

02; 10; 12

© 1990

ИОНИЗАЦИЯ ДИМЕРОВ И ТРИМЕРОВ  $\text{CO}_2$   
ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ В МОЛЕКУЛЯРНОМ ПУЧКЕА.А. Марков, А.И. Долгин,  
М.А. Ходорковский

Широкое применение масс-спектрометрических методов для детектирования кластеров и изучения их строения и свойств вызвало естественный интерес к вопросам ионизации кластеров электронным ударом. Однако можно привести лишь несколько работ, в которых экспериментально изучалось взаимодействие электронов с кластерами небольших размеров [1-3].

Наиболее удобным методом генерации нейтральных кластеров и их исследования являются газодинамические молекулярные пучки (МП), формируемые из осевой части газовых струй, свободно расширяющихся в вакуум. При этом, меняя условия истечения газа (давление, температуру, размеры и форму сопла), можно влиять на концентрацию кластеров в МП, их размеры и структуру [4, 5].

В настоящей работе в пересекающихся газодинамическом МП и электронном пучках методом масс-спектрометрии измерены относительные сечения ионизации электронным ударом димеров  $(\text{CO}_2)_2$  и тримеров  $(\text{CO}_2)_3$ . Кластеры формировались при адиабатическом расширении углекислого газа (99.98 % чистоты) через звуковое сопло  $\varnothing 0.12$  мм. Температура газа перед соплом поддерживалась постоянной во время эксперимента. Плотность МП в ионном источнике массспектрометра на порядок величины превышала плотность молекул остаточного газа. Подробное описание источника МП приведено в [6]. Ионизация молекул пучка происходила в ионном источнике, модифицированном для работы с пересекающимися пучками. Электронный пучок формировался трехэлектродной пушкой с оксидным катодом косвенного накала. Ток на коллектор составлял 100 мкА, монокинетичность электронов - 0.3 эВ. Диаметр электронного пучка - 3 мм, диаметр МП в точке пересечения составлял 8 мм. Вытягивающее поле  $\leq 10$  В ускоряло образовавшиеся ионы в направлении входной диафрагмы квадрупольного масс-фильтра с диапазоном регистрируемых масс 1-300 а.е.м. Регистрация ионов велась каналным электронным умножителем ВЭУ-6.

В представленной работе исследовалось влияние давления торможения  $P_0$  и энергии ионизирующих электронов на интенсивности пиков ионов димеров и тримеров  $\text{CO}_2$ . На рис. 1 показана зависимость интенсивности пиков ионов кластеров от  $P_0$  при энергии электронов 45 эВ. Видно, как с увеличением давления торможения растут

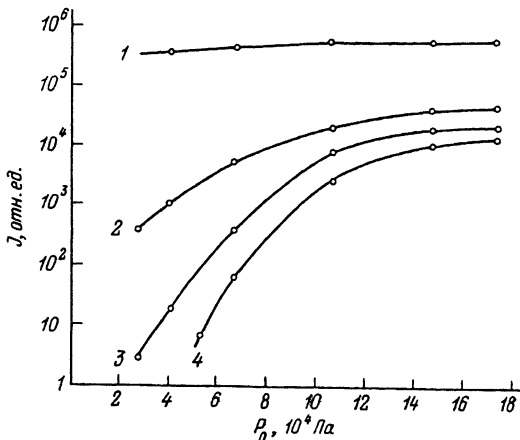


Рис. 1. Зависимости интенсивности ионов кластеров  $\text{CO}_2$  от давления торможения  $P_0$ . 1 -  $\text{CO}_2^+$ , 2 -  $(\text{CO}_2)_2^+$ , 3 -  $(\text{CO}_2)_3^+$ , 4 -  $(\text{CO}_2)_4^+$ .

концентрации ионов кластеров и появляются ионы, соответствующие кластерам больших размеров.

Чтобы учесть изменение условий ионизации при различных энергиях электронов в исследуемый газ вводились микропримеси Кг и Хе, зависимость сечения ионизации которых от энергии хорошо известны, а атомные массы близки соответственно молекулярным массам  $(\text{CO}_2)_2$  и  $(\text{CO}_2)_3$ . Аппаратная функция квадрупольного масс-спектрометра была учтена в результате сравнения измеренных нами зависимостей сечений ионизации от энергии для Кг и Хе с данными работы [7].

На рис. 2 приведены зависимости относительных интенсивностей пиков ионов димеров при различных  $P_0$  и тримеров от энергии ионизирующих электронов. Здесь же приведено сечение ионизации  $\text{CO}_2$  электронным ударом, взятое из работы [8]. С увеличением  $P_0$  наблюдается относительный рост интенсивности ионов димеров при увеличении энергии ионизирующих электронов и смещение максимума в область больших энергий, что может быть объяснено увеличением вклада ионов, образованных в процессе диссоциативной ионизации более крупных кластеров. Как видно из рис. 1 при  $P_0 = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$  и  $T_0 = 315 \text{ К}$  отношение концентраций ионов димеров и тримеров составляло  $\sim 10^2$ . В связи с этим, зависимость от энергии электронов ионного тока димеров при таком давлении торможения можно считать свободной от вкладов ионных токов кластеров более высоких порядков. По данным работы [1] увеличение энергии электронов с 48 до 60 эВ уменьшает в два

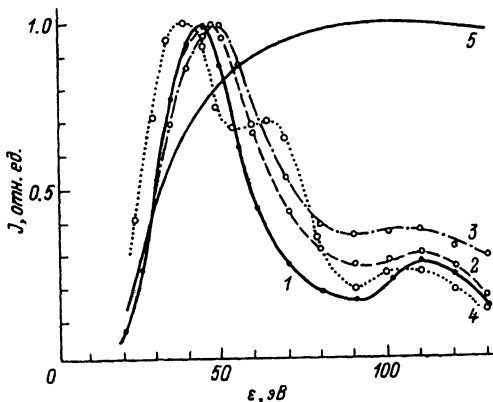


Рис. 2. Зависимость относительных интенсивностей ионов димеров (при различных  $P_0$ ) и тримеров от энергии ионизирующих электронов. 1 -  $(\text{CO}_2)_2^+$ ,  $P_0 = 4 \cdot 10^4$  Па; 2 -  $(\text{CO}_2)_2^+$ ,  $P_0 = 1.1 \cdot 10^5$  Па; 3 -  $(\text{CO}_2)_2^+$ ,  $P_0 = 1.6 \cdot 10^5$  Па; 4 -  $(\text{CO}_2)_3^+$ ,  $P_0 = 1.1 \cdot 10^5$  Па; 5 -  $\text{CO}_2^+$  из работы [8].

раза отношение ионных токов димеров и мономеров, что достаточно хорошо согласуется с результатами данной работы при давлении торможения  $P_0 = 4 \cdot 10^4$  Па.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Lee N., Fenn J.B. // Rev. Sci. Instrum. 1978. V. 49. N 9. P. 1269-1272.
- [2] Stomatovic A. et al. // Int. J. Mass Spectrom. Ion Proc. 1985. V. 63. P. 37-47.
- [3] Romanowski G., Wanczek K.P. // Int. J. Mass. Spectrom. Ion Proc. 1986. V. 70. P. 247-257.
- [4] Востриков А.А., Предтеченский М.Р. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 5. С. 887-895.
- [5] Falter H., Hagen O.F. et al. // Int. J. Mass Spectr. Ion Phys. 1970. V. 4. N 2. P. 145-163.
- [6] Долгин А.И., Марков А.А., Серяков А.В., Ходорковский М.А. // ПТЭ. 1989. № 2, С. 155-157.
- [7] Syoge J.A. // Chem. Phys. Lett. 1988. V. 143. N 1. P. 19-25.
- [8] Orient O.J., Srivastava S.K. // J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1987. V. 20. P. 3923-3936.

Поступило в Редакцию  
25 декабря 1989 г.