

- [6] Гилев И. С., Кашкай А. Д. // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1980. Т. 16. № 11. С. 2077—2079.
 [7] Wu C., Freiman S., Rice R., Mecholsky J. // J. Mater. Sci. 1978. Vol. 13. N 12. P. 2659—2670.
 [8] Rice R., Mecholsky J., Becher P. // J. Mater. Sci. 1981. Vol. 16. N 4. P. 853—862.

Научно-производственное
 объединение «Монокристаллреактив»
 Харьков

Поступило в Редакцию
 11 января 1989 г.

04

Журнал технической физики, т. 59, в. 11, 1989

ПРИЛИПАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ К КАРБЕНИЛАМ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ В ПЛАЗМЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В АЗОТЕ

В. А. Гурашвили, С. В. Изюмов, С. М. Куркин, В. Г. Наумов,
 В. М. Пашков, Е. Ю. Щекотов

Прилипание электронов к $\text{Fe}(\text{CO})_5$ и $\text{Ni}(\text{CO})_4$ исследовалось в целом ряде работ [1, 2]. Однако большой разброс приводимых значений константы скорости прилипания (от 10^{-7} до 10^{-10} $\text{см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$) не позволяет надежно оценить его роль в условиях несамостоятельного разряда, используемого для накачки рабочих смесей СО лазера.

Эксперименты проводились на установке, в основном описанной в [3] и представляющей собой типичную моноимпульсную разрядную камеру для исследования несамостоятельного разряда, поддерживаемого пучком быстрых электронов. Длительность импульса пучка составляла 50—100 нс, плотность тока быстрых электронов (энергия электронов ~ 100 кэВ) за фольгой варьировалась в диапазоне 10^{-2} — 10 $\text{мА} \cdot \text{см}^{-2}$. Разряд поддерживался между плоским катодом и анодом, выполненным в виде металлических прутьев $\varnothing 1$ мм, расположенных с шагом 4 мм. Межэлектродный зазор составлял 20 мм. Эксперименты проводились с использованием в качестве рабочего газа азота особой чистоты при давлении 100—600 Тор, к которому добавлялись пары карбониллов при давлении 0.01—1 Тор. Разрядная камера предварительно откачивалась до давления не хуже 10^{-2} Тор и промывалась чистым азотом.

Определение скорости прилипания электронов в разряде проводилось, исходя из уравнений баланса заряженных частиц на квазистационарной стадии разряда

$$S = \nu_a n_e + \alpha n_e n_+ , \quad \nu_a n_e = \beta n_- n_+ , \quad n_+ = n_e + n_- , \quad (1)$$

где S — скорость ионизации газа пучком быстрых электронов; ν_a — частота прилипания; α и β — коэффициенты электрон-ионной и ион-ионной рекомбинаций; n_e , n_+ , n_- — концентрации электронов, положительных и отрицательных ионов соответственно.

В экспериментах измерялся ток нагрузки электронного ускорителя, который на основании специальных калибровочных экспериментов в чистом азоте [3] позволяет определить скорость ионизации газа пучком быстрых электронов. Измерялись также электрическое поле (E) с помощью двух электростатических зондов и плотность тока разряда в его центральной части

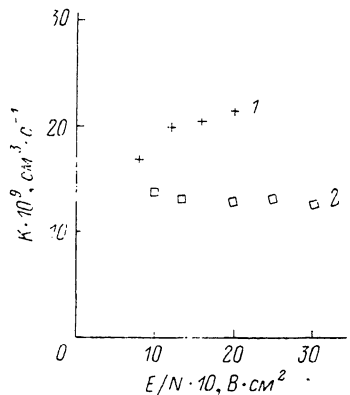
$$j_p = e (n_e \nu_e + n_+ \nu_+ + n_- \nu_-) , \quad (2)$$

где ν_e , ν_+ и ν_- — скорости дрейфа электронов, положительных и отрицательных ионов в измеренном электрическом поле E .

Решая совместно систему уравнений, аналогичных (1), (2), записанную для результатов измерений при двух существенно различных значениях S при постоянном E (использовались несколько таких пар), мы определяли одновременно как значение частоты прилипания ν_a , так и значение коэффициента электрон-ионной рекомбинации α . При обработке данных принято $\nu_- = \nu_+$, а значения ν_+ и ν_e взяты из [4, 5] как для чистого азота. Значение коэффициента ион-ионной рекомбинации β взято из [5] как для плазмы воздуха. Отметим, что варьирование значений ν_+ и β в пределах фактора 2 не повлияло на величину частоты прилипания в пределах точности наших измерений, которую мы оцениваем в 20 %. Это обусловлено незначительностью вклада ионных токов в общий ток разряда.

Следует отметить, что карбонилы железа и никеля являются сильными прилипателями. Добавление 0.01 Тор карбониллов снижает ток разряда в несколько раз, а при добавлении 1 Тор карбониллов ток разряда становится порядка тока пучка быстрых электронов.

Эксперименты показали, что величина частоты прилипания практически линейно увеличивается с ростом давления карбониллов, а при увеличении давления азота можно отметить некоторую тенденцию к росту частоты прилипания, которая, впрочем, находится в пределах ошибки наших измерений.



На рисунке приведены зависимости констант прилипания электронов к карбонилам железа (2) и никеля (1), определенным как $K = v_n/n$, где n — плотность паров карбонила (проведено усреднение по всем давлениям азота) от величины приведенной напряженности электрического поля E/N (N — плотность азота). Видно, что значения K для обоих карбониллов близки и в исследованном диапазоне слабо зависят от E/N , а их величина имеет порядок $10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, что существенно ближе к данным [1], чем к [2]. Следует отметить различное влияние этих двух карбониллов на устойчивость разряда: $\text{Fe}(\text{CO})_5$ приводит к увеличению предельно достижимых значений E/N (по сравнению с чистым азотом), а $\text{Ni}(\text{CO})_4$ приводит к их уменьшению.

Оценки роли прилипания электронов к карбонилам в условиях, типичных для непрерывных СО лазеров с накачкой несамостоятельным разрядом [6], показывают, что наличие примеси карбониллов на уровне 1 ppm является существенным, поэтому необходимо предъявлять очень высокие требования к очистке СО от примесей карбониллов, допустимая концентрация которых не должна превышать 0.1 ppm. Учитывая, что карбонилы эффективно образуются в металлических баллонах, содержащих СО под давлением [7], целесообразно применять дополнительную очистку СО непосредственно перед подачей в установку.

Отметим, что измерения концентраций карбониллов в баллонах с СО, проведенные с помощью абсорбционной ИК спектроскопии, показали, что концентрация $\text{Fe}(\text{CO})_5$ находится на уровне 0.5 ppm, а $\text{Ni}(\text{CO})_4$ — 25 ppm.

Список литературы

- [1] George P. M., Beauchamp Y. L. // J. Chem. Phys. 1982. Vol. 76. P. 2959—2964.
- [2] Lee M., Res Y. // Nat. Bur. Std. 1963. Vol. 67. P. 360—366.
- [3] Кочетов И. В., Шачкин Л. В., Шашков В. М. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 7. С. 1270—1273.
- [4] Хаксли Л., Кромптон Р. Диффузия и дрейф электронов в газах. М.: Мир, 1974. 672 с.
- [5] Смирнов Б. М. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М.: Атомиздат, 1974. 456 с.
- [6] Аверин А. П., Басов Н. Г. и др. // Квантовая электрон. 1982. Т. 9. № 12. С. 2357—2358.
- [7] Сыркин В. Г. Карбонилы металлов. М.: Химия, 1983. 198 с.

Поступило в Редакцию
19 декабря 1988 г.

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОР: АППАРАТНАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ НЕОСЕВЫХ ИСТОЧНИКАХ

В. А. Горелик, А. А. Николаев

В настоящей работе проведен расчет аппаратных функций двухступенчатого цилиндрического зеркального энергоанализатора (ДСЦЗА) с системой предварительного торможения в виде сферических сеток [1]. Рассмотрены ДСЦЗА с точечными неосевыми источниками при