

УДК 539.107.422

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ГАЗОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

© 2011 г. Б. М. Овчинников, В. В. Парусов, Ю. Б. Овчинников

Институт ядерных исследований РАН

Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, 7а

Поступила в редакцию 07.06.2010 г.

Описаны результаты исследования многоканального газового электронного умножителя с металлическими электродами толщиной 1 мм, перфорированными по всей рабочей площади отверстиями диаметром 1 мм с расстояниями между ними 1.5 мм, и зазором между электродами 3 мм. Исследовано влияние на работу умножителя с неоновым наполнением микродобавок N_2 и H_2O . При регистрации β -частиц (^{63}Ni) получен максимальный коэффициент пропорционального размножения электронов в неоне под давлением 1 атм (абс.) с гасящими добавками ($H_2O + N_2$) ≈ 100 млн $^{-1}$, равный $K_{умн}^{полн} = 3 \cdot 10^4$.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–3] нами были предложены и детально исследованы многоканальные проволочные газовые электронные умножители с зазорами 1 и 3 мм, характеризующиеся высокой надежностью в работе и обеспечивающие большую рабочую область пропорционального размножения электронов ($K_{умн}^{макс}$ до 10^6) при заполнении камеры коммерческим неоном.

Недостатком проволочных умножителей является возникновение в условиях механических вибраций микрофонного эффекта. С целью увеличения механической прочности умножителя и устранения микрофонного эффекта электроды умножителя были изготовлены из латунных пластин.

В настоящей работе поставлена также цель поиска оптимальных концентраций гасящих примесей N_2 и H_2O , обеспечивающих стабильную работу умножителя с неоновым наполнением.

КОНСТРУКЦИЯ УМНОЖИТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

Электроды многоканального газового электронного умножителя (м.г.э.у.) изготовлены из латунных пластин толщиной 1 мм. При сверлении отверстий $\varnothing 1$ мм обе пластины жестко скреплялись между собой. Острые кромки отверстий устранялись зенковкой с радиусом ~ 2 мм. Шаг между отверстиями составляет 1.5 мм. Зазор между электродами равен 3 мм (рис. 1). Рабочая площадь имеет диаметр 20 мм.

Испытания умножителя проводили в камере, схема которой приведена на рис. 2. Дрейфовый зазор между катодом K камеры и м.г.э.у. равен 13 мм, анодный зазор между м.г.э.у. и анодом A камеры – 6 мм.

Сигналы с анода камеры поступали на зарядочувствительный усилитель БУС2-96, а с него – на запоминающий осциллограф С9-8.

На рис. 3, 4 представлены результаты испытаний умножителя в камере, которая не прогревалась с целью удаления примесей воздуха и влаги с внутренних поверхностей. Камера заполнялась

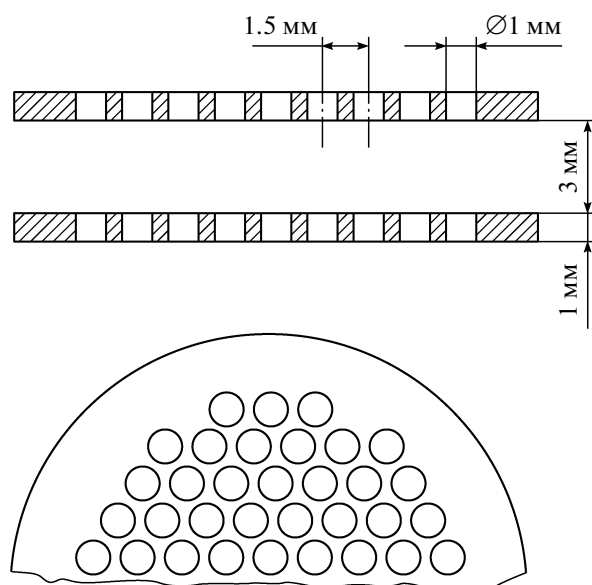


Рис. 1. Устройство умножителя.

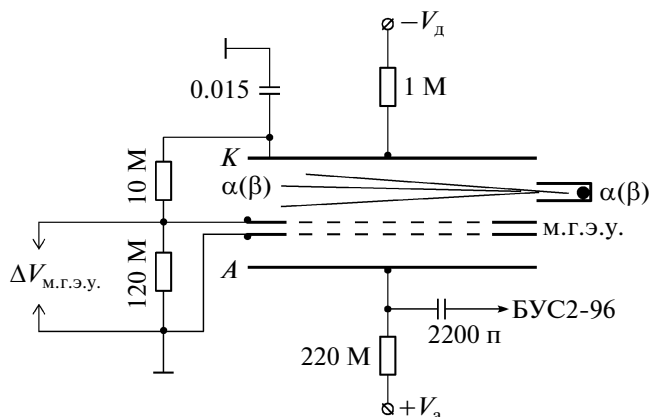


Рис. 2. Камера для испытаний умножителя. V_d — напряжение на резистивном делителе камеры умножителя; A — анод камеры; K — катод камеры.

чистым коммерческим неоном, однако в результате выделения воздуха и влаги с внутренних поверхностей камеры содержание примесей воздуха и влаги в неооне составляло ~ 100 млн $^{-1}$ в течение ~ 1 ч. Эти примеси работали как гасящие и позволяли получать достаточно большие коэффициенты размножения электронов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ УМНОЖИТЕЛЯ ПРИМЕСЕЙ H_2O И N_2

Перед началом испытаний для удаления с внутренних поверхностей камеры адсорбированного воздуха и влаги камера с умножителем прогревалась до $200^\circ C$ в течение 2 ч с вакуумированием и продувом чистым аргоном. Для заполнения камеры использовался чистый коммерческий неон, содержащий молекулярные примеси, в том числе N_2 , O_2 , H_2O на уровне ~ 2 млн $^{-1}$.

При наполнении прогретой камеры чистым коммерческим неоном камера не вносила в газ заметного количества примесей O_2 , H_2O и N_2 в течение нескольких часов. Последующее постепенное ухудшение чистоты газа в камере было обусловлено использованием для электрической изоляции ее электродов фторопластовой пленки, которая, как известно, является пористой и содержит большое количество газа и влаги, трудно удаляемых даже при длительном прогреве.

Формы сигналов, полученных при заполнении камеры чистым неоном, а также неоном с примесями H_2O и N_2 , представлены в таблице.

Выбор для испытаний примесей H_2O и N_2 обусловлен тем, что именно эти примеси выделяются в неон с внутренних поверхностей камеры.

Заполнение коммерческим неоном прогретой камеры позволило провести измерения на чистом

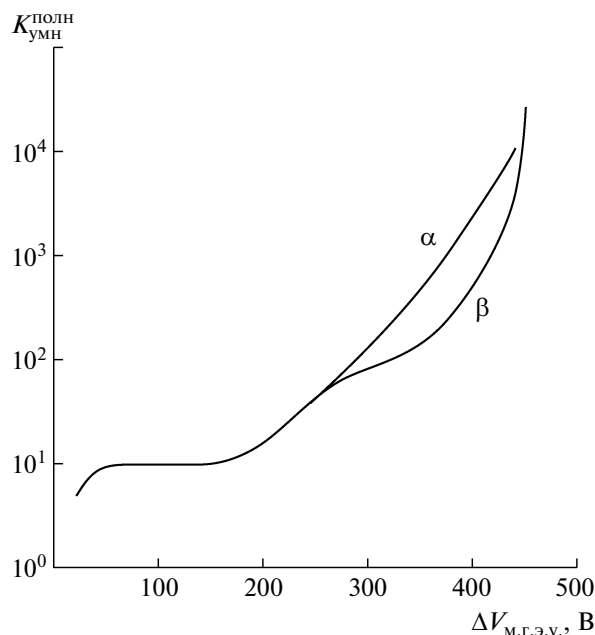


Рис. 3. Зависимости коэффициентов полного пропорционального размножения электронов $K_{умн}^{полн}$ от разности потенциалов между электродами умножителя при облучении α - и β -частицами, давления неоона 1 атм (абс.) и коэффициента размножения электронов в анодном зазоре $K_{умн}^{анод} = 10$ ($V_a = 440$ В).

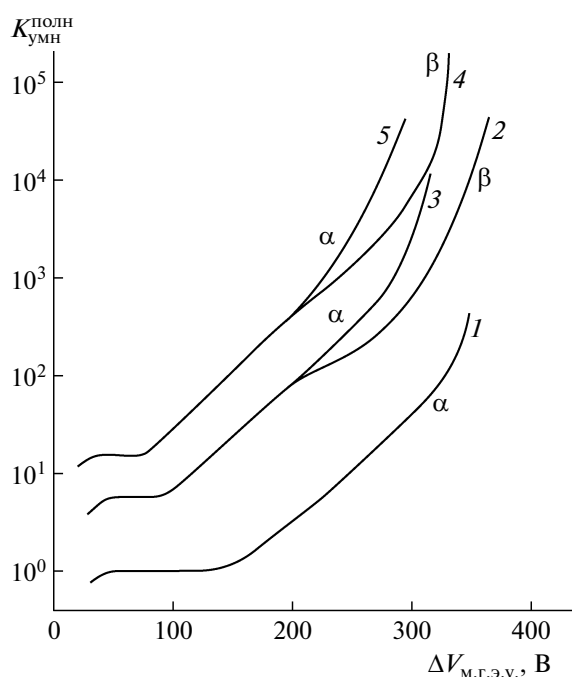


Рис. 4. Зависимости коэффициентов полного пропорционального размножения электронов $K_{умн}^{полн}$ от разности потенциалов между электродами умножителя при облучении α - и β -частицами, давления неоона 0.4 атм (абс.) с размножением электронов в анодном зазоре: 1 — $V_a = 250$ В ($K_{умн}^{анод} = 1$); 2, 3 — $V_a = 300$ В ($K_{умн}^{анод} = 6$); 4, 5 — $V_a = 320$ В ($K_{умн}^{анод} = 15$).

Форма сигналов для различных наполнений камеры

Состав газа для наполнения камеры	P , атм	$+V_a$, В	α или β	$K_{\text{умн}}^{\text{анод}}$	$K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$ м.г.э.у.	Форма сигнала в пропорциональной области	Форма сигнала в районе $K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$ м.г.э.у.
Чистый Ne	1.0	400	β	6	10		
Чистый Ne	0.4	250	β	1	60		
Ne + 100 млн ⁻¹ H ₂ O	1.0	470	β	66			
Ne + 100 млн ⁻¹ N ₂	1.0	400	β	6			
Ne + 100 млн ⁻¹ N ₂	0.4	440	β	10			
Ne + 200 млн ⁻¹ N ₂	1.0	400	β	6			
Ne + 500 млн ⁻¹ N ₂	1.0	400	β	6			
Ne + 1 млн ⁻¹ H ₂ O + 10 млн ⁻¹ N ₂	1.0	400	β	6			
Ne + 6 млн ⁻¹ H ₂ O + 50 млн ⁻¹ N ₂	1.0	400	β	6			
Ne + 12 млн ⁻¹ H ₂ O + 100 млн ⁻¹ N ₂	0.4	280	β	4			

неоне. Отсутствие в неоне необходимого количества гасящих примесей приводит к сильному фотоэффекту на электродах камеры, вызываемому фотонами, испускаемыми лавинами. При давлении неона 1 атм (абс.) и облучении β -частицами такой фотоэффект ограничивает максимальный коэффициент размножения электронов м.г.э.у. величиной $K_{\text{умн}}^{\text{макс}} \cong 10$, а при давлении неона 0.4 атм (абс.) – величиной $K_{\text{умн}}^{\text{макс}} \cong 60$. Этот результат согласуется с результатами работ [4, 5].

Пропорциональный сигнал в чистом неоне при давлении 0.4 и 1.0 атм включает в себя сигнал, соответствующий первичной лавине ($\Delta t \cong 30$ мкс), и сигнал вторичной лавины ($\Delta t \cong 70$ мкс) [6].

При напряжении, соответствующем $K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$, пропорциональные сигналы превращаются в стримерные разряды длительностью до 5 мс с переходом в режим непрерывного разряда при дальнейшем увеличении напряжения на несколько вольт.

Для смеси $\text{Ne} + 100 \text{ млн}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ при давлении 1 атм и облучении β -частицами для пропорционального сигнала характерно запаздывание вторичной лавины относительно первичной, причем амплитуды вторичных лавин возрастают в несколько раз по отношению к амплитудам первичных лавин с увеличением анодного напряжения V_a до максимального. Примесь влаги 100 млн^{-1} к неону уменьшает вероятность образования стримеров, которые не образуются в заметном количестве, даже при максимальном значении $K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$. Необходимо отметить, что только при увеличении анодного напряжения V_a до 470 В электроны из зазора умножителя эффективно вытягивались в анодный зазор с размножением в нем с коэффициентом $K_{\text{умн}}^{\text{анод}} = 66$. Причиной плохой проницаемости нижнего электрода умножителя является, по-видимому, неудачно выбранное соотношение диаметра отверстия к толщине электрода (1 : 1).

В смеси $\text{Ne} + 100 \text{ млн}^{-1} \text{N}_2$ (1 атм, облучение β -частицами) вторичные лавины практически не отделяются от первичных и имеют суммарную длительность ~ 60 – 200 мкс. Однако при $K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$ сигналы превращаются в стримеры и принимают изрезанную форму из-за фотоэффекта от фотонов на электродах камеры.

В смеси $\text{Ne} + 200 \text{ млн}^{-1} \text{N}_2$ вторичные лавины отчетливо отделяются от первичных.

В смеси $\text{Ne} + 500 \text{ млн}^{-1} \text{N}_2$ все сигналы в пропорциональной области имеют изрезанную форму из-за фотоэффекта.

Анализ этих результатов позволяет сделать вывод, что азот является плохой гасящей добавкой к

неону, по-видимому, потому, что его молекулы имеют метастабильные состояния 6.2 эВ (1.3–2.6 с) и 8.4 эВ (0.5 с).

Лучшие результаты были получены для смесей $\text{Ne} + (1-12) \text{ млн}^{-1} \text{H}_2\text{O} + (10-100) \text{ млн}^{-1} \text{N}_2$ (1 атм, облучение β -частицами). В пропорциональной области наблюдались сигналы с фронтами 60–80 мкс, хотя при $K_{\text{умн}}^{\text{макс}}$ образовывались стримеры изрезанной формы длительностью 5–10 мс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан многоканальный газовый электронный умножитель с электродами, изготовленными из латунных пластин толщиной 1 мм, с отверстиями диаметром 1 мм, расположенными с шагом 1.5 мм, и с зазором между электродами 3 мм. При заполнении камеры с умножителем неоном под давлением 1 атм (абс.) с количеством примесей воздуха и влаги $\sim 100 \text{ млн}^{-1}$ получены максимальные полные коэффициенты размножения электронов:

при облучении β -частицами (^{63}Ni) (см. рис. 3)

$$K_{\text{умн}}^{\text{полн}}(\beta) = K_{\text{умн}}^{\text{макс}}(\text{м.г.э.у.}) \times K_{\text{умн}}^{\text{анод}} = \\ = 3 \cdot 10^3 \times 10 = 3 \cdot 10^4;$$

при облучении α -частицами (^{239}Pu)

$$K_{\text{умн}}^{\text{полн}}(\alpha) = K_{\text{умн}}^{\text{макс}}(\text{м.г.э.у.}) \times K_{\text{умн}}^{\text{анод}} = \\ = 1.9 \cdot 10^3 \times 10 = 1.2 \cdot 10^4,$$

а при заполнении неоном под давлением 0.4 атм (абс.) (см. рис. 4) соответственно:

$$K_{\text{умн}}^{\text{полн}}(\beta) = K_{\text{умн}}^{\text{макс}}(\text{м.г.э.у.}) \times K_{\text{умн}}^{\text{анод}} = \\ = 1.33 \cdot 10^3 \times 15 = 2 \cdot 10^5;$$

$$K_{\text{умн}}^{\text{полн}}(\alpha) = K_{\text{умн}}^{\text{макс}}(\text{м.г.э.у.}) \times K_{\text{умн}}^{\text{анод}} = \\ = 3 \cdot 10^3 \times 15 = 4.5 \cdot 10^4.$$

Необходимость подачи высокого анодного напряжения (приводящего к размножению электронов в анодном зазоре) связана с тем, что проницаемость нижнего электрода умножителя при меньшем анодном напряжении резко уменьшается (см. рис. 4), что, по-видимому, обусловлено неудачно выбранным соотношением диаметра отверстия к толщине электрода (1:1). Для улучшения проницаемости электрода необходимо увеличить диаметр отверстия до 1.5–2.0 мм с уменьшением толщины электрода до ~ 0.5 мм.

Исследование влияния содержания микропримесей H_2O и N_2 в заполняющем камеру неоне позволяет сделать вывод, что лучшей гасящей добавкой к неону по сравнению с отдельно вводимыми H_2O и N_2 является смесь $\text{Ne} + (1-12) \text{ млн}^{-1} \text{H}_2\text{O} + (10-100) \text{ млн}^{-1} \text{N}_2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ovchinnikov B.M., Razin V.I., Reshetin A.I., Filippov S.N.* // ПТЭ. 2010. № 2. С. 41; <http://arXiv.org/abs/0911.4811>.
2. *Ovchinnikov B.M., Parusov V.V., Ovchinnikov Yu.B.* <http://arXiv.org/abs/1003.1240>.
3. *Ovchinnikov B.M., Parusov V.V., Ovchinnikov Yu.B.* <http://arXiv.org/abs/1005.1556>.
4. *Miyamoto J., Breskin A., Peskov V.* <http://arXiv.org/abs/1001.4741>.
5. *Cortesi M., Peskov V., Bartesaghi G. et al.* <http://arXiv.org/abs/0905.2916>.
6. *Ovchinnikov B.M., Parusov V.V.* Preprint 1008/99 INR of RAS. M., 1999; //Nucl. Instrum. and Methods. 2002. V. A485. P. 539; <http://arXiv.org/abs/0105107>.