
2. Muhl S., Mendez J.M. // Diamond Relat. Mater. 1999. **8**. N 10. P. 1809.
3. Yadav D., Gupta V., Thareja R.K. // Spectrochim. Acta B. 2009. **64**. N 10. P. 986.
4. Acquaviva S., De Giorgi M.L. // J. Phys. B. 2002. **35**. N 4. P. 795.
5. Acquaviva S., De Giorgi M.L. // J. Phys. B. 2003. **36**. N 2. P. 247.
6. Zergioti I., Alexandrou I., Sfounis A., Amaratunga G.A.J., Fotakis C., Velegrakis M. // Appl. Surf. Sci. 2002. **197-198**. P. 387.
7. Kato Y., Wakabayashi T., Momose T., Shida T. // J. Mass Spectr. Soc. Japan. 2005. **53**. N 4. P. 203.
8. Анисимов С.И., Лукьянчук Б.С. // УФН. 2002. **172**. № 3. С. 301.
9. Zocco A., Perrone A., Broitman E., Czigany Zs., Hultman L., Anderle M., Laidani N. // Diamond Relat. Mater. 2002. **11**. N 1. P. 98.
10. Geszti O., Radnyczi G., Bertytí I., Szűrűnyi T., Antoni F., Fogarassy E. // Appl. Surf. Sci. 2002. **186**. N 1-4. P. 502.
11. Макаров Г.Н., Петин А.Н. // ЖЭТФ. 2008. **134**. № 5. С. 851.
12. Кузяков Ю.Я., Леднев В.Н., Алов Н.В., Волков И.О., Зоров Н.Б., Воронина Р.Д. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2007. **48**. С. 134.

Поступила в редакцию 10.12.09

APPLICATION OF PYROELECTRIC DETECTOR TO STUDY THE CARBON NITRIDE FILM SYNTHESIS BY PULSED LASER DEPOSITION METHOD

V.N. Varakin, Yu.Ya. Kuzyakov

(Division of Laser Chemistry)

For the first time, a fast pyroelectric detector was used to study processes of film synthesis by pulsed laser deposition (PLD) method. The measurements were carried under actual conditions of carbon nitride film production. The dynamics of species deposition and induced by them substrate heating has been studied. In the double-pulse mode of PLD, an efficient delivery precursor molecules from gas-phase onto the substrate and a new channel of CN molecule synthesis have been shown to be realized.

Key words: carbon nitride, film synthesis, pulsed laser deposition, pyroelectric detector

Сведения об авторах: Варакин Владимир Николаевич – ст. науч. сотр. кафедры лазерной химии химического факультета МГУ, канд. физ.-матем. наук (varakin@laser.chem.msu.ru); Кузяков Юрий Яковлевич – профессор, заведующий кафедрой лазерной химии химического факультета МГУ, докт. хим. наук (kuzyakov@laser.chem.msu.ru).