

03;11;12

## Новый метод формирования тонких пленок

© М.А. Ходорковский, А.Л. Шахмин, С.В. Мурашов,  
А.М. Алексеев, Ю.А. Голод, А.Н. Федоров

Российский научный центр "Прикладная химия"  
С.-Петербургский Объединенный исследовательский центр (ЦКП)

Поступило в Редакцию 10 октября 1997 г.

Предлагается новый метод нанесения тонких пленок с помощью импульсного сверхзвукового молекулярного пучка, обогащенного молекулами напыляемого материала, и проведено сравнение возможностей этого метода с традиционным. На примере уникальных свойств тонких пленок фуллерена, полученных экспериментально с помощью этого метода, делаются выводы о перспективах его использования для нанесения пленок различных материалов.

При описании процессов адсорбции в литературе практически отсутствует учет кинетической и колебательно-вращательной энергий налетающей молекулы. Это обстоятельство связано с традиционно используемыми методами формирования газовой фазы, применяемой в процессах нанесения тонких пленок и эпитаксиальных слоев, где энергия адсорбируемых атомов и молекул определяется температурой испарения исходных материалов и не превышает 0.2–0.3 eV. В то же время энергия связи адсорбируемых молекул с поверхностью и между собой во многом определяется их энергетическими параметрами [1]. В настоящее время начинают развиваться методы формирования тонких пленок, в которых кинетическая энергия адсорбируемых молекул может достигать нескольких десятков электрон-вольт [2]. Одним из многообещающих является метод обогащенных сверхзвуковых молекулярных пучков (СМП) [3]. Наряду с высокой кинетической энергией молекул, распределение их по скоростям в таких пучках за счет газодинамического охлаждения будет соответствовать очень низким температурам (вплоть до  $T = 20$  К [4]). Узкое распределение по скоростям в СМП адсорбируемых частиц обуславливает гомогенность образующихся связей адсорбата с поверхностью и между собой. Значения приведенных параметров, в отличие от диффузионных пучков, легко варьируются в широком диапазоне

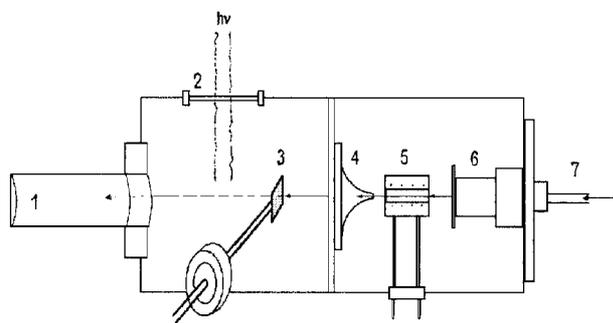


Схема экспериментальной установки для формирования сверхзвукового молекулярного пучка несущего газа, обогащенного молекулами напыляемого материала, с диагностикой методом времяпролетной масс-спектрометрии. 1 — входные линзы времяпролетного масс-спектрометра; 2 — окно для ввода лазерного излучения; 3 — образец, закрепленный на поворотном штоке устройства ввода; 4 — скиммер; 5 — источник паров напыляемого материала; 6 — сверхзвуковое импульсное сопло; 7 — ввод газа-носителя.

значений путем изменения условий в камере сопла (сорт и давление несущего газа, температура и геометрия сопла и т.д.).

В настоящей работе разработан новый метод обогащения СМП за счет пропускания потока несущего газа, истекающего из сверхзвукового сопла, через газовую ячейку с молекулами напыляемого материала. Разделение зон формирования СМП несущего газа и его обогащения дает возможность независимого изменения параметров газовой ячейки и соплового источника. Это позволяет использовать предлагаемый нами метод для нанесения тонких пленок практически любых материалов. Кроме того, варьирование кинетической энергии осаждаемых молекул в широком диапазоне (0.3–10.0 eV) открывает возможность получать не только пленки с новыми, ни и заранее заданными свойствами.

По нашим сведениям, применение этого метода для нанесения тонких пленок в литературе не описано.

В настоящей работе предлагаемый метод был применен для нанесения тонких пленок фуллеренов (86% C<sub>60</sub> + 14% C<sub>70</sub>) и проведено сравнение их свойств с пленками, нанесенными методом термического напыления.

Традиционная схема импульсного СМП (см. рисунок) была оснащена времяпролетной масс-спектрометрической диагностикой. Это позволяло контролировать состав СМП в течение проведения эксперимента по напылению пленки. В качестве несущего газа использовался гелий при давлении в камере сопла до 5 атмосфер. Для введения паров фуллерена в молекулярный поток гелия использовалась ячейка Кнудсена с температурой 400–600°С. Откачка рабочей камеры производилась до остаточного давления  $10^{-8}$  Торр. В зависимости от условий в камере сопла и температуры в ячейке Кнудсена кинетическая энергия молекул фуллерена лежала в диапазоне 0.1–2.0 eV. Концентрация паров фуллерена в потоке позволяла формировать пленки толщиной 200 nm в течение 1 часа.

Исследования показали, что свойства полученных пленок существенно отличаются от свойств пленок, нанесенных другими методами, а именно:

— отсутствием деградации молекулярной структуры фуллеренов при лазерном воздействии вплоть до испарения, в то время как традиционные пленки разрушались при плотности мощности лазерного излучения меньшей на два порядка величины;

— значения температуры десорбции составляли — 500°С, в то время как для термически напыленных пленок — 300°С.

Наличие указанных свойств обусловлено образованием более сильных связей адсорбируемых молекул с поверхностью и между собой. Таким образом, описанные выше возможности метода и полученные экспериментальные результаты подтверждают перспективность его использования для формирования тонких пленок с новыми свойствами.

В заключение авторы выражают благодарность за помощь в исследовании свойств пленок С.Г. Конникову, В.Ю. Давыдову, А.А. Ситниковой (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) и Е.Е.В. Campbell (Max-Born-Institute), а также R. Naaman (Weizmann Institute of Science) за полезные обсуждения и А.Я. Вулю (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) за постоянный интерес к работе.

Работа финансировалась "Фондом Интеллектуального сотрудничества" по программе "Фуллерены и атомные кластеры", поддерживаемой Министерством науки России.

**Список литературы**

- [1] *Girard Ch., Lambin Ph., Dreux A., Lucas A.A.* // Phys. Rev. B. 1994. V. 49. N 16. P. 11425–11432.
- [2] *Kolodney E., Budrevich A., Tsipinyuk B.* // J. Phys. Chem. 1996. V. 100. P. 1475–1479.
- [3] *Андерсон Дж., Андерс Р., Фен Дж.* Исследования с молекулярными пучками в сб. Молекулярные пучки, получаемые с помощью сверхзвукового сопла. М.: Мир, 1969. С. 299–345.
- [4] *Ходорковский М.А., Марков А.А., Долгин А.И.* // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 8. С. 89–91.