

полупроводника, что вызывает периодическое изменение индуктивности катушки, параметрическую раскачку резонансного контура, образованного индуктивностью катушки и ее собственной емкостью, и появление выходного напряжения также и при магнитном поле, близком к нулю.

Таким образом, в настоящей работе впервые продемонстрирован диамагнетизм неравновесной плазмы твердого тела, вызванный воздействием светового излучения. Обнаруженный эффект может быть использован для преобразования электромагнитного излучения в электрический сигнал.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Франк - Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1964.

Поступило в Редакцию  
6 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 12          26 июня 1990 г.

0.4

© 1990

#### ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ ГЕКСАФТОРИДА СЕРЫ

Н.Г. Немцева, А.М. Пржонский

Низкотемпературная плазма в электроотрицательных газах, включая  $SF_6$ , находит широкое применение в различных научных и технических устройствах [1, 2]. Этим обусловлена необходимость всестороннего исследования ее физико-химических свойств, в частности, формирования нейтрального и ионного состава [3, 4]. Нами предпринята попытка масс-спектрометрического измерения состава положительных и отрицательных ионов в разрядной плазме в  $SF_6$ , сведения о котором весьма ограничены [4]. Одновременно определялась также степень разложения  $SF_6$  в разряде, а с помощью электрических зондов измерялись их вольт-амперные характеристики и определялись величины продольного поля  $E$ . Аппаратура и методика эксперимента в основном аналогичны описанным ранее [5-7]. Имелись при этом определенные трудности, связанные, как с неустойчивостью разряда постоянного тока в электроотрицательном газе [7], так и с большими величинами продольного электрического поля  $E$ , достигающего  $50 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$  и более. В отличие от [4], где аналогичные измерения выполнены в плазме ВЧ разряда в алю-

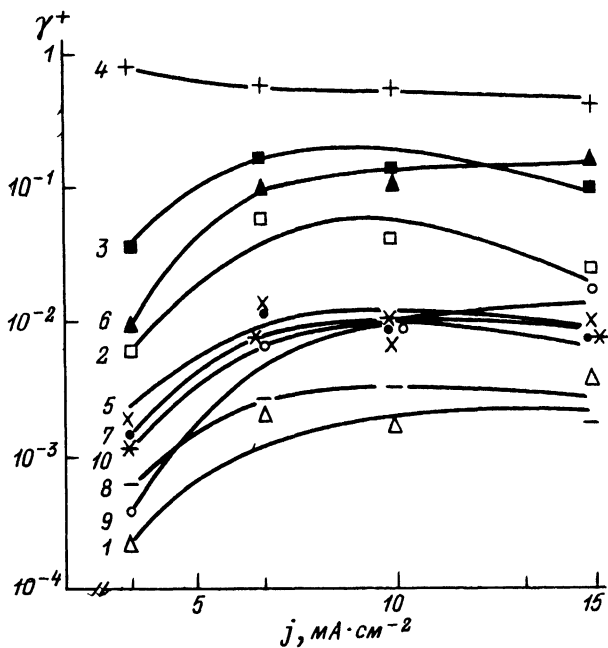


Рис. 1. Состав потока положительных ионов в зависимости от плотности разрядного тока ( $P = 40$  Па): 1 -  $F^+$ , 2 -  $SF^+$ , 3 -  $SF_2^+$ , 4 -  $SF_3^+$ , 5 -  $SF_4^+$ , 6 -  $SF_5^+$ , 7 -  $(S^+ + O_2^+)$ ; 8 -  $SO^+$ , 9 -  $SO_2^+$ , 10 -  $(SiF_3^+ + SOF_2^+)$ ;  $\gamma^+ = \frac{J_i^+}{\sum J^+}$  ( $J_i^+$  - ток  $i$ -компоненты положительных ионов).

миниевой камере (с кремниевым образцом и без него), в нашем случае плазма создавалась разрядом постоянного тока в цилиндрической трубке ( $R = 1$  см) из молибденового стекла (основной компонент в нем  $SiO_2$ ).

Нами была идентифицирована большая серия положительных (рис. 1) и отрицательных (рис. 2) ионов. Результаты представлены в виде зависимостей относительных величин токов соответствующих ионов на выходе масс-анализатора от плотности разрядного тока  $j = 3.5-15$   $MA \cdot cm^{-2}$  (давление газа  $P = 40$  Па). Здесь же отметим, что из наших измерений нейтрального состава вытекает величина степени разложения  $SF_6$  при  $j = 15$   $MA \cdot cm^{-2}$  и  $P = 40$  Па равная почти 50 %. Для сопоставимости данных рис. 1 и 2 укажем, что, например, при  $j = 10$   $MA \cdot cm^{-2}$  токи ионов  $SO_2^+$  и  $F^-$  приблизительно одинаковы.

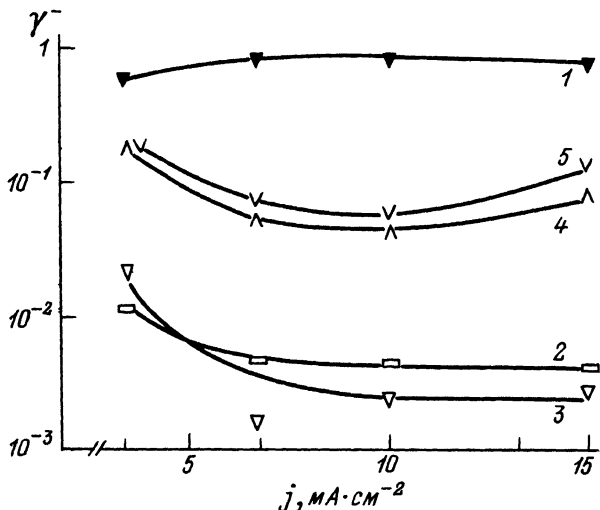
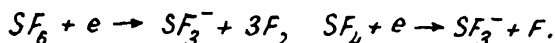
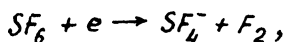
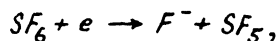
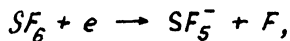


Рис. 2. Состав потока отрицательных ионов в зависимости от плотности разрядного тока ( $P = 40$  Па): 1 -  $F^-$ , 2 -  $SF_3^-$ , 3 -  $SF_4^-$ ,

4 -  $SF_5^-$ , 5 -  $SF_6^-$ ;  $\gamma^- = \frac{J_i^-}{\sum_i J_i^-}$  ( $J_i^-$  - ток  $i$ -компоненты отрицательных ионов).

Образование в плазме ионов  $F^+$ ,  $S^+$  и  $SF_n^+$ ,  $n = 1-5$  связано, как отмечено в [4], с электронной ионизацией (в том числе диссоциативной) молекул  $SF_6$  и ее фрагментов. Появление же ионов  $SO^+$ ,  $SO_2^+$ ,  $SOF^+$ ,  $SiF_3^+$  обусловлено травлением стеклянных стенок ( $SiO_2$ ) атомами фтора, образующимися при разложении в разряде исходных молекул; выделяющийся при этом в объем (в результате реакции  $SiO_2 + 4F \rightarrow SiF_4 + O_2$ ) молекулярный кислород окисляет  $SF_6$  и ее фрагменты подобно тому, как это происходит в плазме  $CF_4$  [1, 7].

Наиболее интересной особенностью исследуемой плазмы оказалось образование пяти видов отрицательных ионов, обусловленное электроотрицательностью молекулы  $SF_6$  и ее осколков [8, 9]. В отличие от [4], где наблюдались ионы  $F^-$ ,  $SF_3^-$  и  $SF_5^-$  нами дополнительно обнаружены  $SF_4^-$  и  $SF_6^-$ . Образование всех этих отрицательных ионов (кроме  $SF_6^-$ ) должно быть связано по нашим оценкам в основном с нижеприведенными реакциями диссоциативного прилипания электронов к молекулам:



Появление  $SF_6^-$  может происходить также в результате парного столкновения молекулы и электрона с той лишь разницей, что образуется долгоживущий отрицательный комплекс с временем жизни  $\tau \approx 10^{-5}$  с [10]:  $SF_6 + e \rightarrow SF_6^{-*}$  (затем  $SF_6^{-*} + M \rightarrow SF_6^- + M(\epsilon)$ , где  $M$  – любая молекула, например,  $SF_6$ ,  $SF_5$ ).

Приведенные на рисунках данные, по-видимому, достаточно хорошо (с точностью до величин подвижности ионов) отражают соотношения между плотностями положительных и отрицательных ионов в пристеночной области плазмы. Что же касается приосевой зоны, то оценить в ней эти соотношения будет, вероятно, возможно на основе недавно опубликованной работы [11], где изложены основы теории положительного столба разряда в электроотрицательном газе. Из [11], в частности, следует, что радиальные профили концентрации отрицательных ионов в газоразрядной трубке сильно зависят от конкретных условий, т.е. от соответствующих им величин таких важных параметров, как коэффициенты прилипания и отлипания электронов, диффузии и рекомбинации отрицательных ионов. В то же время совершенно очевидно, что именно форма радиального профиля определяет в основном величину тока этих ионов на диафрагму (разумеется, при ее потенциале, близком или несколько выше потенциала пристеночной плазмы).

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С л о в е ц к и й Д.И., Д е р ю г и н А.А. В кн.: Химия плазмы. Вып. 13/Под ред. Б.М. Смирнова. М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 240–277.
- [2] Д а н и л и н Б.С., К и р е е в В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 263 с.
- [3] W a g n e r J.J., B r a n d t W.W. // Plasma Chem. Plasma Processing, 1981. V. 1. N 2. P. 201–215.
- [4] P i c a r d A., T u r b a n G., G r o l l e - a u B. // J. Phys. D., Appl. Phys. 1986. V. 19. N 6. P. 991–1005.

- [5] П р ж о н с к и й А.М. // Укр. физ. журн. 1977. Т. 22. № 12. С. 2009-2012.
- [6] Н е м ц е в а Н.Г., П р ж о н с к и й А.М. // Химия высоких энергий. 1982. Т. 16. № 2. С. 172-175.
- [7] Н е м ц е в а Н.Г., П р ж о н с к и й А.М. // Химия высоких энергий. 1990. Т. 24. № 1. С. 76-79.
- [8] Р а д ц и г А.А., С м и р н о в Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. М.: Атомиздат, 1980. 240 с.
- [9] К l i n e L.E. et al. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 11. P. 6789.
- [10] С м и р н о в Б.М. Отрицательные ионы. М.: Атомиздат, 1978. 176 с.
- [11] Ц е н д и н Л.Д. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 1. С. 21-28.

Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко

Поступило в Редакцию  
5 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 12

26 июня 1990 г.

07; 12

© 1990

### ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ

В.В. К о т л я р, В.А. С о й ф е р

Известна функция комплексного пропускания для пространственного фильтра, выполняющего операцию дифференцирования для одномерных световых полей (см., например, [1]). Вид этой функции следует из теоремы о дифференцировании Фурье-преобразования. Если  $F(x)$  - Фурье-образ функции  $f(\xi)$ , то  $x F(x)$  - Фурье-образ функции  $-i \frac{d}{d\xi} f(\xi)$ .

Это означает, что если на входе Фурье-коррелятора (рис. 1) имеется световое поле с комплексной функцией  $f(\xi)$ , то помещая в частотную плоскость пространственный фильтр с функцией комплексного пропускания

$$\tau(x) = x = |x| e^{i\theta(x)}, \quad (1)$$

$$\text{где } \theta(x) = \begin{cases} 0, & x > 0 \\ \pi, & x \leq 0 \end{cases},$$