

07;11

Фотоэмиссия электронов под действием излучения лазера на молекулярном азоте

© Е.М. Гуцин, Н.А. Миханчук, С.Г. Покачалов

Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), МИФИ
E-mail: mikhanchuk@mail.ru

Поступило в Редакцию 5 апреля 2005 г.

Приведены результаты исследования фотоионизации различных технологических материалов излучением импульсного лазера на молекулярном азоте. Показано, что основным механизмом фотоэффекта является двухфотонная ионизация. Максимальную эффективность фотоионизации имеет магниевый катод.

В [1] было показано, что излучение лазера на молекулярном азоте (N_2 -лазер) выбивает заметное количество электронов из металлов, полупроводников и диэлектриков, даже если величина работы выхода материала превышает энергию кванта излучения $h\nu = 3.68$ eV. Это можно объяснить либо однофотонным фотоэффектом, при котором эмитируются „горячие“ электроны, находящиеся на „хвосте“ распределения Максвелла, либо поверхностным двухфотонным фотоэффектом. В первом случае величина эмитируемого электронного заряда $Q \sim E_l$. Во втором случае

$$Q \sim \frac{E_l^2}{T_l S}, \quad (1)$$

где E_l и T_l — энергия и длительность лазерного импульса соответственно, S — площадь облучаемой поверхности.

Нами были проведены исследования электронной эмиссии, возникающей при облучении материалов, используемых, в частности, в детекторах заряженных частиц, излучением N_2 -лазера ЛГИ-503, который имел следующие основные характеристики: длительность и энергия импульса излучения соответственно $T_l \approx 8$ ns и $E_l \leq (50 \pm 0.5) \mu J$, расходимость лазерного пучка $\varphi < 1.5$ mrad.

При измерениях использовалась установка на базе двухэлектродной плоскопараллельной ионизационной камеры-фотодиода, предназначенная для исследования корреляций физических и биологических характеристик химических соединений [2]. Катод ионизационной камеры (ИК) представляет собой диск из магния. Анод — сетка из нихромовой проволоки диаметром $100\ \mu\text{m}$. Диаметр электродов составляет $60\ \text{mm}$, расстояние между электродами $d = 10\ \text{mm}$. Лазерный луч проходит через кварцевое входное окно, анод-сетку и попадает на катод перпендикулярно его поверхности. Перед входным окном ИК устанавливалась линза с фокусным расстоянием $F = 50\ \text{mm}$. Линза с помощью микрометрического винта перемещается вдоль оси лазерного луча, меняя тем самым площадь облучаемой поверхности катода.

Образцы исследуемых материалов располагались вблизи центра катода ИК. Линза могла смещаться в поперечном относительно лазерного луча направлении, что позволяло измерять величину заряда, эмитируемого как с поверхности магниевого катода, так и с поверхности образца. Перед измерениями поверхность магниевого катода и исследуемых образцов (кроме CsI, Si и алмазной пленки) подвергалась только механической обработке. Поэтому для большинства металлических образцов мы имели дело, по всей видимости, не с чистым металлом, а с окисной пленкой.

Исследовалась фотоэмиссия электронов как в вакуум ($< 10^{-4}\ \text{mm Hg}$), так и в чистый углекислый газ. Сигнал с ИК поступал непосредственно на вход осциллографа С1-117 с входным сопротивлением $1\ \text{M}\Omega$ и чувствительностью $100\ \mu\text{V}$. Напряженность электрического поля в межэлектродном зазоре ИК $E = 100\ \text{V/cm}$.

Как видно на рис. 1 (кривая 1), при приближении точки фокусировки к поверхности катода амплитуда сигнала сначала возрастает, затем падает. При $L \approx 0$ амплитуда регистрируемого сигнала увеличивается на 2–3 порядка, а флуктуации амплитуды сигнала достигают $\sim 100\%$. Для объяснения зависимости $Q(L)$ необходимо учесть, что диаметр фокуса $d_f \sim \varphi F$ не превышает $70\text{--}80\ \mu\text{m}$. Для используемого лазера это соответствует плотности мощности излучения в фокусе до $400\ \text{MW/cm}^2$. Поэтому по мере приближения фокуса к фотокатоду происходит локальный разогрев его поверхности, который сопровождается газоотделением. Появление микрооблака газа приводит к падению амплитуды сигнала вследствие рассеяния фотоэлектронов на молекулах газа и ухода рассеянных фотоэлектронов на катод [3]. Пока размер облака

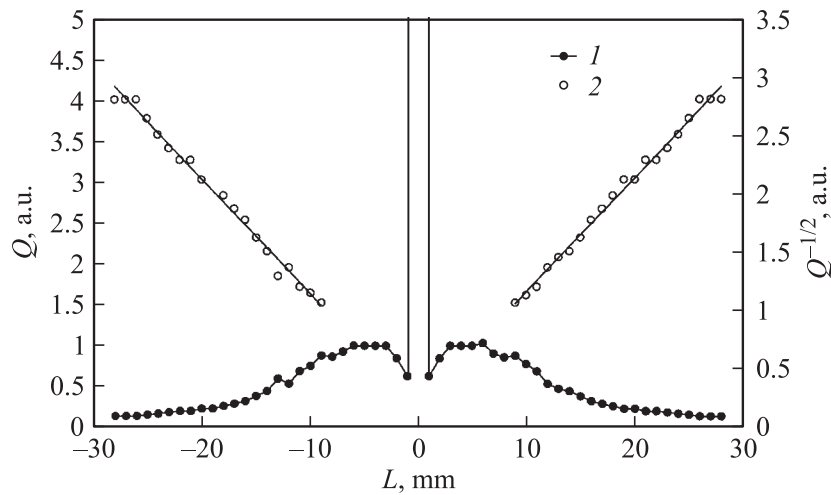


Рис. 1. Зависимость величины эмитированного в вакуум электронного заряда от расстояния между фокусом и катодом ИК: 1 — зависимость $Q = f(L)$, 2 — зависимость $Q^{-1/2} = f(L)$.

газа вдоль линий электрического поля невелик, длина свободного пробега электрона относительно ионизации больше среднего расстояния между молекулами газа и вероятность мультипликационных процессов незначительна. При $L \rightarrow 0$ температура на поверхности фотокатода и газоотделение возрастают, что ведет к увеличению вероятности ударной ионизации и соответственно к росту амплитуды сигнала. В условиях нестабильного давления газа в локальной области пространства вблизи катода сигнал также нестабилен.

При микроскопическом исследовании поверхности образцов в точке облучения наблюдаются характерные эрозионные пятна, свидетельствующие об испарении материала катода.

При условии $d_f \ll L$ площадь облучаемой поверхности $S \sim L^2$. Как видно на рис. 1 (кривая 2), зависимость $Q^{-1/2}(L)$ носит линейный характер. Это в соответствии с (1) свидетельствует о двухфотонном механизме образования свободных электронов.

Электронный заряд Q , эмитированный в вакуум под действием излучения N_2 -лазера из различных материалов

Фотокатод	Ca	Mg	Be	Ti	Pb	Al	Mo	Sn	Cu	Ni	W	Si	Au	CsI	алмаз	1X18H10T
Работа выхода I , eV	2.80	3.64	3.92	3.95	4.0	4.25	4.3	4.38	4.4	4.5	4.54	4.8	5.1	6.4	–	–
Q , а.е.	0.55	1	0.3	0.35	0.6	0.64	0.18	0.32	0.12	0.1	0.03	0.05	0.3	0.2	0.4	0.6

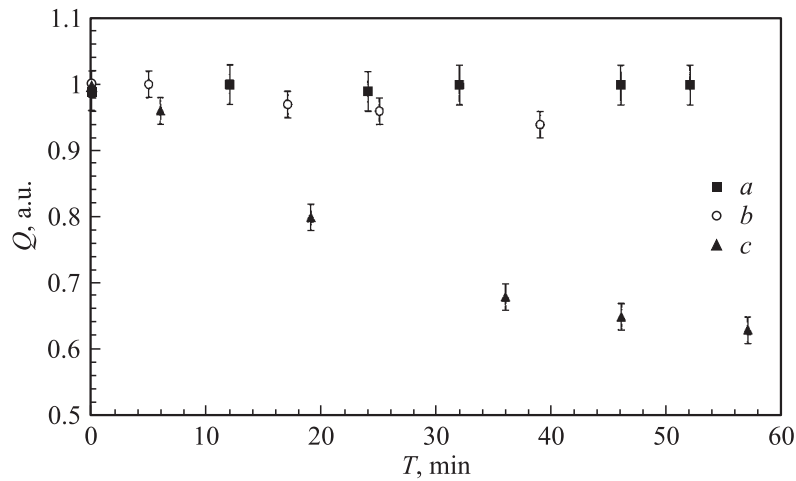


Рис. 2. Зависимость величины электронного заряда, эмитируемого в вакуум (*a*) и в чистый углекислый газ при давлении газа 1 atm (*b*) и $E = 400$ V/cm и 4 atm (*c*) и $E = 1600$ V/cm от времени облучения магниевого катода ИК при частоте следования лазерных импульсов 10 Hz.

Максимальной эффективностью фотоэффекта обладает магниевый катод (см. таблицу), для которого абсолютная величина эмитируемого заряда при $L = \pm 5$ mm составляет $2.3 \cdot 10^5$ electrons/puls.

Аналогичное, но менее выраженное, поведение зависимости $Q(L)$ наблюдалось в ИК, наполненной чистым углекислым газом. Величина образуемого лазерным импульсом электронного заряда стабильна в вакууме, однако она падает на 10 и 40% за 1 h при давлении газа 1 и 4 atm соответственно (рис. 2). При прекращении облучения величина Q восстанавливается до прежнего значения в течение нескольких часов. По всей видимости, это является свидетельством физико-химических процессов, происходящих на поверхности катода при его нагреве лазерным излучением.

Полученные результаты могут быть использованы в экспериментальной физике элементарных частиц при разработке газовых и жидкостных детекторов, детекторов времени жизни свободных электронов, лазерных калибровочных систем, в физике плазмы и газового разряда и т. п.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ № 832 „Определение мутагенной и канцерогенной опасности физико-химическим методом“ программ Минобразования РФ „Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие ее научного потенциала“ и „Федерально-региональная политика в науке и образовании“ и поддержана Государственным научным учреждением „Госцентр „Интерфизика““.

Авторы выражают признательность И.М. Ободовскому и А.В. Ридигеру за постоянное внимание и ценные консультации и Д.В. Семенову за помощь в работе.

Список литературы

- [1] *Гуцин Е.М., Сомов С.В.* // ПТЭ. 2000. № 4. С. 41–52.
- [2] *Брандин А.В., Гуцин Е.М., Ободовский И.М.* и др. Научная Сессия МИФИ-2003. Сб. науч. тр. М.: МИФИ, 2003. Т. 5. С. 104–105.
- [3] *Gushin E.M., Somov S.V., Timofeev M.K.* // Nucl. Instr. & Meth. 1999. A433. P. 518–522.