

03;12

Конденсация в импульсных свободных струях смеси моносилан–аргон: временные характеристики импульсов

© А.Е. Зарвин, Н.Г. Коробейщиков, В.Ж. Мадирбаев, Р.Г. Шарафутдинов

Новосибирский государственный университет,
630090 Новосибирск, Россия
E-mail: zarvin@phys.nsu.ru

(Поступило в Редакцию 28 августа 2000 г.)

Выполнено исследование конденсации смеси 5% SiH₄+95%Ar в импульсных сверхзвуковых газовых потоках. Анализ временных характеристик, регистрируемых методом импульсной молекулярно-пучковой масс-спектрометрии, позволил определить последовательность протекания отдельных стадий процесса конденсации. Показано, что конденсация в импульсной струе аргон-моносилановой смеси приводит к селективному нагреву компонентов смеси, причем этот процесс зависит от плотности смеси в форкамере сопла.

Настоящая работа продолжает представление новых экспериментальных данных, полученных при исследовании процессов кластерообразования и развитой конденсации в импульсных сверхзвуковых неравновесных потоках чистых газов их смесей [1,2]. Актуальность изучения свободных струй моносилана и его смесей акцентирована новыми подходами к проблемам получения аморфных и поликристаллических пленок кремния [3]. Возможности комплекса газодинамических стендов "ЛЭМПУС" Новосибирского государственного университета, обеспечивающего достижение экстремально высоких плотностей при свободном расширении газовых струй в вакуум в импульсном режиме истечения, позволили получить новую информацию о механизмах протекания конденсации.

В экспериментах регистрировались время прихода T переднего фронта газового импульса на датчик масс-спектрометра (рис. 1) и его полуширина D (рис. 2)

в зависимости от давления торможения P_0 смеси 5%SiH₄+95%Ar в диапазоне 0–700 кПа. Условия проведения экспериментов и использованное оборудование аналогичны описанному в работах [1,2]. Отслеживалось изменение T и D от P_0 для мономеров аргона ($m/e = 40$) и компонент моносилана ($m/e = 31$ и 33), водорода ($m/e = 1$), а также ди-, три- и тетрамеров Ar и SiH₄ ($m/e = 63, 80, 94, 111, 160$). Представленные данные, находясь в хорошем согласии с результатами измерений по интенсивностям массовых пиков [1], не только обеспечивают более детальное изучение условий протекания отдельных стадий конденсации, но и дают возможность описать механизмы этих процессов.

Зависимости T и D от давления, приведенные на рисунках, позволяют выделить несколько стадий процесса. При $P_0 < 20$ кПа данные для мономеров SiH₄ ($m/e = 31$) и аргона ($m/e = 40$) совпадают, т.е.

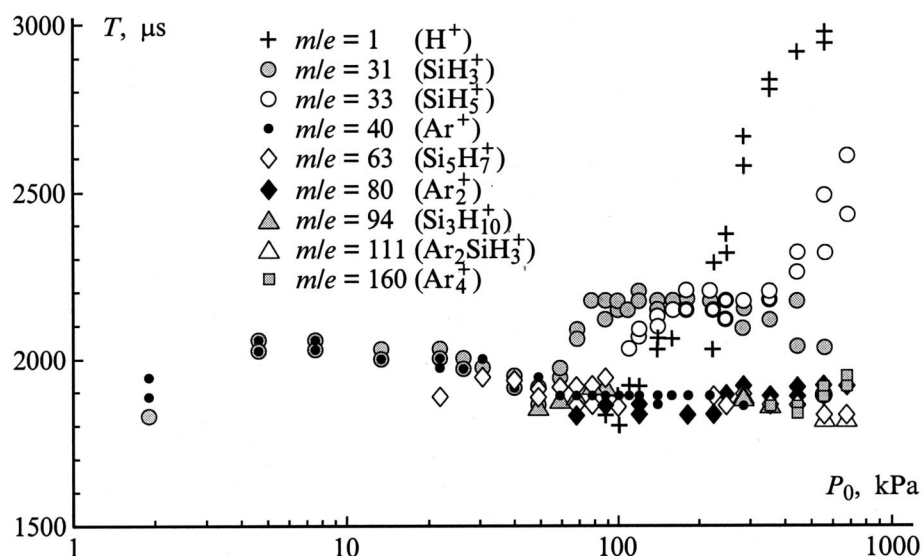


Рис. 1.

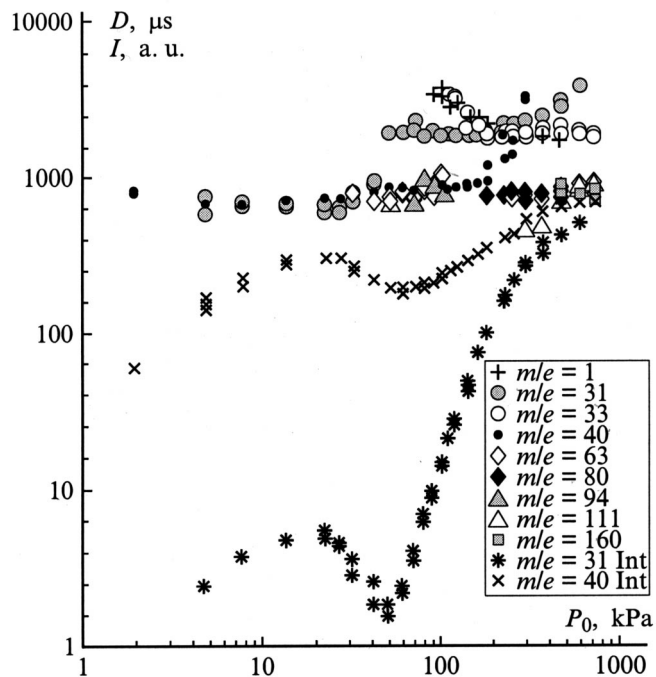


Рис. 2.

SiH_4 , являющийся малой примесью в аргоне, расширяется как одноатомный газ-носитель. В этом диапазоне полуширина импульса практически постоянна, а время прихода плавно уменьшается. Это вызвано ростом числа столкновений в потоке, приводящим к формированию невозмущенного ядра сверхзвуковой струи и увеличению предельного числа Маха.

С увеличением P_0 до 50 кПа начинают возрастать значения D для мономеров, причем прирост полуширины импульса компонент моносилана почти в 3 раза больше, чем аргона, и регистрируются димеры моносилана (на рисунках показаны данные для $m/e = 63$, т.е. Si_2H_7^+). Следовательно, в этом диапазоне начинается кластерообразование моносилана. Скорости мономеров Ar и SiH_4 , судя по поведению T , продолжают возрастать, поэтому рост полуширины импульса достигается за счет "хвоста" заторможенных частиц.

При дальнейшем увеличении P_0 до 100 кПа параметр T для мономеров моносилана значительно возрастает, а в масс-спектре появляются кластеры аргона и смешанные аргон-силановые комплексы. Время прихода и полуширина импульсов для всех регистрируемых масс (кроме T для $m/e = 31$) стабилизируются. По-видимому, в этом диапазоне давлений происходит преимущественный рост силановых кластеров, а также смешанных, инициированных силановыми зародышами.

Начиная с $P_0 \sim 100$ кПа полуширина мономера Ar медленно, а при $P_0 > 200$ кПа резко возрастает, тогда как для силана ($m/e = 31$) увеличение D отмечается только с $P_0 \sim 180$ кПа. Можно предположить, что при $P_0 > 100$ кПа начинается рост больших кластеров Ar.

При $P_0 > 200$ кПа, по-видимому, сказывается влияние скиммерного взаимодействия в конденсирующемся газе [2], что подтверждает и замедление роста интенсивности импульсов 31-й и 40-й масс (рис. 2). Ионы водорода H^+ ($m/e = 1$) и SiH_5^+ ($m/e = 33$) также появляются при $P_0 > 100$ кПа (а их интенсивности растут при повышении P_0 практически эквидистантно). Полуширина этих сигналов стремится к пределу, совпадающему с уровнем стабилизации для $m/e = 31$, а время прихода T монотонно возрастает с ростом P_0 , причем от значений, соответствующих не мономерам, а малым кластерам. Ионы H^+ и SiH_5^+ появляются, скорее всего, при диссоциативной ионизации кластеров, вначале малых силановых, а при возрастании P_0 больших смешанных, в ионизаторе масс-спектрометра. Кроме того, в режиме сильного скиммерного взаимодействия рост полуширины пиков H^+ и SiH_5^+ может быть связан с развалом больших кластеров на скиммере. Вероятной причиной возрастания D для мономеров моносилана и аргона мог бы служить развал электронным ударом в детекторе масс-спектрометра больших кластеров, имеющих благодаря эффекту проскальзывания меньшие скорости в струе по сравнению с мономерами [4]. Однако падение скоростей этих кластеров в несколько раз представляется столь же маловероятным, как и большое различие в стабильности силановых, аргонных и смешанных кластеров на разных стадиях процесса. Поэтому такое увеличение D мономеров, различное у аргона и моносилана, свидетельствует, скорее всего, о селективном разогреве мономеров аргона и моносилана за счет выделения тепла конденсации в импульсной струе смеси.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 00-03-33021а) и Программой Министерства науки и технической политики РФ по поддержке уникальных научно-исследовательских и экспериментальных установок национальной значимости (код проекта 06-05).

Список литературы

- [1] Шарафутдинов Р.Г., Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 21. С. 48–51.
- [2] Зарвин А.Е., Коробейщиков Н.Г., Мадирбаев В.Ж. и др. // Письма в ЖТФ. Направлена в печать.
- [3] Sharafutdinov R.G., Skrinnikov A.V., Parakhnevich A.V. et al. // J. Appl. Phys. 1996. Vol. 79. N 9. P. 7274.
- [4] Hagena O.F. // Surf. Sci. 1981. Vol. 106. P. 101–116.