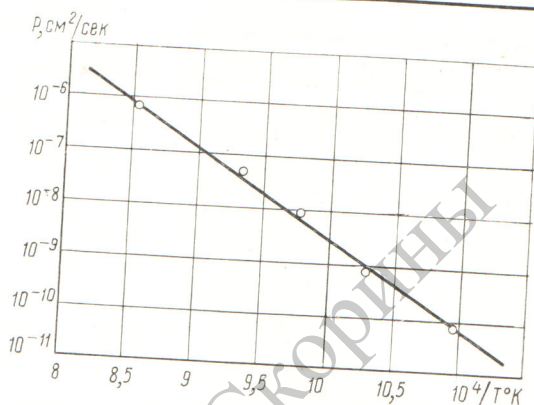


Р и с. 2. Зона взаимодействия кремния и урана с отметками микротвердости ($\times 200$).

денном соотношении x — толщина силицидного слоя, t — продолжительность отжига. Температурная зависимость скорости роста силицидного слоя представлена на графике $\lg P = f(1/T)$ (рис. 3). Аналитически температурная зависимость скорости роста удовлетворительно описывается уравнением

$$P = 2,3 \cdot 10^7 \exp\left(-\frac{73200}{RT}\right) \text{ см}^2/\text{сек.}$$

Удельное сопротивление ρ образовавшихся слоев USi_2 измерено четырехзондовым методом. Измерение



Р и с. 3. Зависимость скорости роста силицидного слоя от температуры.

проводилось на прямоугольных пластинах USi_2 при комнатной температуре. Значение ρ вычислялось из выражения [2]

$$\rho = \frac{v}{i} w \frac{\pi}{\ln 2} F\left(\frac{w}{s}\right),$$

где v — падение напряжения между средними зондами; i — сила тока в цепи крайних зондов; w — толщина пластины USi_2 ; s — расстояние между соседними зондами; $F\left(\frac{w}{s}\right)$ — табличный множитель.

Для пластин USi_2 получена величина удельного сопротивления $\rho = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Слои USi_2 имели дырочный тип проводимости независимо от вида проводимости исходных пластин кремния. Тип проводимости определялся по знаку термо-э. д. с.

Авторы благодарят Л. А. Ждамирову и М. Д. Евстифеева за помощь при выполнении работы.

Поступило в Редакцию 6/III 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Seidl. *Jaderna Energie*, 8, 225 (1962).
2. Б. А. Красюк, А. И. Грибов. Полупроводники — германий и кремний. М., Metallurgizdat, 1961.

Радиационное газовыделение из полимеров в вакууме

Г. М. МАРТЮГОВ, П. А. ФЕФЕЛОВ

Измерено газовыделение из образцов полимерных материалов в вакууме под действием электронов высокой энергии. Выбор материалов обусловлен предполагаемым использованием их для конструирования герметичных оболочек и устройств, находящихся в вакууме и подверженных в рабочих условиях действию ионизирующих излучений.

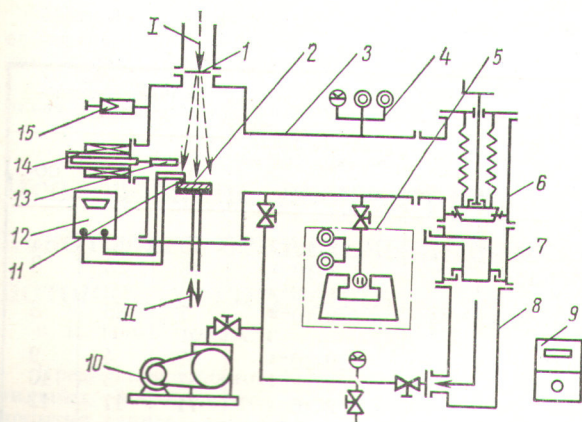
Для измерения радиационного газовыделения (р. г.) использован метод, описанный ранее*. Схема установки приведена на рис. 1, а ее общий вид — на рис. 2.

* Г. М. Мартюгов, П. А. Феефелов. В сб. «Электрофизическая аппаратура». Вып. 2. М., Атомиздат, 1964, стр. 160.

УДК 541.15

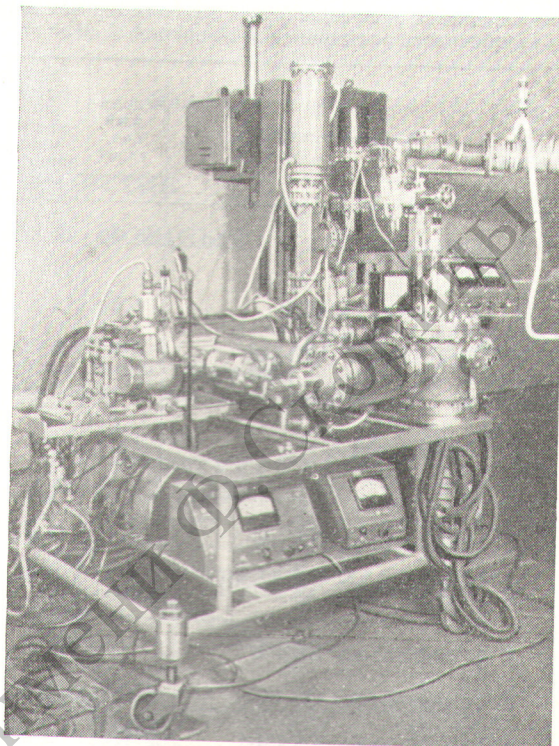
Образец материала (мишень) облучался электронами линейного ускорителя на 3 Мэв. Пучок электронов рассеивался на алюминиевой фольге, разделяющей вакуумные системы ускорителя и установки, на дополнительной фольге, установленной в вакуумной камере, и коллимировался металлической рамкой, прижимающей образец к подложке. Благодаря этому образец облучался равномерно по площади.

Толщина мишени (одна, две или три пластины) подбиралась близкой к пробегу электронов в веществе мишени, но не больше его. Подложка и коллиматор охлаждались водой. К средней по толщине мишени плоскости подводился спай медно-константановой термомпары для контроля температуры.



Р и с. 1. Схема установки для измерения радиационного газоразделения:

1 — рассеивающая фольга; 2 — исследуемый образец (мишень); 3 — вакуумная камера; 4 — вакуумметрический блок с тепловым и ионизационным манометрами ЛМ-2 и ЛМ-2; 5 — вакуумметрический блок с манометром ЛМ-2 и омегаатроном РМО-4С; 6 — металлический вентиль; 7 — заливная азотная ловушка; 8 — диффузионный насос ЦВЛ-100; 9 — измеритель парциальных давлений ИПДО-1; 10 — форвакуумный насос ВН-461; 11 — термopара медь — константан; 12 — потенциометр ПП-1; 13 — электрод для измерения тока на мишень; 14 — соленоидный привод; 15 — иглообразный нагреватель; I — пучок электронов с энергией 3 Мэв; II — вода.



Р и с. 2. Общий вид установки для измерения радиационного газоразделения.

Мишень предварительно обезгаживалась прогревом при температурах 70—100° С. Когда в камере устанавливалось давление менее 10^{-6} торр, начиналось облучение. Рабочий ток выбирался таким, чтобы установившееся давление, измеряемое ионизационным манометром ЛМ-2, не превышало $1 \cdot 10^{-5}$ торр.

Радиационное газоразделение вычислялось по формуле

$$G = \frac{5,3 \cdot 10^2 \Delta P S}{kIE} \text{ молекул/100 эв поглощенной энергии.}$$

Здесь ΔP — изменение парциального давления вследствие облучения, торр; S — максимальная скорость откачки газа в сечении измерения давления, л/сек; k — доля энергии электронов, рассеянная в мишени; I — ток на мишень, мка; E — энергия электронов, Мэв.

Изменение парциального давления ΔP вычислялось по масс-спектрограммам, полученным измерителем парциальных давлений ИПДО-1 с омегаатронным датчиком. Спектр масс снимался не ранее, чем устанавливалась равновесие по водороду.

Максимальная скорость откачки S измерена для воздуха и водорода. Для остальных компонентов скорость откачки принималась равной скорости откачки воздуха.

Ток на мишень измерялся электродом, управляемым соленоидным приводом. Энергия электронов поддерживалась постоянной (3 Мэв) по уровню мощности питающего ускорителя клистрона. Коэффициент k оценивался по кривой плотности ионизации в веществе (близком по плотности к исследованным материалам), снятой для электронов с энергией 3 Мэв.

В таблице приведены характеристики образцов, условия облучения и результаты вычисления р. г. Если образец облучался при различных значениях тока, то запись в таблице соответствует последователь-

ности изменения тока. Мощность дозы усреднена по объему мишени, а поглощенная доза соответствует тому времени, когда снимался спектр газа, по которому вычислено р. г.

Радиационное газоразделение для исследованных материалов составляет широкий диапазон — от $2,7 \cdot 10^{-3}$ до $5,8 \cdot 10^{-1}$ молекул/100 эв поглощенной энергии. Для большинства материалов основной компонент выделений — водород. Отсутствие водорода в выделениях из фторопласта-4 естественно, ибо водород не входит в его молекулярную структуру. Наименьшее значение р. г. фторопласта, нестойкого к радиации и деструктируемого, можно объяснить тем, что выделяемый химически активный фтор вступает в соединения, не регистрируемые омегаатроном.

Измерения не подтверждают известной точки зрения, что р. г. не зависит от мощности дозы. В наших результатах имеются и постоянное значение р. г. (образцы 11 и 14), и прямая (образцы 1 и 4), и обратная (образцы 3 и 13) зависимости. Наблюдается также изменение соотношения выделяемых компонентов. Вряд ли можно связать характер этих зависимостей с величинами поглощенных доз. Структура материалов к моменту снятия спектров изменилась (все облученные образцы потемнели), однако поглощенные дозы не достигали величин, которые приводят к заметному изменению, например, механических характеристик аналогичных материалов. Окислительные процессы не принимаются во внимание, так как парциальное давление газообразного кислорода в условиях эксперимента составляло менее 10^{-7} торр.

Радиационное газовыделение из полимерных материалов в вакууме под действием электронов с энергией 3 Мэв

Номер образца	Материал мишени	Удельный вес, г/см ³	Толщина образца мишени, мм	Ток на мишень, мкА	Температура мишени, °С	Мощность дозы, Мрад/ч	Поглощенная доза, Мрад	Радиационное газовыделение, молекул/100 эв	Основные компоненты, %					
									H ₂	CO	CO ₂			
1	Оргстекло СТ-1	0,96	8,2	0,5	40	26	17	2,3·10 ⁻¹	78	18	4			
				0,25	30	13	22	1,8·10 ⁻¹	69	28	3			
2	Оргстекло Э2-Л29	1,3	11,1	0,7	42	26,5	54	5,9·10 ⁻²	7	85	8			
3	Полиэтилен ПОВ-500	0,9	5,85	0,26	Нет изменений	13	40	2,9·10 ⁻¹	87	4	9			
				0,16				8	15	3,8·10 ⁻¹	87	3	10	
4	Фторопласт-4	2,12	6,1	0,1	56	24,5	10	5,8·10 ⁻¹	71	17	12			
				0,6				75	19	2,7·10 ⁻³	—	36	64	
				0,9				93	56	9,5·10 ⁻³	—	76	24	
5	Стеклопласт ВФЛ-С	1,78	5,9	1,5	20	11,9	42	1,3·10 ⁻²	—	67	33			
				0,25				42	47,6	9,2·10 ⁻²	93	2	5	
6	Стеклопласт ЭФ-32-301	1,84	5,85	0,5	42	23,8	34	1,5·10 ⁻²	85	15	—			
7	Стеклопласт СК-9Э	1,5	7,0	1,0	64	47,6	51	2,4·10 ⁻²	81	19	—			
				0,5				48	23,7	81	3,6·10 ⁻²	61	34	5
8	Стеклопласт СК-9Ф	1,8	5,75	0,45	42	22	40	2,3·10 ⁻²	70	18	12			
9	Стеклопласт СВМ-I (ТУ ЛЗСП 5-64)	1,94	5,08	0,45	43	22,3	44	1,6·10 ⁻²	87	8	5			
10	Стеклопласт СВМ-II (ТУ ЛЗСП 5-64)	1,72	7,0	0,4	56	17,2	74	8,6·10 ⁻²	73	10	17			
11	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. дициандиамид-7 в. ч.	1,15	9,0	0,75	46	37,8	35	6,1·10 ⁻²	88	8	4			
12	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. дициандиамид-7 в. ч. бакелитовый лак-10 в. ч.	1,3	7,2	0,25	53	37,8	35	5,6·10 ⁻²	91	—	9			
				0,75				53	37,8	35	2,3·10 ⁻²	86	10	4
13	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. малеиновый ангидрид-35 в. ч.	1,2	9,5	1,3	100	60	55	5,8·10 ⁻²	37	47	16			
				0,65				63	30	77	6,4·10 ⁻²	20	72	8
				0,25				43	11,5	83	1,6·10 ⁻¹	10	85	5
14	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. малеиновый ангидрид-25 в. ч. тинол-30 в. ч.	1,18	12	0,74	65	28,5	20,2	1,9·10 ⁻²	65	27	18			
				0,37				45	14,2	32	1,9·10 ⁻²	78	6	16
15	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. эндикангидрид-65 в. ч.	1,1	12	0,55	42	22,6	31	1,3·10 ⁻²	39	38	23			
16	Эпоксидный компаунд: смола ЭД-6-100 в. ч. эндикангидрид-65 в. ч. полиэфир МГФ-9-20 в. ч.	1,2	7,7	0,6	42	30	50	1,3·10 ⁻²	63	24	13			

Меньшее р. г. из оргстекла Э2-Л29 по сравнению со стеклом СТ-1 согласуется с данными о большей радиационной стойкости стекла Э2-Л29.

Контролируемые параметры установки сохранялись неизменными во всех экспериментах. Для некоторых

материалов эксперименты повторялись, и воспроизводимость результатов была вполне удовлетворительной.

Поступило в Редакцию 7/V 1968 г.

Исследование дозиметрических характеристик некоторых вентильных фотоэлементов в мощных потоках γ -излучения

В. М. ТРОФИМОВ, А. Г. ВАСИЛЬЕВ

Предельной простотой дозиметров на основе вентильных фотоэлементов объясняются неоднократные попытки использовать их в дозиметрии мощных потоков γ -излучения [1—3]. Токи некоторых типов высокочувствительных фотоэлементов можно измерять непосредственно стандартными переносными приборами при мощности дозы γ -излучения $P_\gamma > 10$ р/сек. Для увеличения чувствительности применялись сцинтилляторы [4], в частности пластмассовые сцинтилляторы (ПС) [3, 5].

В данной статье приводятся результаты исследования дозиметрических характеристик фотоэлементов ФЭСС-У2 (сернисто-серебряный), фотодиодов ФД-1 (германиевый) и ФДК-1в (кремниевый). Эксперименты проведены на кобальтовых установках в диапазоне $P_\gamma = 10 \div 900$ р/сек при температуре воздуха 25—45° С. Детекторы излучения в светоизолирующих оболочках помещались в точки γ -поля, в которых мощность дозы измерялась ферросульфатным дозиметром с точностью не хуже 2%.

На рис. 1 показаны результаты исследования радиационной стойкости вентильных фотоэлементов, которая характеризуется отношением тока J детектора после облучения его дозой D к току в начальных условиях; при этом $P_\gamma = \text{const}$. Для более полного представления приводятся также итоговые характеристики [3] системы ФЭСС-У2 + ПС (объем ПС — 1,8 см³, состав ПС близок к стандартному [6]). Приведенные на рис. 1 данные показывают, что ФЭСС-У2 применим в диапазоне доз до 140 Mr; при $D > 140$ Mr наблюдается резкое падение чувствительности.

Кривая 2 на рис. 1 характеризует лишь деградацию люминесценции ПС, так как в исследованном диапазоне доз (0—14 Mr) ФЭСС-У2 практически не изменяет своих показаний (см. кривую 1 на рис. 1). Световыход ПС проходит через максимум (подобный эффект наблюдался в работе [5]), а затем испытывает резкий спад. Через некоторое время после облучения наблюдается незначительное восстановление световыхода. Для ПС значение $J/J_0 = 0,9$ сохраняется лишь при $D < 0,15$ Mr; при $D = 0 \div 0,5$ Mr оно равно 0,9—1,22. Детекторы с ПС в качестве сенсibilизатора пригодны лишь для измерения $P_\gamma \approx 1$ р/сек ввиду малой радиационной стойкости ПС.

Результаты исследования ФД-1 и ФДК-1в на рис. 1 представлены кривыми 3 и 4. Для ФДК-1в при $D = 0 \div 28$ Mr значения J/J_0 сохраняются в пределах 0,9—1,2. При $D > 100$ Mr для ФДК-1в наблюдается резкое замедление скорости деградации, а для ФД-1 — полная стабилизация чувствительности. Таким образом, использование предварительного облучения дозой до 100 Mr фотодиодов ФД-1 дает возможность получить детектор, не изменяющий своей чувствительности

УДК 539.12.08:621.383.2

при последующем облучении. Абсолютная величина чувствительности при этом уменьшается, но линей-

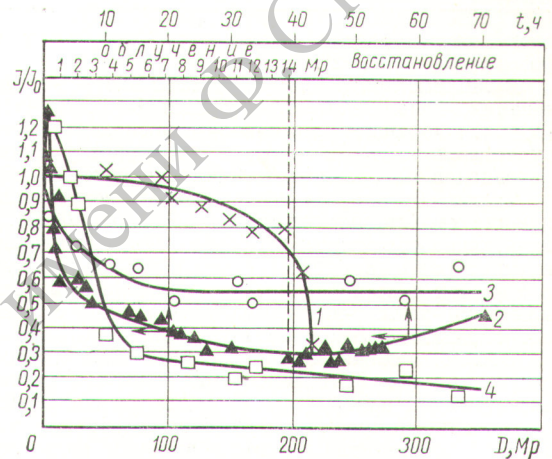


Рис. 1. Радиационная стойкость вентильных фотоэлементов:

1 — ФЭСС-У2; 2 — ФЭСС-У2 + ПС; 3 — ФД-1; 4 — ФДК-1в.

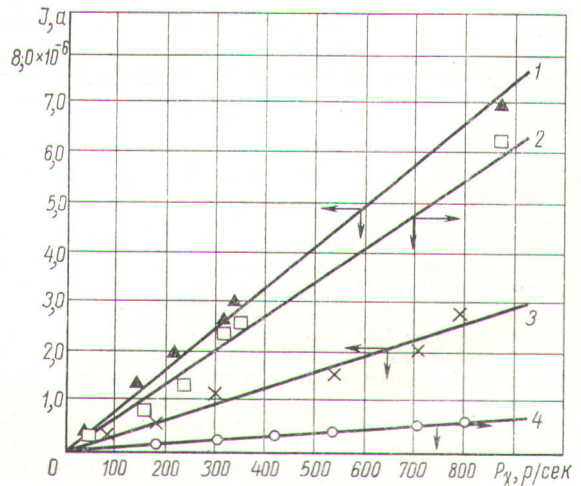


Рис. 2. Зависимость тока фотоэлемента от мощности экспозиционной дозы:

1 — ФД-1; 2 — ФДК-1в; 3 — ФД-1 (облученный); 4 — ФДК-1в (облученный).