

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УКРАИНЫ
УЖГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 539.196

ЧАВАРГА Николай Николаевич

**ВОЗБУЖДЕНИЕ МОЛЕКУЛ F₂ И SF₆
ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ**

Специальность 01.04.04. — физическая электроника

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ужгород — 1993

Аб 27.03



00802926 (R)

Дисертація вченого на кафедрі квантової електроніки
Ужгородського державного університету

Научний керівник - доктор фізико-математических наук,
професор Алексахин І.С.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук,
професор Шпенік О.Б.
кандидат фізико-математических наук
Данилевський Н.П.

Ведущая організація - фізико-технічний інститут низких
температур АН України

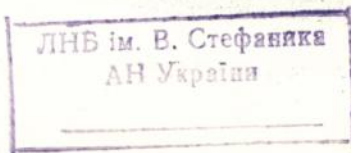
Захита состоится " 22 " апреля 1993 г. в 14⁰⁰
на засіданні спеціалізованого совета К 068.07.02 по
фізико-математическим наукам при Ужгородском госуниверсите-
те (ауд. 181), (г.Ужгород, ул.Горького, 46).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
Ужгородского госуниверситета (ул.Кремлевская, 9).

Автореферат разослан " 18 " квітня 1993 г.

Учений секретар спеціалізованого
совета, доктор фізико-математических
наук, професор

БЛЕЩАК Д.І.



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УКРАИНЫ
УЖГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 539.196

ЧАВАРГА НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ

ВОЗБУЖДЕНИЕ МОЛЕКУЛ F_2 И SF_4 ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ

Специальность 01.04.04.— физическая электроника

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Актуальность задачи по исследованию процессов возбуждения, происходящих при столкновениях электронов с молекулами фтора и фторсодержащими молекулами, определяется широким их применением в плазменных технологиях сухого травления в микроэлектронике, а также в качестве рабочего тела различных лазеров. Роль электронной компоненты в низкотемпературной плазме решающая [1], поэтому информация о сечениях взаимодействия электронов с молекулами, в том числе и информация о сечениях их возбуждения, представляет собой интерес как для анализа и моделирования процессов в разрядах, так и для их контроля в плазменных технологиях.

Несмотря на свою актуальность, экспериментальные данные о сечениях возбуждения эмиссий молекул F_2 электронами отсутствуют для всего спектрального диапазона, что, по-видимому, объясняется экспериментальными трудностями, связанными с большой химической активностью фтора.

Исследования процессов возбуждения молекул CF_4 электронным ударом проводились в ряде работ, но они имеют фрагментарный характер. С другой стороны, между имеющимися результатами различных авторов наблюдаются существенные различия, не позволяющие однозначно интерпретировать данные измерений. Кроме того, участок спектра $\lambda < 140$ нм оставался неисследованным, а ряд широкополосных эмиссий в видимой области спектра оставался неотожествленным. Все это указывает на актуальность исследований по возбуждению молекул F_2 и CF_4 электронным ударом.

Молекула F_2 представляет интерес как первая в ряду фторсодержащих, а также как широко используемая в плазменных технологиях. При выборе объектов исследований мы рассчитывали также, что результаты окажутся взаимодополняющими, что и подтвердилось в ходе исследований.

Цель работы состояла в проведении систематических исследований процессов возбуждения молекул F_2 и CF_4 контролируемым электронным ударом. В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

I. Создана экспериментальная спектрометрическая установка для исследований процессов возбуждения атомов и молекул контролируемым электронным ударом в спектральном диапазоне

50-800 нм в интервале энергий 10-300 эВ, содержащая два монохроматора.

2. Разработана методика исследований химически активных фторсодержащих газов.

3. Исследованы эмиссионные спектры $e + F_2$ и $e + CF_4$ взаимодействий.

4. Измерены энергетические зависимости сечений возбуждения наблюдающихся эмиссий от порога возбуждения до 300 эВ.

5. Определены абсолютные значения сечений возбуждения эмиссий.

6. Проведен анализ полученных результатов, отождествлены наблюдающиеся эмиссии и элементарные процессы.

Научная новизна

1. Построена экспериментальная спектрометрическая двухканальная установка, позволяющая проводить исследования по возбуждению атомов и молекул контролируемым электронным ударом в спектральном диапазоне 50-800 нм.

2. Предложен и реализован способ защиты металлических элементов электронной оптики от воздействия фторсодержащих газов.

3. Предложен и реализован способ калибровки энергетической шкалы электронного пучка, заключающийся в одновременных исследованиях эмиссий исследуемого и контрольного газов в разных оптических каналах.

4. Впервые проведены систематические исследования эмиссионных спектров $e + F_2$ и $e + CF_4$ взаимодействий, возбуждаемых контролируемым электронным ударом. Зарегистрированы и исследованы ранее не наблюдавшиеся эмиссии молекулярного фтора λ 174 нм и λ 290 нм.

5. Впервые проведены систематические исследования энергетических зависимостей сечений возбуждения эмиссий $e + F_2$ и $e + CF_4$ взаимодействий. Всего исследовано 123 эмиссии, из них 101 впервые.

6. Впервые определены абсолютные значения сечений возбуждения эмиссий $e + F_2$ взаимодействий и резонансных линий атомов фтора $e + CF_4$ взаимодействий.

7. Показано, что лазерный переход молекул F_2 на длине волны λ 157,5 нм осуществляется между $i^3\Pi_g$ и $a^3\Pi_g$ состояниями за пределами области Франка-Кондона.

8. Установлено, что при взаимодействиях электронов с молекулами F_2 и CF_4 наиболее эффективно образуются возбужденные фрагменты F_2^+ , F_2^{2+} и CF_4^+ .

9. Показано, что непрерывные эмиссии λ 230, 290 и 400 нм принадлежат связанно-несвязанным переходам CF_4^+ .

Научная и практическая ценность работы

1. Разработанная методика позволяет проводить исследования по возбуждению электронным ударом химически активных фторсодержащих газов, при этом надежность и достоверность результатов не уступает соответствующим измерениям химически неактивных газов.

2. Полученные результаты имеют фундаментальный характер и несут информацию как о строении исследуемых объектов, так и о параметрах элементарных процессов электронно-молекулярных взаимодействий.

3. Результаты исследований имеют практическое значение для анализа процессов в газоразрядной плазме и уже были использованы при моделировании процессов в газовом разряде лазеров.

4. Разработанная методика исследований может быть использована и другими авторами при исследованиях электронно-молекулярных взаимодействий как химически активных, так и неактивных газов.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

1. Экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования по возбуждению атомов и молекул методом газовой ячейки, включая и химически активные фторсодержащие газы в спектральном диапазоне (50-800 нм).

2. Способ калибровки энергетической шкалы электронного пучка.

3. Способ защиты металлических поверхностей элементов электронной оптики от воздействия фторсодержащей среды.

4. Эмиссионные спектры, образующиеся при взаимодействиях электронов с молекулами F_2 и CF_4 .

5. Функции возбуждения эмиссий от порога возбуждения до 300 эВ.

6. Абсолютные значения сечений возбуждения исследованных эмиссий.

7. Идентификация спектров и элементарных процессов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений, Рига, 1984, на Всесоюзном семинаре "Процессы ионизации с участием возбужденных атомов", Ленинград, 1988, на X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений, Ужгород, 1988, на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений, Чебоксары, 1991.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка основной использованной литературы. Работа содержит 170 страниц, включая 64 рисунка, 16 таблиц и список литературы из 103 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, указана ее научная новизна и практическая ценность, сформулирована цель исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе содержится обзор литературы по исследованию электронной структуры молекул F_2 , отмечено, что экспериментальные исследования по возбуждению молекул F_2 электронным ударом проводились лишь в узком спектральном диапазоне 140 - 169 нм [2], а измерения абсолютных значений сечений возбуждения F_2 отсутствуют для всего спектрального диапазона. Кроме этого, состояния лазерного перехода молекул F_2 оставались неотожествленными. [3].

Молекула CF_4 , как широко используемая в плазменных технологиях и химически менее активная, исследована более широко, но исследования имеют фрагментарный характер, а участок спектра $\lambda < 140$ нм оставался неисследованным. В исследованном же диапазоне спектра в результатах различных авторов наблюдаются существенные расхождения - так, разница в порогах возбуждения одной и той же эмиссии в разных экспериментах составляет более 12 эВ. Кроме этого, непрерывные эмиссии λ 230, 290 и 400 нм оставались неотожествленными [4]. Все это указывает на актуальность исследований по возбуждению молекул F_2 и CF_4 электронным ударом.

Во второй главе дано описание экспериментальной установки и ее узлов. Подробно описана методика определения абсолютных значений сечений возбуждения эмиссий по стандартному источнику излучения (для участка 400-800 нм) и по известным из литературы сечениям возбуждения эмиссий других объектов (для

участка 50–400 нм).

Исследования проводились методом газовой ячейки. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке I. Установка имеет два монохроматора – монохроматор (1) для вакуумного

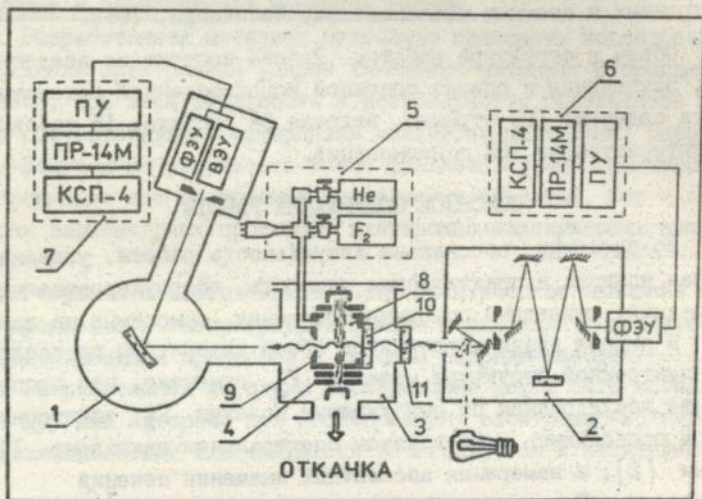


Рис. I. Схема экспериментальной установки.

ультрафиолета (50–250 нм) схемы Сейя-Намиока, спроектированного и изготовленного нами, и монохроматора (2) для диапазона 200–800 нм. Каждый оптический канал имеет независимую систему регистрации фотоэлектрических импульсов (6), (7). Приемниками излучения служили: ВЭУ-6 (50–120 нм), ФЭУ-142 (115–250 нм) и ФЭУ-106 (200–800 нм). Излучение из газовой ячейки (9) выводится через открытую щель в ВУФ-монохроматоре и через прозрачные окошка во второй монохроматор.

Дисперсия вакуумного монохроматора составляет $\sim 17 \text{ \AA}/\text{мм}$, монохроматора для видимой области спектра $20 \text{ \AA}/\text{мм}$. Плотность тока электронного пучка $\sim 10^{-4} \text{ А}/\text{мм}^2$, давление в газовой ячейке $2\text{--}3 \times 10^{-3} \text{ Торр}$, давление остаточного газа $3 \cdot 10^{-6} \text{ Торр}$, разброс электронов по энергиям $\sim 1 \text{ эВ}$ для 90 % электронов.

Основные исследования состояли в изучении эмиссионных спектров электронно-молекулярных взаимодействий, в изучении энергетических зависимостей сечений возбуждения эмиссий от порога возбуждения до 300 эВ, а также измерениях абсолютных значений сечений возбуждения эмиссий. Калибровка чувствительности установки осуществлялась в видимой области (400–800 нм) по излучению спектральной лампы СИ 8-200 У, в ультрафиолетовой области (250–400 нм) по результатам для азота, в вакуумном ультрафиолете – по результатам для инертных газов, водорода и молекулы SF_6 . Ошибки определения сечений возбуждения эмиссий в видимой области не превышают 50 %, в ультрафиолетовой 60 % и в вакуумном ультрафиолете порядка 70 %.

Основная экспериментальная трудность при исследованиях фторсодержащих газов связана с образованием диэлектрических пленок на элементах электронной оптики. Это приводит к сильному искажению результатов измерений – сдвиг порогов возбуждения эмиссий в сторону больших энергий может достигать 20 эВ и более. Защита электродов пушки от воздействия фторсодержащих газов с помощью графита (на рис. 1 схематически показано жирными линиями) существенно облегчает проведение экспериментов, однако пленки образуются и на графите, хотя и значительно более медленно, поэтому проблема калибровки энергетической шкалы электронного пучка оставалась актуальной.

Для решения этой проблемы в газовую ячейку одновременно с исследуемым газом напускался контрольный газ с известными пороговыми функциями возбуждения эмиссий и проводились одновременные измерения функций возбуждения эмиссий исследуемого газа в одном оптическом канале и контрольной эмиссии в другом. Такой способ калибровки не только устраняет ошибки, в измерениях порогов возбуждения эмиссий, связанные с образованием диэлектрических пленок, но и позволяет контролировать форму функций возбуждения.

Кроме основных исследований, в работе проводились дополнительные эксперименты по определению чувствительности термометрических манометров к исследуемым газам, поскольку соответствующие данные в литературе отсутствовали. Для F_2 и CF_4 коэффициенты чувствительности определены равными 1,14 и 0,95 соответственно.

В данной работе был также усовершенствован способ измерения концентрации мишеней в газовой ячейке. Для этого в отдельных экспериментах в газовую ячейку помещался термометрический датчик

так, чтобы его платиновая нить находилась в центре области столкновений и измерялся перепад давлений между местом крепления рабочего датчика давлений и областью столкновений. В нашем случае, при расстоянии между датчиками ~ 25 см давление в области столкновений оказалось в $2 \pm 0,1$ раза меньшим, чем в месте крепления рабочего датчика. Неучет перепада приводит к завышению абсолютных значений сечений возбуждения.

В главе III представлены результаты исследований $e + F_2$ и $e + CF_4$ взаимодействий (эмиссионные спектры в области 50-800 нм, типичные функции возбуждения эмиссий от порога возбуждения до 300 эВ и сечения возбуждения эмиссий при энергии электронов 100 эВ) и приведено их обсуждение.

Для спектров $e + F_2$ взаимодействий характерно наличие эмиссий связанно-связанных (резонансных и переходов между возбужденными состояниями) и связанно-несвязанных переходов F_2 , эмиссий связанно-связанных переходов F_2^+ , а также интенсивных линий атома и иона атома фтора.

В вакуумном ультрафиолете наблюдаются резонансные эмиссии молекулярного фтора, эмиссии связанно-несвязанных переходов F_2 λ_{max} 157,5 и λ_{max} 174 нм, а также резонансные линии атома и иона атома фтора. В ультрафиолетовой части зарегистрированы линии иона атома фтора и две эмиссии небольшой интенсивности молекулярного фтора в районе 290 нм. На участке спектра 400-800 нм зарегистрированы эмиссии связанно-связанных переходов молекулярного иона F_2^+ , линии $3p - 3s$ переходов FI, а также полосы небольшой интенсивности связанно-связанных переходов F_2 - так называемой "оранжевой" системы.

Эмиссии λ 174 нм и λ 290 нм зарегистрированы и исследованы нами впервые. Порог возбуждения эмиссий λ 290 нм указывает на их принадлежность связанно-связанным переходам из сверхвозбужденного состояния F_2 . Полосы λ 157,5 и λ 174 нм приписаны связанно-несвязанным переходам из $K'\Sigma_u$ состояния F_2 . На длине волны λ 157,5 нм ранее наблюдалось лазерное излучение на связанно-связанных переходах молекулы F_2 [5]. Анализ полученных и имеющихся в литературе данных показывает, что лазерный переход осуществляется между $f^3\Pi_g$ и $a^3\Pi_u$ состояниями F_2 за пределами области Франка-Кондона.

В отличие от спектров F_2 , для спектров $e + CF_4$ взаимодействий характерно наличие интенсивных широкополосных эмиссий молекулярного иона CF_4^+ , относительно интенсивных линий FI и

линий небольшой интенсивности атома углерода. Для спектров характерно также отсутствие эмиссий исходной молекулы, а также линий иона атома фтора.

Для эмиссий молекулярного фтора обнаружено три типа функций возбуждения. Для $I, C, D, E, \Sigma_u^+, X, \Sigma_g^+$ переходов характерно наличие относительно острого максимума при 40–45 эВ, кривая 1, рис. 2. Для полос λ 157,5 и λ 174 нм характерно наличие пологого максимума при 90 эВ, кривая 2, рис. 2. Третий тип функций возбуждения характерен для переходов из сверхвозбужденного состояния F_2 , кривая 3. Этот процесс осуществляется с наименьшей эффективностью из всех наблюдаемых нами для молекулы F_2 , табл. I.

Таблица I

Элементарные процессы $e + F_2$ и $e + CF_4$ взаимодействий

№	Процесс	Порог, эВ	10^{-19} см^2
I.	$e + F_2 \rightarrow F_2^* + e \rightarrow F_2 + e + h\nu$	13	150
2.	$\rightarrow F_2^* + e \rightarrow F_2^{**} + e + h\nu$	14,9	36
3.	$\rightarrow F_2^{***} + e \rightarrow F_2^* + e + h\nu$	18,5	16
4.	$\rightarrow F_2^* + e \rightarrow F^* + F + e$	14,5	
5.	$\rightarrow F_2^{**} + e \rightarrow F^* + F + e$	16	230
6.	$\rightarrow F_2^{+*} + 2e \rightarrow F^* + F^+ + 2e$	32	
7.	$\rightarrow F_2^{+*} + 2e \rightarrow F_2^+ + 2e + h\nu$	18,5	240
8.	$\rightarrow F_2^{+*} + 2e \rightarrow F^{+*} + F + 2e$	40	87
9.	$e + CF_4 \rightarrow CF_4^{+*} + 2e \xrightarrow{h\nu} CF_3^+ + F + 2e$	22	
10.	$\rightarrow CF_3^* + F + e \xrightarrow{h\nu} CF_2 + 2F + e$	15	640
II.	$\rightarrow CF_4^* + e \rightarrow F^* + CF_3 + e$	18	56

В таблице I приведен список наблюдающихся элементарных процессов, пороги их образования, а также сечения образования. Сечения получены путем суммирования сечений возбуждения соответствующих эмиссий. В работе приводятся сечения возбуждения каждой эмиссии отдельно.

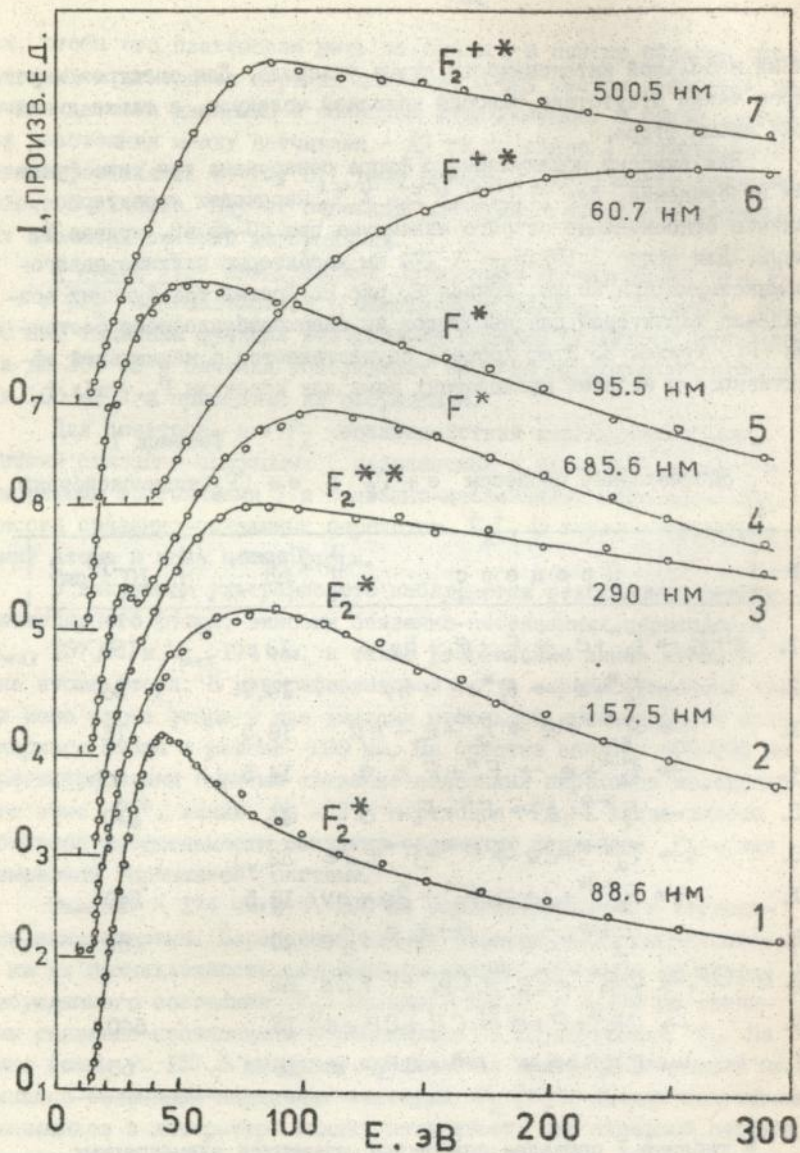


Рис. 2. Функции возбуждения эмиссий $e + F_2$ взаимодействий.

Для всех функций возбуждения линий атомарного фтора из молекулы F_2 (кроме первых резонансных линий λ 95,5 и λ 97,4 нм) характерно наличие двух максимумов – относительно острого при 28 эВ и широкого при 80–100 эВ, кривая 4, рис.2. Первый максимум связан с образованием возбужденных атомов фтора в паре с невозбужденным атомом в процессе диссоциативного возбуждения молекул F_2 , процессы 4 и 5, табл. I, а второй с образованием F^* в паре с невозбужденным ионом F^+ , процесс 6, табл. I.

Отличие функций возбуждения первых двух резонансных линий F^+ (кривая 5, рис.2) от остальных линий F^+ связано с относительно большим вкладом в функцию возбуждения процесса образования F^* в паре с невозбужденным атомом, процесс 4, а также, частично, со спектральным наложением эмиссий $C, D, E, \Sigma_u^+ - X, \Sigma_g^+$ переходов молекулярного фтора.

Для всех эмиссий молекулярного иона F_2^+ характерно наличие одного типа функций возбуждения с близким к линейному нарастанием в припороговой области, кривая 7, рис.2. Этот процесс осуществляется с наибольшей эффективностью для $e + F_2$ взаимодействий, процесс 7, табл. I.

Функции возбуждения F^+ получены только для двух линий λ 60,7 и 320,8 нм, кривая 6, рис.2, так как все остальные линии F^+ или перекрываются эмиссиями F_2^+ , или имеют незначительную интенсивность. В отличие от молекул CF_4 и SF_6 образование F^+ из молекулы F_2 осуществляется с эффективностью, сравнимой по порядку величины с эффективностями образования других фрагментов (процесс 8, табл. I.).

Для корректного отождествления непрерывных эмиссий $e + CF_4$ взаимодействий дополнительно проводились масс-спектрометрические исследования, особое внимание при этом уделялось измерениям порогов появления фрагментов. Сопоставление данных масс-спектрометрических исследований с данными оптических исследований, а также литературными данными фотоэлектронных и других исследований позволило сделать вывод, что непрерывные эмиссии λ 230, 290 и 400 нм принадлежат связанно-несвязанным переходам молекулярного иона CF_4^+ .

Функции возбуждения непрерывных эмиссий как переходов из \bar{C} состояния, так и из \bar{D} состояния имеют практически одинаковую форму, кривая 2, рис.3. Процесс этот осуществляется с наибольшей эффективностью из всех наблюдаемых в наших исследованиях процессов (процесс 9, табл. I).

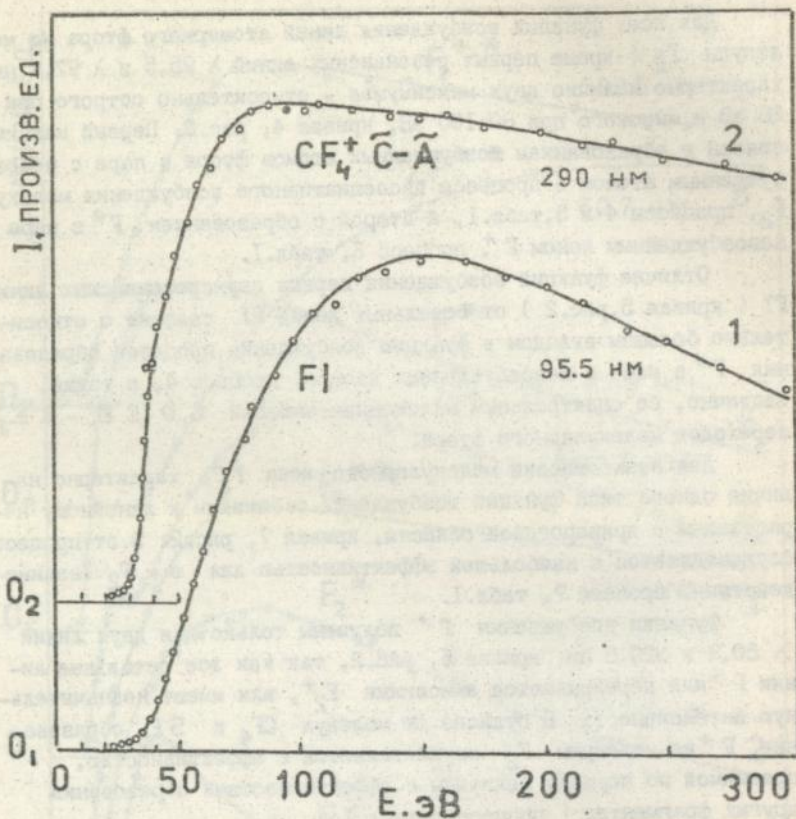


Рис.3. Функции возбуждения эмиссий $e + \text{CF}_4$ взаимодействий.

Для функций возбуждения линий атома фтора из CF_4 характерно плавное нарастание в припороговой области и наличие широкого максимума при 150–160 эВ, кривая 1, рис.3. В этом случае возбужденные атомы фтора образуются в паре с невозбужденным фрагментом CF_3 (процесс II, табл. I).

Сравнение сечений возбуждения резонансных линий FI из F_2 и линий FI из CF_4 позволяет сделать вывод, что средство к электрону атома фтора (3,6 эВ) играет существенную роль при диссоциации молекул F_2 и CF_4 . Для молекул F_2 это проявляется в уменьшении вероятности образования атомов фтора в высоко-

возбужденных состояниях. Для молекулы CF_4 образование фрагмента F^+ осуществляется с незначительной эффективностью, а образование возбужденных ионов атома фтора практически не наблюдается.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Спроектирована, изготовлена и введена в действие современная экспериментальная двухканальная спектрометрическая установка для исследований процессов электронно-молекулярных взаимодействий, включая оригинальные конструкции вакуумного монохроматора и источника электронного пучка. Установка позволяет проводить исследования методом газовой ячейки в широком спектральном диапазоне 50–800 нм в интервале энергий от порога возбуждения до 300 эВ.

2. Разработана методика исследования электронно-молекулярных взаимодействий химически активных фторсодержащих газов. Предложен и реализован способ калибровки энергетической шкалы электронного пучка в химически активной среде. Усовершенствован способ определения концентрации мишеней в газовой ячейке.

3. Контрольные относительные и абсолютные измерения, проведенные для атомов гелия и молекул азота, подтверждают работоспособность установки, надежность и достоверность полученных данных.

4. Впервые проведены систематические исследования эмиссионных спектров молекул F_2 и CF_4 , возбуждаемых контролируемым электронным ударом. В спектрах зарегистрированы эмиссии молекул F_2 , молекулярных ионов F_2^+ и CF_4^+ , линии атомов фтора, а также ионов атомов фтора. Проведено отождествление как ранее наблюдавшихся, но не отождествленных, так и впервые наблюдавшихся эмиссий.

5. Впервые проведены систематические исследования энергетических зависимостей сечений возбуждения эмиссий, измерены пороги появления эмиссий и их абсолютные сечения возбуждения. Установлено, что наиболее эффективно образуются возбужденные фрагменты F_2 , F_2^+ , и CF_4^+ , а образование CF_4^* и F^{+*} из CF_4 не наблюдается.

6. Установлено, что лазерный переход молекул F_2 осуществляется между $1^3\Pi_g$ и $a^3\Pi_u$ состояниями за пределами области Франка-Кондона.

7. Результаты исследований носят фундаментальный характер, имеют практическое значение и уже использовались при моделировании элементарных процессов во фторсодержащих средах лазеров.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Фельцан П.В., Чаварга Н.Н., Сушанин И.В. Возбуждение молекул F_2 и XeF_2 электронным ударом. Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Рига, 1984, т. II, с. 34.

2. Алексахин И.С., Чаварга Н.Н., Фельцан П.В., Сушанин И.В. Спектры эмиссии в вакуумной ультрафиолетовой области (50-200 нм) при взаимодействии медленных электронов с молекулами CF_4 . Тезисы докладов на VII Всесоюзной конференции по физике вакуумного ультрафиолета и его взаимодействию с веществом. ВУФ-86. Рига, 1986, с. 125.

3. Славик В.Н., Чаварга Н.Н., Алексахин И.С., Фельцан П.В. Масс-спектрометрическое исследование диссоциативной ионизации молекул CF_4 электронным ударом. ЖТФ, т. 57, в. 12, 1987, с. 2409-2411.

4. Славик В.Н., Чаварга Н.Н., Волкова С.Е., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Ионизация CF_4 электронным ударом. Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре "Процессы ионизации с участием возбужденных атомов". Ленинград, 1988, с. 74-75.

5. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Чернышова И.В., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Возбуждение эмиссии в области 50-300 нм при столкновении медленных электронов с молекулами F_2 . Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре "Процессы ионизации с участием возбужденных атомов". Ленинград, 1988, с. 72-73.

6. Чаварга Н.Н. Определение чувствительности термпарного манометра к некоторым фторсодержащим газам. Тезисы докладов на X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Ужгород, 1988, с. 163.

7. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Чернышова И.В., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Механизмы образования возбужденных атомов при взаимодействии электронов с молекулами F_2 и CF_4 . Тезисы докладов на X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Ужгород, 1988, с. 64.

8. Славик В.Н., Чаварга Н.Н., Волкова С.Е., Угрин С.Ю., Алексахин И.С. Процессы ионизации CF_4 электронным ударом. Тезисы докладов на X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Ужгород, 1988, с.65.

9. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Исследование излучательных переходов в CF_4 , стимулированных электронным ударом. Тезисы докладов на X Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Ужгород, 1988, с. 66.

10. Чаварга Н.Н. Определение концентрации исследуемых частиц в газовой ячейке при исследованиях электронно-молекулярных столкновений в области вакуумного ультрафиолета. Тезисы докладов на VIII Всесоюзной конференции по физике вакуумного ультрафиолета и его взаимодействия с веществом. Иркутск, 1989, с.194.

11. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Возбуждение резонансных переходов атомов фтора при взаимодействии электронов с молекулами F_2 и CF_4 . Тезисы докладов на VIII Всесоюзной конференции по физике вакуумного ультрафиолета и его взаимодействия с веществом. Иркутск, 1989, с.233-234.

12. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Спектры эмиссий в области 115-200 нм при столкновении медленных электронов с молекулами F_2 . Тезисы докладов на VIII Всесоюзной конференции по физике вакуумного ультрафиолета и его взаимодействия с веществом. Иркутск, 1989, с.235-236.

13. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Чернышова И.В., Фельцан П.В., Алексахин И.С. Абсолютные сечения возбуждения эмиссий F_2 электронным ударом в области 50-125 нм. Тезисы докладов на VIII Всесоюзной конференции по физике вакуумного ультрафиолета и его взаимодействия с веществом. Иркутск, 1989, с.237-238.

14. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Сушинин И.В., Фельцан П.В. Образование возбужденных ионов F_2^+ при взаимодействии электронов с молекулами F_2 . Тезисы докладов на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Чебоксары, 1991, с.37.

15. Чаварга Н.Н., Славик В.Н., Алексахин И.С. Спектроскопические исследования образования возбужденного фрагмента F^+ из молекулы F_2 . Тезисы докладов на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Чебоксары, 1991, с. 39.

16. Славик В.Н., Чаварга Н.Н., Фельцан П.В., Данашевский М.В. Возбуждение эмиссий оранжевой системы полос молекул F_2 электронным ударом. Тезисы докладов на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Чебоксары, 1991, с.38.

17. Чаварга Н.Н. Установка для исследований спектров излучений атомов и молекул (50-800 нм), стимулированных электронным ударом. Тезисы докладов на XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. Чебоксары, 1991, с.192.

18. Чаварга Н.Н., Славик В.Н. Спектроскопические исследования процессов возбуждения при взаимодействии электронов с молекулами F_2 . В книге "Физика электронных и атомных столкновений", № 12, Санкт-Петербург, 1991, с.209-218.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Словецкий Д.И. Диссоциация молекул электронным ударом. // В сб. "Химия плазмы", вып. 1. 1974, с. 156-202.

2. Direct observation of 157 nm laser photons from the $f^3\Pi_g$ state of F_2 by high-resolution electron impact / Spence D., Tanaka H., Dillon M.A., Lanik K. // J. Phys. B. At. Mol. Phys. - 1986. - Vol. 19. - L569 - L573.

3. Theoretical study of the recently observed $^3\Pi_g$ state of F_2 molecule / Sakai T., Tanaka K., Murakami A. et al // J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys. - 1988. - N21. - P.229-237.

4. Aarts J.F.M. Ion and electron impact ionization of CF_4 studied via UV emission // Chem. Phys. Lett. - 1985. - N1. - P. 114-120.

5. Rice J.K., Hays A.K., Woodworth J.R. VUV emissions from mixtures of F_2 and the noble gases - A molecular F_2 laser at 1575 Å // Appl. Phys. Lett. - 1977. - Vol. 31, N1. - P. 31-33.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Чаварга

465466

AB 27.037

AB 27.037