

[6] А н и щ е н к о В.С. Стохастические колебания в радиофизических системах. Саратов: СГУ, ч. 1. 1986.

[7] Д м и т р и е в А.С., К и с л о в В.Я. Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР,  
Москва

Поступило в Редакцию  
22 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 9

12 мая 1990 г.

02; 04; 12

© 1990

## ПОЛУЧЕНИЕ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЕНЕРАТОРЕ ГИТ-4

Р.Б. Б а к ш т, С.П. Б у г а е в, А.М. В о л к о в,  
И.М. Д а ц к о, А.А. К и м, Б.М. К о в а л ь ч у к,  
В.А. К о к ш е н е в, А.В. Л у ч и н с к и й,  
Г.А. М е с я ц, А.Г. Р у с с к и х, А.В. Ф е д ю н и н

В настоящее время в качестве мощного источника мягкого рентгеновского излучения широко используется плотная высокотемпературная плазма, получаемая при сжатии лайнера. Как правило, в лайнерных схемах получения МРИ в качестве источника тока применяются генераторы тераваттного диапазона на водяных линиях [1]. В данной работе описаны эксперименты, в которых источником энергии для сжатия многопроволочного лайнера из медных и вольфрамовых микропроводников служит генератор с индуктивным накопителем ГИТ-4 [2].

Генератор ГИТ-4 (рис. 1, а) представляет собой многомодульный импульсный генератор тераваттной мощности с плазменным размыкателем, работающий по схеме Маркса. Работы проводились на уровне энергии 25 и 50 % от полного энергозапаса ГИТ-4 (2.4 мДж), при этом амплитуда тока в индуктивном накопителе (220 нГн) и генератора достигла 1.8 и 2.4 МА соответственно. Для переключения тока на лайнер использовался плазменный прерыватель, позволяющий иметь на нагрузке ток 1.0–1.6 МА при  $aI/dt = (1.5 - 2.0 \cdot 10^{13} \text{ А/с})$  соответственно (рис. 1, б). Полная начальная индуктивность вторичного контура с лайнером составляла 70 нГн. В экспериментах измерялось напряжение на прерывателе ( $U + L_1 \times dI/dt$ ), ток в индуктивном накопителе ( $I_1$ ) и ток в нагрузке ( $I_2$ ). Для регистрации излучения использовались вакуумные рентгеновские диоды с алюминиевым и золотым катодом, калориметр и камеры-обскуры.

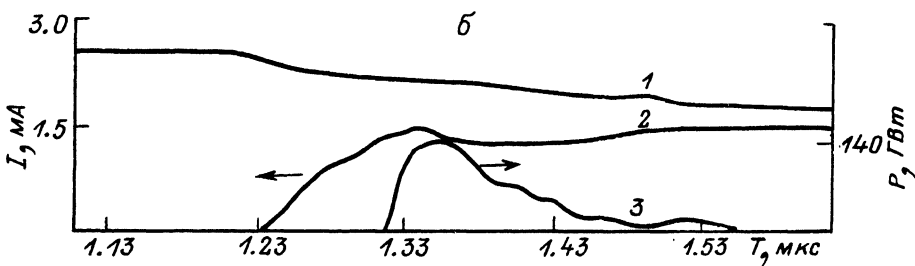
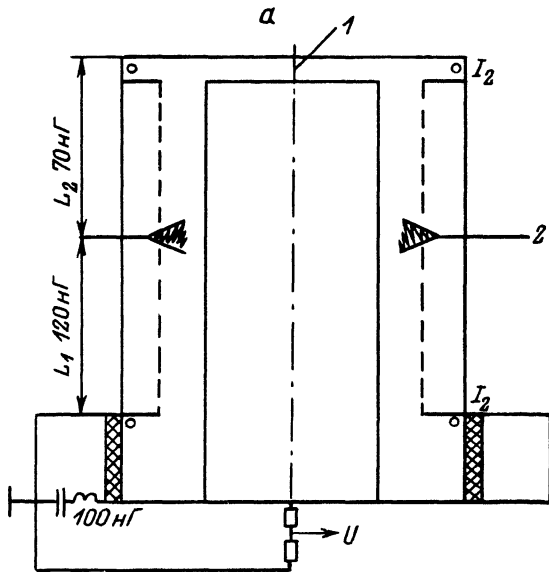


Рис. 1. а - схема ГИТ-4, 1 - многопроводный лайнер, 2 - плазменный прерыватель тока, б - типичная осциллограмма, 1 -  $I_1$ , 2 -  $I_2$ , 3 - сигнал ВРД с алюминиевым катодом за майларовым фильтром толщиной 1.5 мкм,  $h\nu = 0.288-0.135$  кэВ.

Нами была проведена оптимизация параметров лайнера (его массы, диаметра и длины) таким образом, чтобы обеспечить максимальный выход излучения в диапазоне 0.1-1.5 кэВ. Сложность задачи заключалась в том, что в схеме с индуктивным накопителем сопротивление лайнера включается параллельно с сопротивлением прерывателя и изменение параметров лайнера неизменно сказывается на характеристиках последнего. При выборе оптимального режима

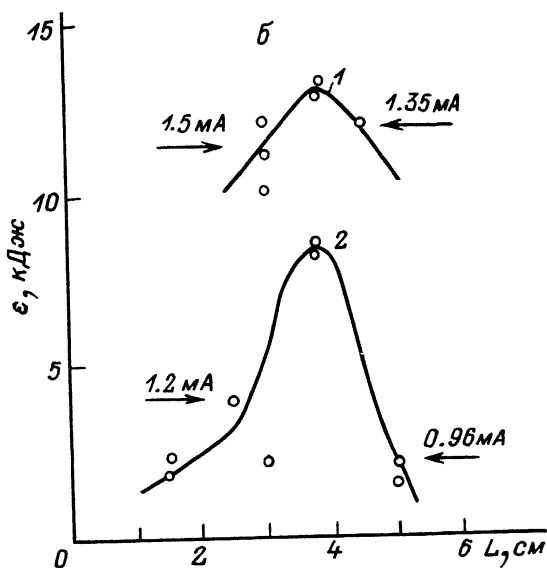
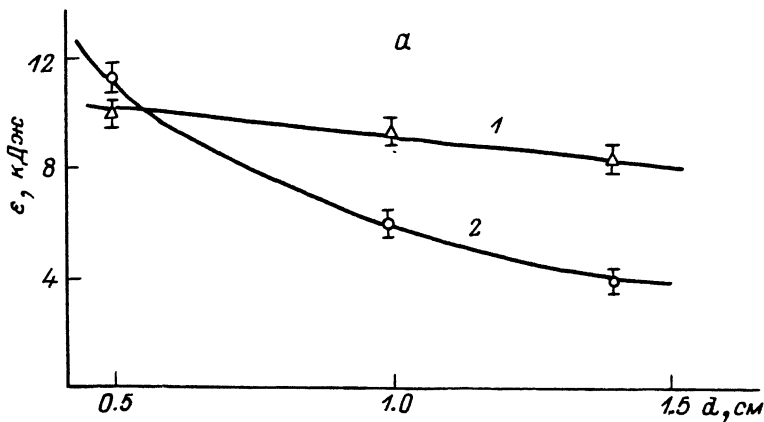


Рис. 2. Выход излучения в диапазоне энергии квантов 0.288–0.135 кэВ: а – от диаметра лайнера, 1 –  $mr_0^2 = 2 \cdot 10^{-4}$  г·см,  $I_1 = 2.4$  мА, 2 –  $mr_0^2 = 0.9 \cdot 10^{-4}$  г·см,  $I_1 = 2.4$  мА, б – от длины лайнера; 1 – вольфрамовый лайнер при  $2R = 5$  мм,  $m_0 = 370$  мкг/см,  $I_1 = 2.4$  мА, 2 – медный лайнер при  $2R = 5$  мм,  $m_0 = 100$  мкг/см,  $I_1 = 1.8$  мА. Цифры у кривых показывают величину  $I_2$  для отдельных точек зависимости  $\varepsilon = f(L)$ .

излучения использовались лайнеры диаметром 0.5–1.4 см, длиной 1.5–5 см, погонной массой 50–400 мкг/см.

Как и ранее [3], для предварительных оценок мы использовали нольмерную модель и стремились обеспечить сжатие лайнера в момент времени  $t = t_{pp} = 70$  нс. Предварительные экспериментальные

результаты показали (рис. 2, а), что выход излучения в диапазоне 0.288–0.135 кэВ растет с уменьшением диаметра лайнера, что согласуется с увеличением выхода МРИ на лайнерах с небольшим диаметром, которое было получено ранее нами [3] и авторами работы [4]. Конструктивные соображения не позволили перейти к диаметрам лайнера менее 0.5 см. Однако результаты [4] и резкое уменьшение излучения при использовании одиночных микро-проводников позволяет предположить, что дальнейшее уменьшение диаметра не приведет к существенному увеличению МРИ.

Следует отметить, что переход к небольшим диаметрам лайнера сопровождается некоторым ростом длительности излучения и не сопровождается увеличением мощности. Длительность импульса излучения на полувысоте увеличивается от 40 нс при  $2R=1.4$  см до 70–80 нс при  $2R=0.5$  см, мощность излучения в диапазоне 0.288–0.135 кэВ находится в пределах 150–180 ГВт.

Для дальнейшей оптимизации выхода излучения были сняты зависимости энергии выхода от длины и массы лайнера. Зависимость выхода излучения от длины лайнера (рис. 2, б) была снята при двух уровнях переключаемого тока – для медного лайнера  $2R=0.5$  см,  $m_0=100$  мкг/см при  $I_1=1.8$  МА и для вольфрамового лайнера  $2R=0.5$  см,  $m_0=370$  мкг/см при токе  $I_1=2.4$  МА. В обоих случаях при длине лайнера, превышающей 4 см, зарегистрировано уменьшение полной энергии, излучаемой лайнером. Зависимость выхода излучения от массы лайнера была снята для вольфрамового лайнера  $2R=0.5$  см,  $l=3$  см при токе  $I_1=2.4$  МА. Оптимальная масса лайнера находится в интервале 350–400 мкг/см, при этом в область нагрузки переключается 70–80 кДж. Вложенная энергия была найдена по осциллограммам  $I_1$ ,  $I_2$  и  $U$ .

Таким образом, для установки ГИТ-4 было найдено, что оптимальным с точки зрения передачи энергии накопителя в энергию МРИ является  $W$  лайнер с  $\phi=5$  мм, длиной 3.8–4 см и  $m_0=350$ –400 мкг/см. Для такого лайнера энергия излучения, замеренная рентгеновским диодом с золотым катодом и фильтром из пленки  $C_6H_8N_2O_9$  ( $h\nu=1.5$ –0.12 кэВ) толщиной 0.1 мкм равна 30 кДж при  $P=0.5$  ТВт. Измерения с помощью открытого калориметра показали, что общая излученная энергия лайнера составляет 50 кДж с неоднозначностью измерений около 30 % при вложенной в лайнер энергии 70–80 кДж.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Айвазов И.К., Вихарев В.Д., Волков Г.С. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. В. 1. С. 23–25.
- [2] Бастриков А.Н., Волков А.М., Ким А.А., Ковальчук Б.М., Кокшенев В.А., Яковлев В.М. Тр. междунар. совещ. по физ. и техн. мощных прерывателей тока. Новосибирск, 1989 г.

- [3] Бахш Р.Б., Дацко И.М., Лучинский А.В., Ратахин Н.А., Сухов М.Ю. // ЖТФ. 1989. Т. 59. N2. С. 57-63.
- [4] Gersten M., Clark W., Rauch J.E., Wilkinson // Phys. rev. A. 1986. V 33. N 1. P. 477-484.

Институт сильноточной  
электроники СО АН СССР,  
Томск

Поступило в Редакцию  
3 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 9

12 мая 1990 г.

02; 05.2

© 1990

### СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВАЯ ПЛОТНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1,2 ГЭВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

А.П. Антипенко, С.В. Блажевич,  
Г.Л. Бочек, В.И. Кулибаба,  
Н.И. Маслов, Б.И. Шраменко

Дифференциальный по энергии выход  $\gamma$ -излучения в заданный телесный угол, т.е. спектрально-угловая плотность излучения  $d^2N_{\gamma}/dE_{\gamma}d\Omega$  является наиболее показательным параметром направленного излучения релятивистских электронов, взаимодействующих с кристаллами.

В большинстве экспериментальных работ, посвященных процессам излучения заряженных частиц в кристаллах, в той или иной степени изучался этот параметр. В настоящей работе, в отличие от предшествующих работ этого направления, в одинаковых экспериментальных условиях исследована спектрально-угловая плотность излучения для ориентированных (ось  $\langle 111 \rangle$ ) и разориентированных (random) монокристаллов кремния в интервале толщин кристаллов, отличающихся в  $7 \cdot 10^3$  раз (0.01-70 мм).

Как и в работе [1], измерения выполнены с использованием метода остаточной (наведенной) активности в образцах меди в результате реакции  $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$ . Активность медных образцов измерялась по  $\gamma$ -линии с энергией 0.511 кэВ с периодом полураспада, равным 9.76 мин с помощью  $Ge(Li)$ -детектора. Резонансная форма сечения  $\gamma, n$ -реакции на меди с пороговым значением  $E_{\gamma, \text{порог}} \simeq 11$  МэВ, максимальным значением при  $E_{\gamma} = 17$  МэВ, шириной на полувысоте  $\simeq 6$  МэВ и практически