

**ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА.
ТЕХНИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ**

Автаева С.В.

МОДЕЛЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В CBrF₃ ПЛАЗМЕ ВЧЕ РАЗРЯДА

S.V. Avtaeva

**MODEL OF CHEMICAL REACTIONS IN CBrF₃ PLASMA OF THE
CAPACITIVE RF DISCHARGE**

Представлена модель газо-фазных реакций в CBrF₃ плазме ВЧЕ разряда. Рассчитан состав плазмы и зависимости концентраций компонент плазмы от времени при давлении газа 5 Па и температуре электронов 3 эВ. Основными положительными ионами в CBrF₃ плазме ВЧЕ разряда являются ионы CF₃⁺, основными отрицательными ионами - ионы Br⁻ и F⁻. CBrF₃ плазма ВЧЕ разряда сильно электроотрицательна. Степень диссоциации молекул CBrF₃ достигает 20%. Основными нейтральными продуктами газо-фазных реакций являются CBrF₂, C₂F₆, BrF и Br. Рассчитанные плотности атомов Br и ионов брома Br⁺ близки к значениям, измеренным экспериментально методом оптической актинометрии.

Model of gas-phase reactions in CBrF₃ plasma of the capacitive RF discharge is presented. The plasma composition and densities of plasma species depending on time were calculated at a gas pressure of 5 Pa and an electron temperature of 3 eV. In CBrF₃ plasma of the capacitive RF discharge CF₃⁺ ions are the primary positive ions and Br⁻ and F⁻ ions are the primary negative ions. CBrF₃ plasma of the capacitive RF discharge is strongly electronegative. Dissociation degree of the CBrF₃ molecules reaches 20%. The primary neutral products of gas-phase reactions are CBrF₂, C₂F₆, BrF and Br. Calculated densities of the Br atoms and Br⁺ ions are close to the values measured by the optical actinometry method.

1. Введение. Сухие плазменные технологии, прежде всего плазменное травление, широко используются в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем. Совершенствование технологии плазменного травления требует увеличения анизотропии и селективности процесса плазменного травления. Для плазменного травления полупроводниковых структур обычно используется высокочастотный разряд емкостного типа (ВЧЕ разряд) во фторсодержащих газах и их смесях. Однако плазменное травление во фторсодержащих газах часто является изотропным. В работах [1, 2] было обнаружено, что использование бром- и йодсодержащих газов позволяет проводить анизотропное плазменное травление. Отсутствие физических моделей ВЧЕ разрядов в бром- и йод содержащих газах,

учитывающих химические реакции, ограничивает их применение в современных плазменных технологических процессах. В настоящей работе представлена модель газо-фазных реакций в CBrF₃ плазме ВЧЕ разряда.

2. Кинетическая схема. В кинетическую модель газо-фазных реакций в CBrF₃ плазме включены 132 реакции (таблица 1): диссоциация нейтральных молекул и радикалов электронным ударом, ионизация и диссоциативная ионизация электронным ударом, диссоциативное прилипание электронов, отлипание электронов, диссоциативная электрон-ионная рекомбинация, перезарядка ионов, ион-ионная рекомбинация, ассоциативное прилипание электронов и химические реакции между нейтральными компонентами плазмы (молекулы, радикалы, атомы). На основе решения системы дифференциальных уравнений типа: $\frac{dn_i(t)}{dt} = f(n_i(t))$ рассчиты-

вались зависимости от времени для 33 компонент плазмы: CBrF₃, CBrF₂, CBrF, CBr₂F, CBr₂F₂, CF₄, CF₃, CF₂, CF, Br, F, C, Br₂, F₂, BrF, C₂F₄, C₂F₅, C₂F₆, C₃F₇, CBrF₂⁺, CBrF⁺, CF₃⁺, CF₂⁺, CF⁺, Br⁺, F⁺, C⁺, Br₂⁺, F₂⁺, BrF⁺, C₂F₄⁺, Br⁻, F⁻. Решение системы дифференциальных уравнений проводилось по алгоритму Гира [3] для численного интегрирования жестких систем однородных дифференциальных уравнений. Реакции на границе плазма-поверхность не включены в модель, поскольку механизмы большинства реакций этого типа не изучены. Начальная концентрация молекул CBrF₃ рассчитывалась из уравнения состояния $n = P/kT$, значения давления и температуры газа взяты равными P=5 Па и T=400К, как в экспериментальной работе [4]. Температура и концентрация электронов предполагались заданными. Концентрация электронов подбиралась по наилучшему совпадению получаемых в расчетах и экспериментально измеренных методом оптической актинометрии концентраций атомарного брома [4]. При температуре электронов 3 эВ, типичной для ВЧЕ

разрядов удовлетворительные результаты получены для концентраций электронов $10^{17} \div 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. К сожалению, константы скоростей многих реакций с участием бромсодержащих компонент не были обнаружены. В случае отсутствия

константы скорости для реакций с участием бромсодержащих компонент в расчетах использовалась константа скорости для аналогичного фторсодержащего компонента с учетом разницы в энергиях связи.

Таблица 1.

Кинетическая схема элементарных физико-химических процессов в плазме CBrF_3 .

№	Реакция	Константа скорости, $\text{см}^3\text{с}^{-1}$ $T_e = 3 \text{ эВ}$	Источник
Диссоциация электронным ударом			
1	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CF}_3 + \text{Br} + e$	2.0×10^{-8}	По аналогии с CHF_3
2	$e + \text{CF}_3 = \text{CF}_2 + \text{F} + e$	1.0×10^{-8}	[5, 7]
3	$e + \text{CF}_2 = \text{CF} + \text{F} + e$	1.0×10^{-8}	[6,7]
4	$e + \text{CF} = \text{C} + \text{F} + e$	0.5×10^{-9}	[5]
5	$e + \text{Br}_2 = \text{Br} + \text{Br} + e$	0.17×10^{-8}	По аналогии с F_2
6	$e + \text{F}_2 = \text{F} + \text{F} + e$	0.17×10^{-8}	[6, 7]
7	$e + \text{CF}_4 = \text{CF}_3 + \text{F} + e$	0.67×10^{-10}	[6]
8	$e + \text{C}_2\text{F}_4 = \text{CF}_2 + \text{CF}_2 + e$	0.25×10^{-8}	[7]
9	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CF}_2 + \text{BrF} + e$	0.67×10^{-8}	Оценка
10	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CF}_2 + \text{F} + \text{Br} + e$	0.29×10^{-8}	Оценка
11	$e + \text{C}_3\text{F}_7 = \text{CF}_2 + \text{C}_2\text{F}_5 + e$	0.50×10^{-9}	Оценка
12	$e + \text{C}_3\text{F}_7 = \text{C}_2\text{F}_4 + \text{CF}_3 + e$	0.50×10^{-9}	Оценка
13	$e + \text{C}_2\text{F}_5 = \text{CF}_2 + \text{CF}_3 + e$	1.00×10^{-9}	Оценка
14	$e + \text{C}_2\text{F}_6 = \text{CF}_3 + \text{CF}_3 + e$	2.00×10^{-9}	Оценка
15	$e + \text{BrF} = \text{Br} + \text{F} + e$	0.17×10^{-8}	По аналогии с F_2
16	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CBrF}_2 + \text{F} + e$	0.20×10^{-8}	Оценка
17	$e + \text{CBrF}_2 = \text{CF}_2 + \text{Br} + e$	0.5×10^{-8}	Оценка
18	$e + \text{CBrF} = \text{CF} + \text{Br} + e$	0.5×10^{-8}	Оценка
19	$e + \text{CBrF}_2 = \text{CBrF} + \text{Br} + e$	1.0×10^{-8}	Оценка
20	$e + \text{CBr}_2\text{F}_2 = \text{CBrF}_2 + \text{Br} + e$	1.0×10^{-8}	Оценка
Ионизация электронным ударом			
21	$e + \text{CBrF}_2 = \text{CBrF}_2^+ + 2e$	0.5×10^{-10}	Оценка
22	$e + \text{CBrF} = \text{CBrF}^+ + 2e$	0.1×10^{-10}	Оценка
23	$e + \text{CF}_3 = \text{CF}_3^+ + 2e$	0.15×10^{-9}	[5, 6, 7]
24	$e + \text{CF}_2 = \text{CF}_2^+ + 2e$	0.43×10^{-9}	[6]
25	$e + \text{CF} = \text{CF}^+ + 2e$	0.34×10^{-9}	[5]
26	$e + \text{Br} = \text{Br}^+ + 2e$	1.6×10^{-10}	[8]
27	$e + \text{F} = \text{F}^+ + 2e$	0.4×10^{-10}	[5]
28	$e + \text{C} = \text{C}^+ + 2e$	0.58×10^{-9}	[7]
29	$e + \text{F}_2 = \text{F}_2^+ + 2e$	0.37×10^{-10}	[5, 7]
30	$e + \text{Br}_2 = \text{Br}_2^+ + 2e$	1.5×10^{-10}	Оценка
31	$e + \text{BrF} = \text{BrF}^+ + 2e$	1.5×10^{-10}	Оценка
32	$e + \text{C}_2\text{F}_4 = \text{C}_2\text{F}_4^+ + 2e$	0.19×10^{-9}	[7]
Диссоциативная ионизация			
33	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CF}_3^+ + \text{Br} + 2e$	0.2×10^{-9}	Оценка
34	$e + \text{CBrF}_3 = \text{Br}^+ + \text{CF}_3 + 2e$	0.2×10^{-9}	Оценка
35	$e + \text{CBrF}_3 = \text{CBrF}_2^+ + \text{F} + 2e$	0.2×10^{-9}	Оценка
36	$e + \text{CF}_3 = \text{CF}_2^+ + \text{F} + 2e$	0.45×10^{-10}	[5-7]
37	$e + \text{CF}_2 = \text{CF}^+ + \text{F} + 2e$	0.86×10^{-10}	[5-7]
38	$e + \text{CF}_4 = \text{CF}_3^+ + \text{F} + 2e$	0.1×10^{-9}	[6]
39	$e + \text{C}_2\text{F}_4 = \text{CF}^+ + \text{CF}_3 + 2e$	0.19×10^{-10}	[7]
40	$e + \text{C}_2\text{F}_6 = \text{CF}_3^+ + \text{CF}_3 + 2e$	0.38×10^{-10}	Оценка

Диссоциативное прилипание			
41	$e + CBrF_3 = F^- + CBrF_2$	0.25×10^{-8}	Оценка
42	$e + CBrF_3 = Br^- + CF_3$	0.25×10^{-8}	Оценка
43	$e + CBrF_2 = Br^- + CF_2$	1.0×10^{-9}	Оценка
44	$e + CF_3 = F^- + CF_2$	0.35×10^{-10}	[6]
45	$e + CF_2 = F^- + CF$	0.35×10^{-10}	[6]
46	$e + CF_4 = F^- + CF_3$	0.35×10^{-10}	[7]
47	$e + Br_2 = Br^- + Br$	2.0×10^{-9}	Оценка
48	$e + F_2 = F^- + F$	1.0×10^{-9}	[6]
Отрыв электронов электронным ударом			
49	$e + Br^- = Br + 2e$	0.13×10^{-8}	По аналогии с F^-
50	$e + F^- = F + 2e$	0.13×10^{-8}	[5]
Диссоциативная электрон-ионная рекомбинация			
51	$e + CF_3^+ = CF_2 + F$	3.52×10^{-9}	[5]
52	$e + CF_2^+ = CF + F$	3.52×10^{-9}	[5]
53	$e + CF^+ = C + F$	3.52×10^{-9}	[5]
54	$e + CBrF_2^+ = CF_2 + Br$	0.5×10^{-7}	Оценка
55	$e + CBrF^+ = CF + Br$	0.5×10^{-7}	Оценка
56	$e + FBr^+ = F + Br$	3.52×10^{-9}	Оценка
57	$e + F_2^+ = F + F$	3.52×10^{-9}	[5]
58	$e + Br_2^+ = Br + Br$	1.00×10^{-9}	Оценка
Перезарядка положительных ионов на нейтралах			
59	$CF_2^+ + CF_3 = CF_3^+ + CF_2$	1.48×10^{-9}	[7]
60	$CF_2^+ + CF = CF_3^+ + C$	2.06×10^{-9}	[7]
61	$CF_2^+ + C = CF^+ + CF$	1.04×10^{-9}	[7]
62	$CF^+ + CF_3 = CF_3^+ + CF$	1.71×10^{-9}	[7]
63	$F^+ + CF_3 = CF_2^+ + F_2$	2.09×10^{-9}	[7]
64	$F^+ + CF_2 = CF^+ + F_2$	2.28×10^{-9}	[7]
65	$F^+ + CF = C^+ + F_2$	2.71×10^{-9}	[7]
66	$F^+ + C = C^+ + F$	1.17×10^{-9}	[7]
67	$F^+ + F_2 = F_2^+ + F$	7.94×10^{-10}	[7]
68	$F_2^+ + CF_3 = CF_3^+ + F + F$	1.60×10^{-9}	[7]
69	$F_2^+ + CF_2 = CF_3^+ + F$	1.79×10^{-9}	[7]
70	$F_2^+ + CF = CF_2^+ + F$	2.18×10^{-9}	[7]
71	$F_2^+ + C = CF^+ + F$	1.04×10^{-9}	[7]
72	$F_2^+ + Br = Br^+ + F + F$	1.04×10^{-9}	Оценка
73	$Br^+ + CF_3 = CF_2^+ + BrF$	0.52×10^{-9}	Оценка
74	$Br^+ + Br_2 = Br_2^+ + Br$	7.94×10^{-10}	Оценка
75	$Br^+ + CF_2 = CF^+ + BrF$	0.57×10^{-9}	Оценка
76	$Br^+ + CF = CF^+ + Br$	1.35×10^{-9}	Оценка
Взаимная нейтрализация ионов			
84	$CBrF_2^+ + F^- = CF_2 + BrF$	4.35×10^{-8}	Оценка
85	$CF_3^+ + F^- = CF_2 + F_2$	8.70×10^{-8}	[7]
86	$CF_3^+ + Br^- = CF_2 + BrF$	4.35×10^{-8}	Оценка
87	$CF_2^+ + F^- = CF + F_2$	9.10×10^{-8}	[7]
88	$CF^+ + F^- = CF + F$	9.80×10^{-8}	[7]
89	$CF^+ + Br^- = CF + Br$	9.80×10^{-8}	Оценка
90	$C^+ + F^- = C + F$	1.20×10^{-7}	[7]
91	$C^+ + Br^- = C + Br$	1.20×10^{-7}	Оценка
92	$F^+ + F^- = F + F$	1.10×10^{-7}	[7]
93	$Br^+ + Br^- = Br + Br$	0.55×10^{-7}	Оценка
94	$F_2^+ + F^- = F + F_2$	9.40×10^{-8}	[7]
95	$Br_2^+ + Br^- = Br + Br_2$	9.40×10^{-8}	Оценка
97	$BrF^+ + Br^- = F + Br_2$	9.40×10^{-8}	Оценка
98	$BrF^+ + F^- = Br + F_2$	9.40×10^{-8}	Оценка
99	$C_2F_4^+ + F^- = CF + CF_2 + F_2$	8.20×10^{-8}	[7]

Ассоциативный отрыв электрона			
100	$\text{Br}^- + \text{Br} = \text{Br}_2 + e$	2.00×10^{-10}	Оценка
101	$\text{Br}^- + \text{CF}_3 = \text{CBrF}_3 + e$	2.00×10^{-10}	Оценка
102	$\text{Br}^- + \text{CF}_2 = \text{CBrF}_2 + e$	1.00×10^{-10}	Оценка
103	$\text{Br}^- + \text{CF} = \text{CBrF} + e$	1.00×10^{-10}	Оценка
104	$\text{F}^- + \text{CF}_3 = \text{CF}_4 + e$	5.00×10^{-10}	[6]
105	$\text{F}^- + \text{CF}_2 = \text{CF}_3 + e$	1.00×10^{-10}	[6]
106	$\text{F}^- + \text{CF} = \text{CF}_2 + e$	1.00×10^{-10}	[6]
Нейтрал- нейтральные реакции			
107	$\text{Br} + \text{Br} = \text{Br}_2$	2.34×10^{-15}	[9]
108	$\text{Br} + \text{F}_2 = \text{F} + \text{BrF}$	3.00×10^{-16}	[9]
109	$\text{Br} + \text{CBrF}_3 = \text{Br}_2 + \text{CF}_3$	5.95×10^{-24}	[9]
110	$\text{Br} + \text{CF} = \text{CBrF}$	3.00×10^{-13}	[9]
111	$\text{Br} + \text{CF}_2 = \text{CBrF}_2$	3.00×10^{-13}	[9]
112	$\text{Br} + \text{CF}_3 = \text{CBrF}_3$	3.00×10^{-13}	[9]
113	$\text{Br}_2 + \text{CF}_3 = \text{Br} + \text{CBrF}_3$	1.49×10^{-12}	[9]
114	$\text{Br}_2 + \text{CF}_2 = \text{CBr}_2\text{F}_2$	1.92×10^{-15}	[9]
115	$\text{Br}_2 + \text{CF} = \text{CBr}_2\text{F}$	3.32×10^{-13}	[9]
116	$\text{Br}_2 + \text{CBrF} = \text{CBr}_2\text{F} + \text{Br}$	3.00×10^{-13}	[9]
117	$\text{Br}_2 + \text{F} = \text{BrF} + \text{Br}$	2.19×10^{-10}	Оценка
118	$\text{F} + \text{CF} = \text{CF}_2$	1.00×10^{-12}	[9]
119	$\text{F} + \text{CF}_2 = \text{CF}_3$	2.15×10^{-11}	[9]
120	$\text{F} + \text{CF}_3 = \text{CF}_4$	2.00×10^{-12}	[9]
121	$\text{CF}_3 + \text{CF}_2 = \text{C}_2\text{F}_5$	1.00×10^{-12}	[9]
122	$\text{CF}_3 + \text{CF}_3 = \text{C}_2\text{F}_6$	2.98×10^{-11}	[9]
123	$\text{CF}_2 + \text{CF}_2 = \text{C}_2\text{F}_4$	2.90×10^{-14}	[9]
124	$\text{F} + \text{C}_2\text{F}_4 = \text{CF}_3 + \text{CF}_2$	4.40×10^{-11}	[9]
125	$\text{C}_2\text{F}_4 + \text{CF}_3 = \text{C}_3\text{F}_7$	9.89×10^{-15}	[9]
126	$\text{C}_2\text{F}_5 + \text{CF}_2 = \text{C}_3\text{F}_7$	0.50×10^{-12}	[9]
127	$\text{BrF} + \text{C} = \text{Br} + \text{CF}$	0.61×10^{-15}	[9]
128	$\text{C}_3\text{F}_7 = \text{CF}_2 + \text{C}_2\text{F}_5$	4.00×10^{-10}	[9]
129	$\text{C}_3\text{F}_7 = \text{C}_2\text{F}_4 + \text{CF}_3$	6.80×10^{-7}	[9]
130	$\text{C}_2\text{F}_5 = \text{CF}_2 + \text{CF}_3$	1.19×10^{-9}	[9]
131	$\text{C}_2\text{F}_6 = \text{CF}_3 + \text{CF}_3$ (1 порядок)	2.47×10^{-24}	[9]
132	$\text{C}_2\text{F}_6 + \text{M} = \text{CF}_3 + \text{CF}_3$ (2 порядок)	1.05×10^{-20}	[9]

3. Результаты и обсуждения. На рис. 1 представлены зависимости концентраций нейтральных компонент CBrF_3 плазмы в ВЧЕ разряде от времени, на рис. 2 - зависимости концентраций положительных и отрицательных ионов от времени.

Хотя представленная модель содержит ряд ограничений (постоянные концентрация и температура электронов, отсутствие учета дрейфового и диффузионного движения компонент плазмы), к тому же неопределенность в константах скоростей многих реакций велика, модель приводит к тем же самым типам основных ионов в CBrF_3 плазме ВЧЕ разряда, которые экспериментально наблюдались с помощью масс-спектрологии [10]. Основными положительными ионами в CBrF_3 плазме ВЧЕ разряда являются ионы CF_3^+ , основными отрицательными ионами являются ионы Br^- и F^- .

CBrF_3 плазма ВЧЕ разряда сильно электроотрицательна. Плотности положительных и отрицательных ионов существенно превышают плотность электронов. Степень диссоциации CBrF_3 достигает 20%. Основными нейтральными продуктами газо-фазных реакций являются CBrF_2 , C_2F_6 , BrF и Br , плотности этих компонент близки и достигают значений порядка $6 \cdot 10^{13} \text{см}^{-3}$. Значительную плотность имеют молекулы брома Br_2 и радикалы CF_2 и CF_3 . Рассчитанные плотности атомов Br и ионов брома Br^+ близки к экспериментально измеренным значениям, однако рассчитанная плотность атомов фтора оказывается ниже значений, измеренных экспериментально методом оптической актинометрии. Разница в рассчитываемых и измеренных плотностях атомарного фтора может быть связана как с имеющимися неопределенностями в механизмах и скоростях реакций, так и с погрешностями экспериментального определения плотности атомарного фтора, обусловленными малыми интенсивностями линий атомарного фтора в CBrF_3 плазме ВЧЕ разряда, а также рядом допущений, используемых в методе оптической актинометрии.

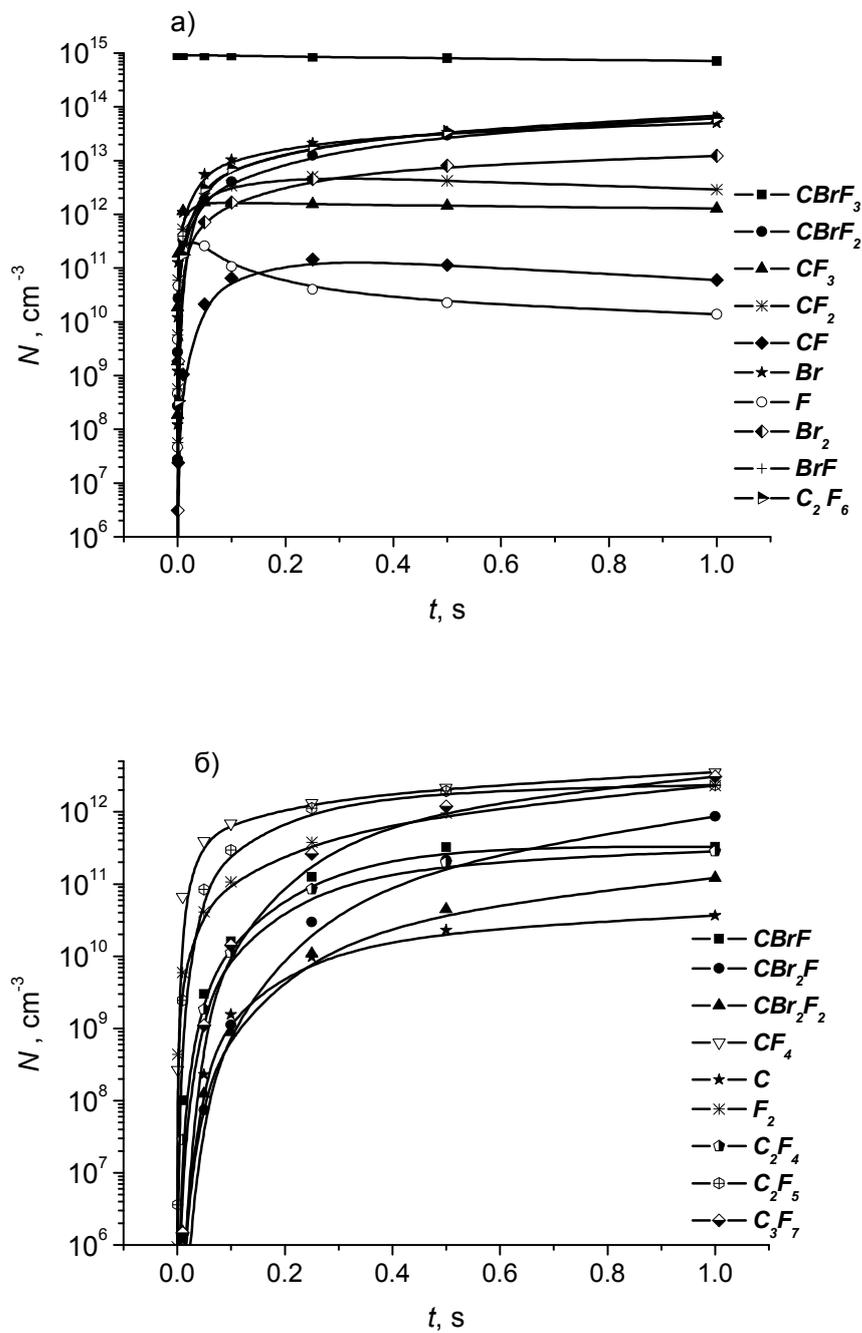


Рис. 1. Концентрации нейтральных компонент в $CBrF_3$ плазме ВЧЕ разряда в зависимости от времени для $n_e=10^7$ см⁻³, $T_e=3$ эВ, $T_g=400$ К, $P=5$ Па.

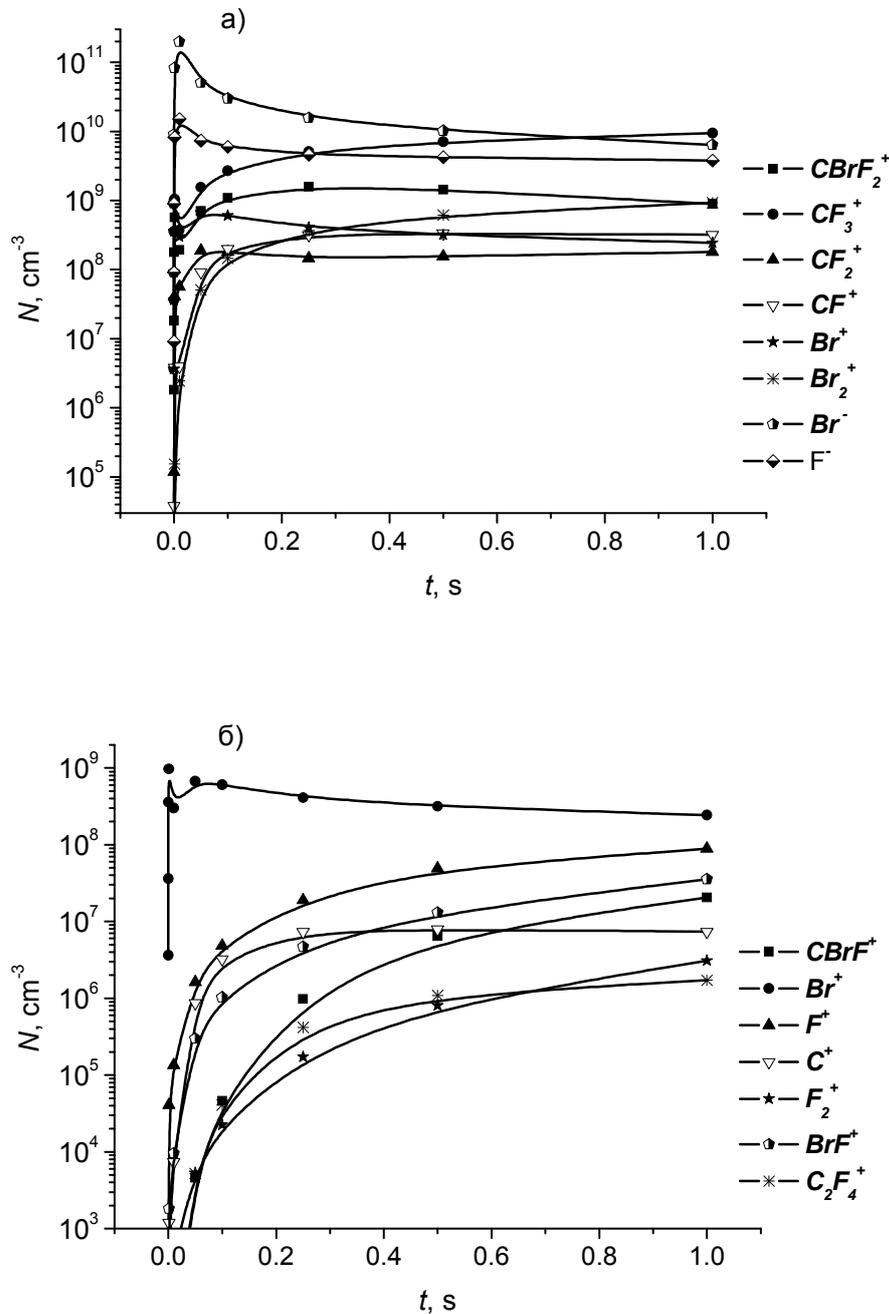


Рис. 2. Концентрации положительных и отрицательных ионов в CBrF_3 плазме ВЧЕ разряда в зависимости от времени для $n_e=10^7 \text{ cm}^{-3}$, $T_e=3 \text{ эВ}$, $T_g=400\text{K}$, $P=5 \text{ Па}$.

Сравнение результатов расчета временных зависимостей концентраций компонент плазмы при концентрациях электронов 10^7 cm^{-3} и $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ (рис. 3, 4) показывает, что при квазиустановившихся плотностях компонент плотности F , CF , CF_2 , CF_3 и Br^+ , CBrF_2^+ , Br^- , F^- мало зависят от концентрации электронов, плотности же нейтралов Br , Br_2 , BrF , CBrF_2 , C_2F_6 , и ионов CF^+ , CF_2^+ , CF_3^+ , Br_2^+ растут пропорционально росту концентрации электронов.

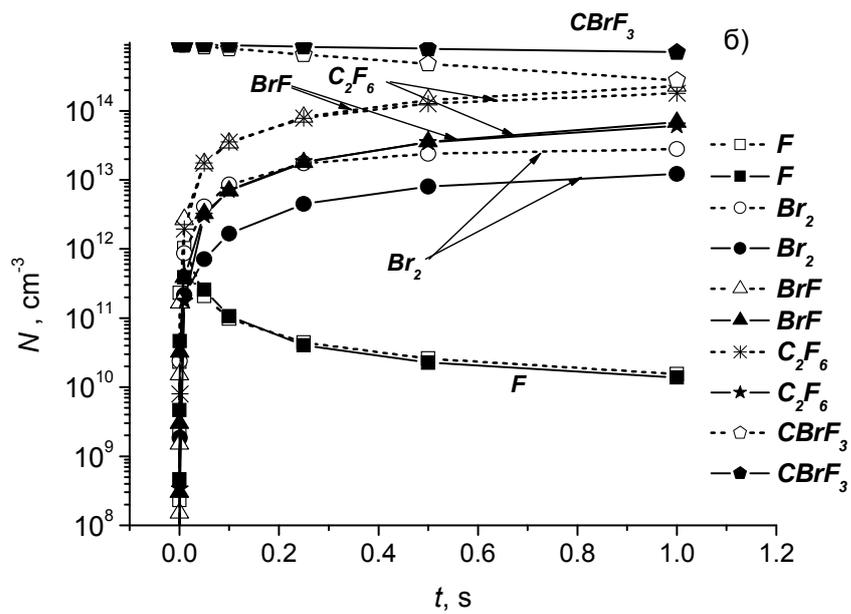
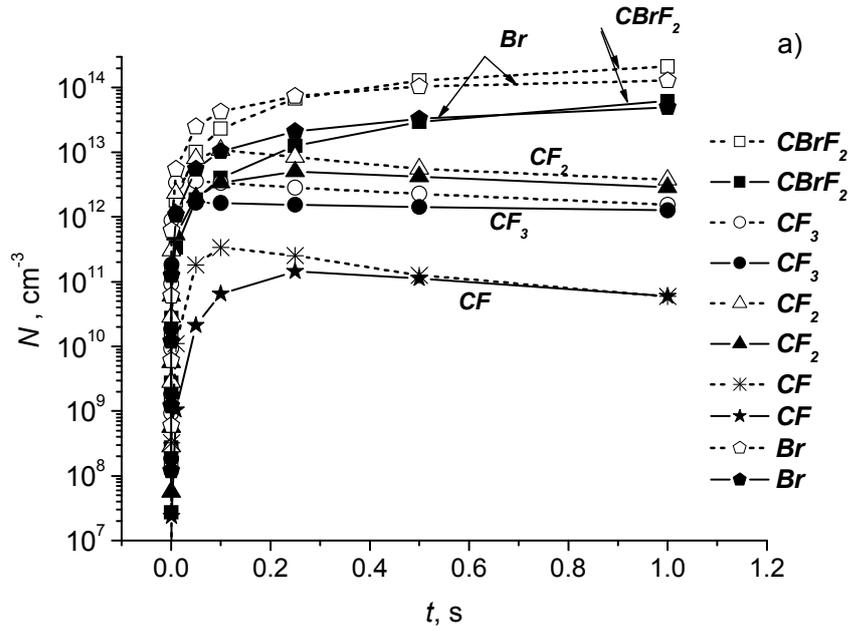


Рис. 3. Концентрации нейтральных компонент в $CBrF_3$ плазме ВЧЕ разряда в зависимости от времени для $n_e=5 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ (сплошные линии) и $n_e=10^7 \text{ cm}^{-3}$ (штриховые линии), $T_e=3 \text{ эВ}$, $T_g=400 \text{ К}$, $P=5 \text{ Па}$.

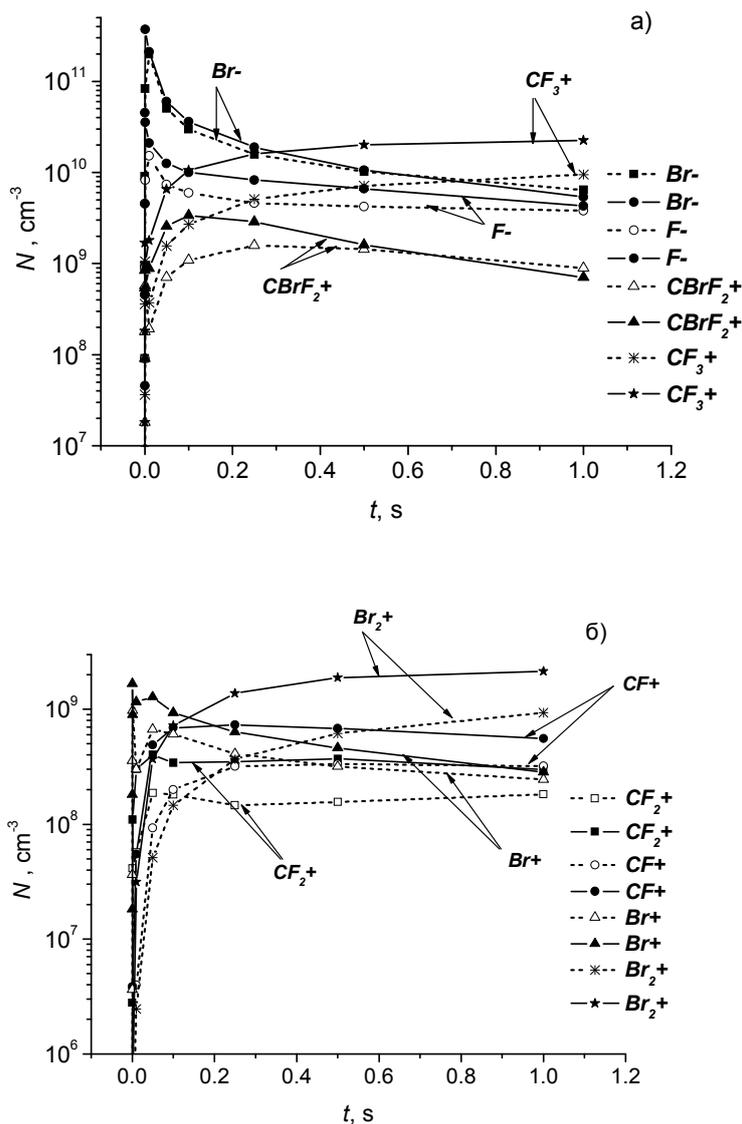


Рис. 4. Концентрации положительных и отрицательных ионов в CBrF_3 плазме ВЧЕ разряда в зависимости от времени для $n_e = 5 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ (сплошные линии) и $n_e = 10^7 \text{ cm}^{-3}$ (штриховые линии), $T_e = 3 \text{ эВ}$, $T_g = 400 \text{ K}$, $P = 5 \text{ Па}$.

Концентрации всех компонент увеличиваются с ростом плотности электронов.

Литература:

1. Flamm D.L., Cowan P.L. and Golovchenko J.A. // J. Vac. Sci. Technol. 1980, V. 17, P. 1341.
2. Абачев М.К., Антонов С.Л., Асович В.С. и др. // Микроэлектроника. 1988. Т. 17. В. 2. С. 119.
3. Полак Л.С., Гольденберг М.Я., Левицкий А.А. Вычислительные методы в химической кинетике. М.: Наука, 1984, 280 с.
4. Avtaeva S.V. and Otorbaev D.K. // J. Phys. D: Appl. Phys., 1993, V. 26, P. 2148.
5. Bose D., Rao M.V.V.S., Govindan T.R. and Meyyappan M. // Plasma Sources Sci. Technol., 2003, V. 12, P. 225.
6. Kimura T. and Ohe K. // J. Appl. Phys., 2002, V. 92, No. 4, P. 1780.
7. Font G.I., Morgan W.L. and Mennenga G. // J. Appl. Phys., 2002, V. 91, No. 6, P. 3530.
8. Hayes T.R., Wetzel R.C. and Freund R.S. // Phys. Rev. A, 1987, V. 35, No. 2, P. 578.
9. <http://kinetics.nist.gov/index.php>
10. Avtaeva S.V., Baryshev Yu.P., Valiev K.A. et al. // In book: Problems of submicron technology, edited by K.A. Valiev. Moscow: Nauka, 1993, P. 3.