

11; 12

© 1993

ФОТОЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В АТМОСФЕРУ ИНЕРТНОГО ГАЗА

Е.М. Гушин, С.В. Сомов,
М.К. Тимофеев

Эмиссия фотоэлектронов из фотокатода (ФК) в газ, в отличие от эмиссии в вакуум, мало исследована. Вместе с тем она характеризуется рядом интересных особенностей, одной из которых является наличие рассеяния фотоэлектронов на атомах газа вблизи поверхности ФК. Это приводит к уходу значительной доли фотоэлектронов обратно на ФК, что эквивалентно уменьшению его квантовой чувствительности. Так, в гелии уже при давлении 75 мм рт. ст. на ФК возвращается не менее 80% вылетевших фотоэлектронов [1]. Изучение этого эффекта в последнее время приобрело особое значение в связи с разработкой фотоприемников высокого давления с газовым усилением, способных функционировать в сильных магнитных полях [1, 2].

Ранее нами было показано [3], что вероятность (коэффициент) выхода электронов из фотокатода доходит до $\gamma \approx 0.5$ в смеси Ne -изо C_4H_{10} при атмосферном давлении. Такая смесь оптимальна для „медленного“ газового фотодиода (ГФД), работающего в стримерном режиме [3]. В „быстром“ же ГФД, работающем в режиме пропорционального газового усиления, например, в ГФД с сетчатым или игольчатым анодом, наиболее подходящими являются смеси на основе Ar , в частности смесь $Ar-CO_2$.

Как видно из рис. 1, коэффициент выхода фотоэлектронов в Ar хорошо аппроксимируется степенными функциями электрического поля с независимыми от давления показателями степени. Величина коэффициента выхода определяется как параметром E/p , так и давлением газа, причем при фиксированных значениях E/p коэффициент выхода уменьшается, а при фиксированных E — растет с понижением давления. Резкое увеличение γ в сильных полях в Ar (пунктир на рис. 1) вызвано вторичными процессами газового и, возможно, оптического усиления. Максимальный коэффициент выхода (на границе вторичных процессов) в Ar $\gamma = 0.45$ практически не зависит от давления и в 2 раза превышает коэффициент выхода в Ne . Зависимость $\gamma(E/p)$ в CO_2 имеет несколько иной вид, что связано, по-видимому, с неупругим характером рассеяния фотоэлектронов на молекулах CO_2 . Так, наклон кривых $\gamma(E/p)$ с понижением давления газа уменьшается, а при больших E/p на величину γ влияет только параметр E/p .

В [1] было показано, что присутствие газа не меняет форму спектральной характеристики ФК. Следовательно, коэффициент выхо-

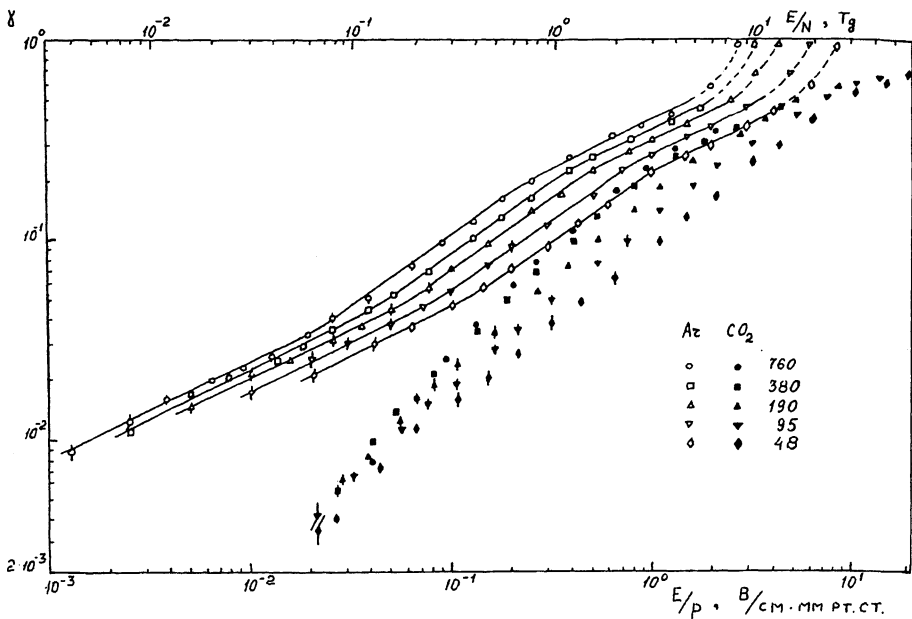


Рис. 1. Зависимость коэффициента выхода электронов из фотокатода в Ar и CO₂ от параметра E/p. Давление газа указано в мм рт. ст.

да не должен зависеть от типа фотокатода и начальной энергии фотоэлектрона и определяется равновесной для данного значения E/p функцией распределения электронов по импульсам. Тогда, если рассматривать процесс ухода фотоэлектронов на ФК как обратную диффузию части дрейфующего электронного облака, то в первом приближении можно предположить, что отток фотоэлектронов на ФК практически заканчивается, когда центр электронного облака отойдет от ФК на расстояние $\sim 8D_L/W$, где D_L - коэффициент продольной диффузии, W - скорость дрейфа электронов. Поскольку величина обратного электронного потока пропорциональна D_L , а эффективное время обратной диффузии $\sim D_L/W^2$, то наибольшему значению отношения W/D_L должно соответствовать наибольшее значение γ . Заметим, что параметр W/D_L является функцией как E/p, так и давления и в однокомпонентных газах при фиксированном давлении возрастает с ростом E.

Хорошо известно, что даже незначительные количества многоатомных молекул в одноатомном газе понижают среднюю энергию и увеличивают скорость дрейфа электронов. При этом увеличивается также и параметр W/D_L . Как показали наши измерения (рис.

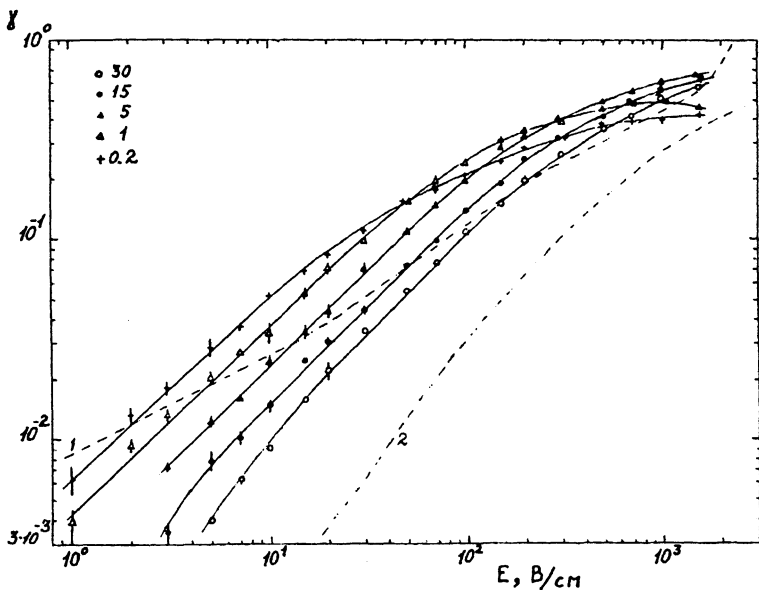


Рис. 2. Зависимость коэффициента выхода электронов из фотокатода в смесь $Ar-CO_2$ ($p = 760$ мм рт. ст.) от напряженности электрического поля. Концентрация CO_2 указана в объемных %. 1 - 100% Ar , 2 - 100% CO_2 .

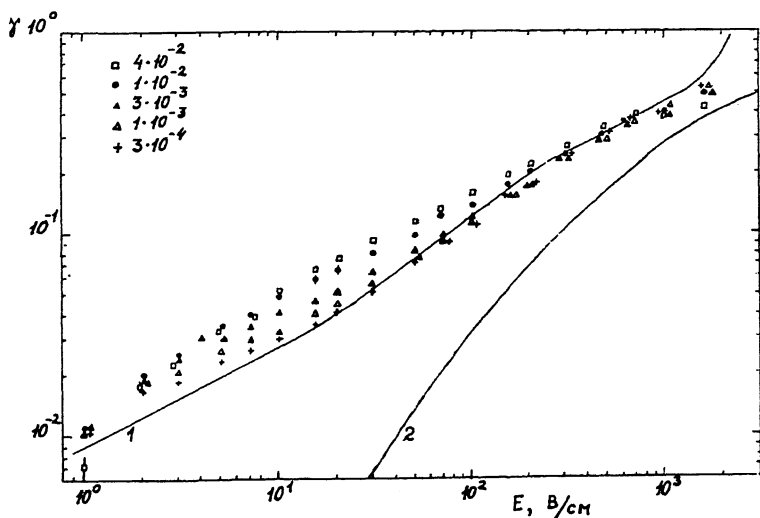


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для малых концентраций CO_2 .

2, 3), коэффициент выхода фотоэлектронов при введении CO_2 в Ar ведет себя аналогично скорости дрейфа, причем в некоторых случаях увеличение γ весьма значительно. Поведение кривой $\gamma(E)$ в смеси $Ar-CO_2$ качественно соответствует $\gamma(E)$ в чистом CO_2 вплоть до концентраций $CO_2 \sim 0.1$ об. % (рис. 2). При дальнейшем уменьшении концентрации CO_2 зависимость $\gamma(E)$ приближается к $\gamma(E)$ в чистом Ar , хотя количественное отличие в коэффициентах выхода в слабых полях заметно и при концентрации $CO_2 \sim 10^{-4}$ об. % (рис. 3). С практической точки зрения наибольший интерес представляет высокое (до 0.6–0.7) значение коэффициента выхода в смеси $Ar + (5-15)\% CO_2$, которая широко применяется в пропорциональных камерах; коэффициент газового усиления в такой смеси доходит до 10^6 [4].

Вместе с тем существенно меньшая величина γ как в CO_2 , так и в $isoC_4H_{10}$, по сравнению с одноатомными газами является неожиданной, поскольку отношение w/D_L в CO_2 и $isoC_4H_{10}$ на 1–2 порядка больше. Этот факт, а также размерный характер параметра w/D_L свидетельствуют о том, что фотоэмиссия электронов в газ – процесс более сложный, нежели вытекающий из макроскопического диффузионно-дрейфового подхода. По-видимому, для его описания необходимо привлекать дифференциальные сечения рассеяния и коэффициенты отражения электронов от поверхности ФК и учитывать вид функции распределения электронов по импульсам.

Авторы выражают благодарность Н. Кожину, А. Лебедеву и Г. Типографшику за помощь в работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Charpak G., Dominik W., Sauli F. et al. // IEEE Trans. of Nucl. Sci. 1983. V. NS-30.
- [2] Edmends J.S., Miller D.J., Barlow F. // Nucl. Inst. and Meth. 1987. A258. P. 185.
- [3] Гушин Е.М., Сомов С.В., Тимофеев М.К. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. № 19. С. 67.
- [4] Заневский Ю.В. // Проволочные детекторы элементарных частиц. М., Атомиздат. 1978. С. 51.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
30 октября 1992 г.