

02;11;12

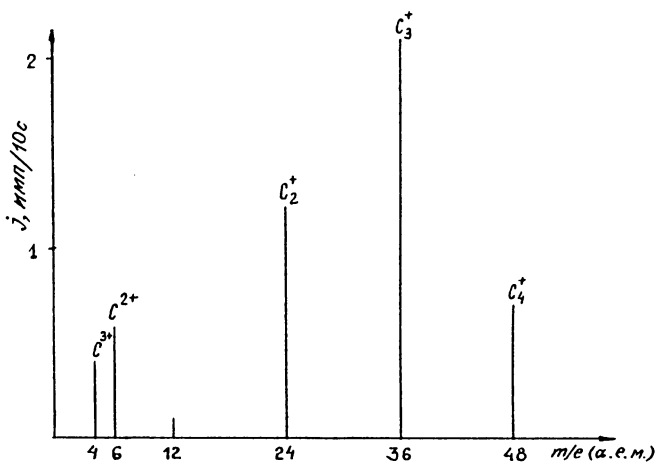
## ПОЛЕВОЕ ИСПАРЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ОСТРИЯ

© Н.М.Блащенко, Г.Я.Лаврентьев

Широкое использование в технике композитов из углеродных нитей обусловлено их прочностью и пластичностью, что связано с графитовой структурой нитей и с большой энергией связи атомов углерода в графите. Так, для концевого атома углерода энергия связи 6 эВ, а для атома в кольце 9 эВ. По этой причине, а также из-за больших значений потенциалов ионизации углерода теоретически предсказываются и высокие значения испаряющих электрических полей ( $F = 10.3 \text{ В/Å} [1]$ ) при полевом испарении углерода. Эта величина экспериментально не определена, но зато хорошо изучен состав ионов ( $C_n^+$  и  $C_n^-$ ) при различных процессах испарения: термическом испарении графита ( $C_n^-$ ) [2], в искре между угольными электродами ( $C_n^+$ ) [3], при бомбардировке графита ионами  $\text{Xe}^+$  ( $C_n^-$ ) [4], при импульсном полевом испарении ( $C_n^+$ ) с температурой графита 77 К [1].

Нами были проведены эксперименты по полевому испарению углеродного острия в статическом электрическом поле. Острия изготовлялись из углеродной нити диаметром 5 мкм (чистота 0.99) путем обжига ее в хорошо сфокусированном пламени бензиновой горелки. Острие помещалось в полевой источник статического секторного масс-спектрометра с разрешением по массам  $R = 200$ . Угол сбора ионов с острия составлял  $6^\circ$ . Электронно-оптическая система источника позволяла изменять значение ускоряющего ионы электрического потенциала (следовательно, и поля) в пределах двух порядков при неизменной фокусировке ионного пучка, что обеспечивало постоянную чувствительность и точность измерений ионных токов во всем диапазоне полей [5]. Регистрация ионного тока осуществлялась в режиме счета импульсов. Давление в камере источника было меньше  $10^{-6}$  мм рт.ст. Температура острия в опытах могла меняться от комнатной до  $1500^\circ\text{C}$ .

В начале развертки поля (ускоряющее напряжение  $U \lesssim 1 \text{ кВ}$ ) появлялся пик  $\text{H}_2\text{O}^+$  ( $m/e = 18$ ,  $j \approx 20$  имп/с), при дальнейшем увеличении поля появлялись другие фоновые массы с  $m/e$  19( $\text{H}_3\text{O}^+$ ), 32( $\text{O}_2^+$ ), 17( $\text{OH}^+$ ), 28( $\text{N}_2^+$ ,  $\text{CO}^+$ ), 44( $\text{CO}_2^+$ ). Кроме этих ионов при прогреве дужки острия



Описываются эксперименты по полевому испарению углеродного острия в статическом электрическом поле. Отмечен преимущественный выход однозарядных ионов кластера  $C_3^+$  и отсутствие ионов  $C^+$ . Впервые сделана оценка поля появления углерода по экспериментальным данным.

в спектре появлялись ионы интеркалированных щелочных атомов с  $m/e$  23( $Na^+$ ) и 39( $K^+$ ).

При ускоряющем напряжении  $U = 11$  кВ и  $T = 300$  К наблюдались пики углерода с  $m/e$  4( $C^{3+}$ ), 6( $C^{2+}$ ), 24( $C_2^+$ ), 36( $C_3^+$ ), 48( $C_4^+$ ). При больших массах ( $m/e$  60( $C_5^+$ ), 72( $C_6^+$ ) и т. д.) спектр не анализировался из-за возможных примесей фоновых пиков (органики) на этих же массах [6].

Максимальная интенсивность тока ионов  $C_3^+$  составляла 0.21 имп/с. Относительные интенсивности углеродных пиков представлены на рисунке. Уровень фона составлял 0.01–0.02 имп/с.

Обращает на себя внимание: во-первых, отсутствие в масс-спектре углерода массы с  $m/e = 12$  ( $C^+$  и  $C_2^{2+}$ ), которые присутствуют в масс-спектрах импульсного полевого испарения, что может быть связано с низкой температурой образца (77 К) в последнем случае [1]; во-вторых, особое распределение интенсивностей в масс-спектре кластеров углерода, отличное от распределений других способов образования ионов кластеров углерода [1–4].

Преимущественный выход ионов  $C_3^+$  в постоянном электрическом поле может быть связан со строением молекулы  $C_3$ . Строение этой молекулы, установленное по форме полосы в области 4050 Å в оптических спектрах комет, имеет вид

симметричного волчка [7]. Подобные образования на поверхности острия статистически чаще будут увеличивать локальное поле около себя, что и будет способствовать их преимущественному, по сравнению с линейными формами, испарению.

Интересным также представляется произвести оценку полей появления ионов углерода, поскольку в литературе отсутствует подобная величина. Исходной величиной для оценки поля появления ионов углерода может быть взято значение поля появления ионов воды по литературным данным и в наших экспериментах. По литературным данным [8] поля появления ионов воды ( $m/e = 18$ ) различны для эмиттеров с разной химической активностью. Углерод по химической инертности может быть уподоблен благородным металлам. Для платины по данным [8] поле появления иона  $H_2O^+$  составляет величину  $0.65 \text{ В/Å}$ . Тогда по соотношению напряжений для появления ионов воды и углерода в наших экспериментах получим величину поля появления ионов углерода  $F \approx 7-8 \text{ В/Å}$ . Эта величина меньше теоретического значения для углерода, но значительно больше всех известных полей появления [1]. Подчеркнем еще раз, что эта цифра носит оценочный характер.

В заключение выражаем благодарность О.Л. Голубеву за полезные обсуждения, В.Н. Шреднику за постановку задачи и предоставление материала и Т.И. Судаковой за помощь в изготовлении острий.

### Список литературы

- [1] Миллер М., Смит Г. Зондовый анализ в автоионной микроскопии. М.: Мир, 1993.
- [2] Honig R.E. // J. Chem. Phys. 1954. V. 22. P. 126.
- [3] Чупагин М.С., Главин Г.Г., Дубов И.Т. // ЖТФ. 1963. Т. 22. С. 1281.
- [4] Зандберг Э.Я., Палеев В.И. // ЖТФ. 1972. Т. 42. В. 4. С. 851.
- [5] Блашенко Н.М., Лаврентьев Г.Я., Шредник В.И. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 22. С. 30.
- [6] Бейнон Дж. // Масс-спектрометрия и ее применения в органической химии. М.: Мир, 1964. 701 с.
- [7] Герцберг Г. Спектры и строение простых свободных радикалов. М.: Мир, 1974. 208 с.
- [8] Schmidt W.A. // Z. Naturforschg. 1964. V. 19 a. P. 318.

Поступило в Редакцию  
14 февраля 1996 г.