

# Электронная пушка для инжектора лазера на свободных электронах

В.М.Боровиков, А.Н.Кергинский, Б.М.Корабельников, Г.С.Крайнов,  
А.М.Крючков, Э.А.Купер, А.В.Мадорский, Е.Г.Мигинская, А.М.Молокоедов,  
В.К.Овчар, В.В.Прудников, И.Н.Сорокин, М.А.Тиунов, Г.И.Яснов  
*Институт ядерной физики им. Г.И.Буджера СО РАН,  
Новосибирск, Россия*

Представлены конструкция и экспериментальные результаты, полученные на тетродной электронной пушке, разработанной для инжектора лазера на свободных электронах [1]. Основные параметры: широкий диапазон частоты повторения электронных сгустков  $0 \div 22.5$  МГц, пиковый ток  $\sim 1.8$  А, длительность импульсов — 1.3 нс, малый эмиттанс электронного пучка с энергией 300 кэВ. Малый эмиттанс обеспечивается тетродным типом катодно-сеточного узла. Получен пучок электронов со средним током 30 мА. Величина среднего тока ограничивалась ухудшением вакуума в цилиндре Фарадея. Измеренная нестабильность электронных сгустков меньше  $\pm 50$  пс.

## Введение

Для инжектора лазера на свободных электронах, создаваемого в Центре фотохимических исследований, разработана и запущена в эксплуатацию электронная пушка с термокатодом, находящимся под высоким потенциалом.

## Общее описание системы

Общий вид электронной пушки, изготовленной в ИЯФ СО РАН, представлен на рис.1.

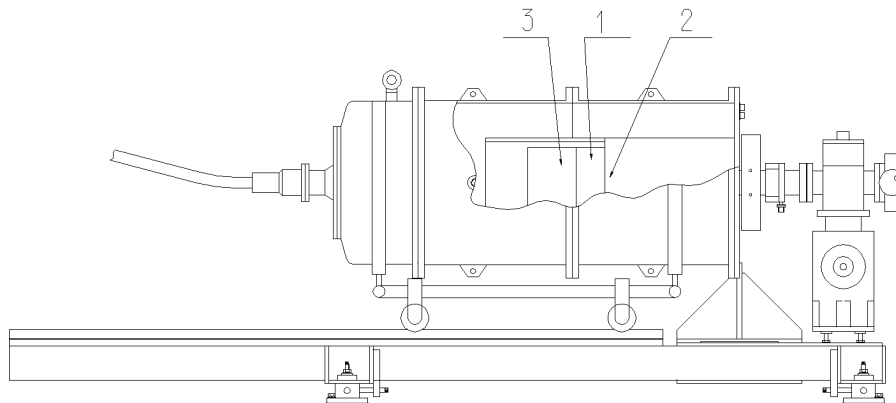


Рис. 1:

В состав электронной пушки входят следующие узлы:

1. Катодно-сеточный узел.
2. Ускорительная трубка.
3. Модулятор и источник питания модулятора.
4. Высоковольтный выпрямитель и генератор первичного напряжения.

## 1. Катодно-сеточный узел

В качестве источника электронного пучка используется катодно-сеточный узел, который представляет собой металлокерамическую конструкцию с цилиндрическими выводами электродов, металлогубчатым оксидным катодом и двумя управляющими сетками.

Для обеспечения минимальной дополнительной индуктивности и емкости между катодом и сетками, что существенно важно для формирования запускающих импульсов наносекундной длительности, а также устранения необходимости принудительного охлаждения керамики были сконструированы и изготовлены специальные цанги, с помощью которых подавалось напряжение на накал, катод и управляющие сетки. Избыточное тепло от керамики отводилось специальным радиатором с малой паразитной емкостью.

## 2. Ускорительная трубка

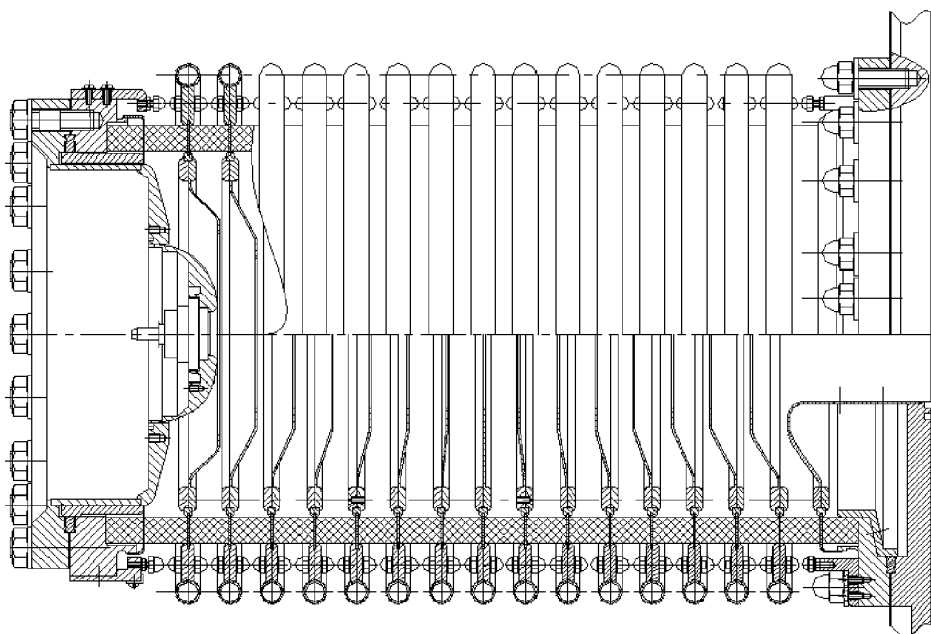


Рис. 2:

Ускорение и формирование электронного пучка проводились в ускорительной трубке, общий вид которой показан на рис.2. Данная трубка применялась в горизонтальном исполнении. Ускорительная трубка представляет собой вакуумно-плотный прогревной металлокерамический узел высотой  $\sim 350$  мм и диаметром  $\sim 285$  мм, состоящий из отдельных секций высотой 20 мм каждая. Внутри вакуумной части расположена система фокусирующих электродов, позволяющая получить необходимые параметры пучка на выходе из электронной пушки. На внешней части трубки находятся наружные электроды, на которых закреплен высоковольтный делитель, задающий равномерное распределение напряжения по секциям ускорительной трубки ( $\sim 20$  кВ на зазор при общем количестве секций 16) и экранирующие электроды, выравнивающие электростатическое поле на поверхности ускорительной трубки. Для защиты ускорительной трубки от полных и частичных пробоев, приводящих к падению электрической прочности вакуумных и газовых зазоров, разрушению тела изолятора или его поверхности, применены газовые разрядники, конструктивно расположенные на наружных электродах ускорительной трубки. Все внешние элементы ускорительной трубки находятся в газе ( $SF_6$ ) под давлением.

Для передачи управляющих сигналов на модулятор использовались волоконно-оптические кабели, конструктивно расположенные внутри экранирующих электродов ускорительной трубки, чтобы избежать пробоев по поверхности. Для преобразования электрических сигналов в оптические и обратно использовался оптический конвертор. Передача сигнала запуска модулятора выполнена так, чтобы обеспечить минимальную задержку сигнала и минимальную нестабильность задержки.

Вакуумная откачка ускорительной трубки ведется с помощью вакуумного насоса типа ПВИГ. Производительность насоса 150 литров/мин., что позволяет поддерживать вакуум в ускорительной трубке на уровне  $10^{-7} \div 10^{-8}$  Па. Контроль вакуума в электронной пушке осуществляется по току насоса.

### Модулятор и источник питания модулятора

Формирование мощных и коротких импульсов напряжения на катоде с широким диапазоном частоты следования проводилось с помощью модулятора.

#### Основные параметры модулятора

Амплитуда напряжения на нагрузке	–	120÷150 В
Величина выходного тока	–	2.4÷3 А
Частота повторения	–	0÷22.5 МГц
Длительность импульса	–	1.3 нсек (на полувысоте)

Потребляемая мощность 50 Вт при максимальной рабочей частоте 22.5 МГц.

Источник предназначен для питания формирователя и катодно-сеточного узла электронной пушки. Управление всеми выходными напряжениями источника питания и измерение всех напряжений и токов производится дистанционно с помощью компьютера.

#### Основные параметры источника питания

Напряжение формирователя:	отрицательное	-(20÷50) В
Ток		0.8 А
Напряжение формирователя:	положительное	+(20÷50) В
Ток		0.7 А
Напряжение накала	–	(0.5÷8.5) В
Ток накала		4 А
Напряжение на катоде	–	+(30÷60) В
Ток на катоде		-0.1 А
Напряжение на второй сетке	–	+(150÷350) В
Ток на второй сетке		0.08 А

Модулятор и источник питания конструктивно расположены в непосредственной близости с катодно-сеточным узлом и находятся под потенциалом -300 кВ. Для развязки использовался разделительный изолированный трансформатор.

### Высоковольтный выпрямитель и генератор первичного напряжения

Высоковольтное питание электронной пушки осуществляется от высоковольтного секционированного выпрямителя через высоковольтный коаксиальный кабель с многослойной твердой изоляцией. Каждая секция вторичной обмотки конструктивно совмещена с диодным выпрямителем, включенным по схеме удвоения напряжения. Для обеспечения

высоковольтной прочности используется конструкция незамкнутого магнитопровода. При этом коэффициент связи не превышает 0.6, что определяет требования на генератор первичного напряжения. Генератор подключается к низковольтной обмотке высоковольтного трансформатора и включает в себя цепь согласования импедансов. Генератор выполнен на основе мостового инвертора на IGBT транзисторах и снабжен быстродействующими защитами от превышения максимального тока и напряжения высоковольтного выпрямителя, собственной защитой от превышения тока в транзисторах и блокировками, контролирующими наличие воды в первичной обмотке высоковольтного выпрямителя и газа ( $SF_6$ ) в высоковольтном выпрямителе и электронной пушке.

#### Основные параметры высоковольтного питания

Первичное напряжение питания	– 380 В
Частота питающей сети	– 50÷60 Гц
Частота выходного напряжения инвертора	– 400÷500 Гц
Выходное напряжение выпрямителя	– 0÷300 кВ
Максимальный выходной ток выпрямителя	– 50 мА

### Результаты экспериментов

В результате проведенных экспериментов были получены следующие параметры электронного пучка:

Энергия электронов	– 300 кВ
Пиковый ток (максимальный)	– ~1.8 А
Средний ток	– ~30 мА
Частота следования сгустков	– 0÷22.5 МГц
Длительность импульса	– ~1.3 нс

Осциллограмма импульса тока в рабочем режиме показана на рис.3.

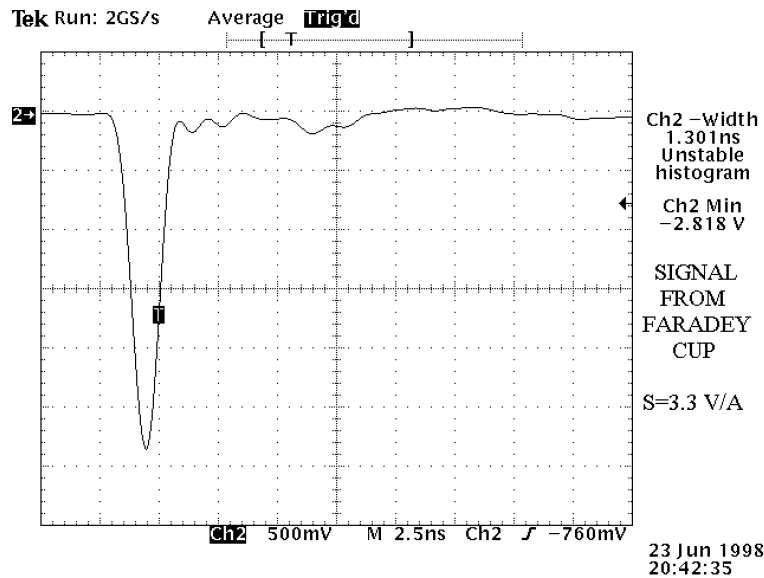


Рис. 3:

### Список литературы

[1] Н.Г.Гаврилов и др. Статус Новосибирского проекта мощного лазера на свободных электронах. Free-Electron Laser Challenges, Proceedings of SPIE, 2988, 185 (1997).