

Simulation of electronic devices of a klystron type

A. V. Tregubov

QualSoft, Inc., St.-Petersburg, Russia

V. F. Tregubov

Solver, Inc., St.-Petersburg, Russia

The TAG (Trajectory Analysis Generalpurpose) programmatic complex is surveyed. It is intended for simulation of systems of forming the electronic streams. TAG is using an integral method for calculation electrical both magnetic fields and algorithm of transient process for the trajectory analysis. Due to a split-hair accuracy and universality of algorithms TAG allows to calculate systems of forming the electronic streams for most different electrovacuum devices. Reduced are some examples demonstrating the TAG capability in simulation of electron devices of a klystron type.

УДК 681.7

Устройство контроля профиля пучка заряженных частиц

А. Н. Козлов, В. Д. Смольянинов, А. П. Еремин
ФГУДП "НИИ электронной и ионной оптики", Москва, Россия

А. М. Филачев

Государственный научный центр ГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

Для обеспечения высокой степени повторяемости технологических процессов, таких как ионное травление, модификация поверхности, напыление тонкопленочных покрытий и др., необходимо иметь стабильные во времени величины плотности ионного тока, его распределение по сечению пучка с тем, чтобы параметры технологического процесса были идентичными во всех точках обрабатываемой поверхности в течение всего технологического цикла. Для этой цели было разработано устройство для контроля работы ионных источников, генерирующих пучки большого диаметра. В статье описано устройство для точного и однозначного воспроизведения профиля пучка положительно или отрицательно заряженных частиц на мониторе с контролем величины плотности тока в каждой точке. Приводятся расчеты ошибок измерения токов для данного устройства.

Эффект ионного распыления используется для решения задач оптического производства, микроэлектроники, микрофотоэлектроники. Для успешного решения этих задач в настоящее время используются ионные пучки большой площади с диаметром пучка до 300 мм и более. Для большинства проблем, таких как очистка поверхности, асферизация и формообразование оптических поверхностей, модификации свойств поверхностного слоя, высокоточной размерной обработки, создание структур высокого разрешения, нанесение тонкопленочных покрытий, необходимо применение ионных пучков с высокой равномерностью плотности ионного тока по сечению пучка.

Применяя ионные источники для решения различных технологических задач, необходимо контролировать и измерять их электрофизические парамет-

ры. Особенно это важно при проведении всех технологических операций в едином вакуумном цикле. Так при работе с ионными источниками, генерирующими широкий пучок ионов, необходимо контролировать и оперативно менять такие параметры, как плотность ионного тока, дозу облучения, неравномерность плотности ионного тока по сечению пучка, энергию пучка.

Для измерения полного тока пучка необходимы цилиндры Фарадея большой площади, собирающие весь ионный ток, а для измерения неравномерности плотности ионного тока необходимо перемещать цилиндр Фарадея по сечению пучка, измеряющий точечную плотность тока.

Например, в автоматизированной промышленной установке ионной имплантации «Везувий-7М» [1] установлены четыре датчика в виде цилиндров Фарадея, которые позволяют контролировать однородность имплантации, настройку пучка на центр мишени. Дозы измеряют «глубоким» цилиндром Фарадея, дном которого служит подложка-держатель с пластиной. В установке имплантации «Везувий-9» [2] установлены подвижный и неподвижный цилиндры Фарадея.

В нашем случае, работая с пучками диаметрами от 50 до 200 мм, мы применили устройство, состоящее из набора последовательно опрашиваемых точечных датчиков, обеспечивающее однозначное воспроизведение профиля пучка в форме электрических сигналов на экране монитора [3]. Блок-схема устройства показана на рис. 1.

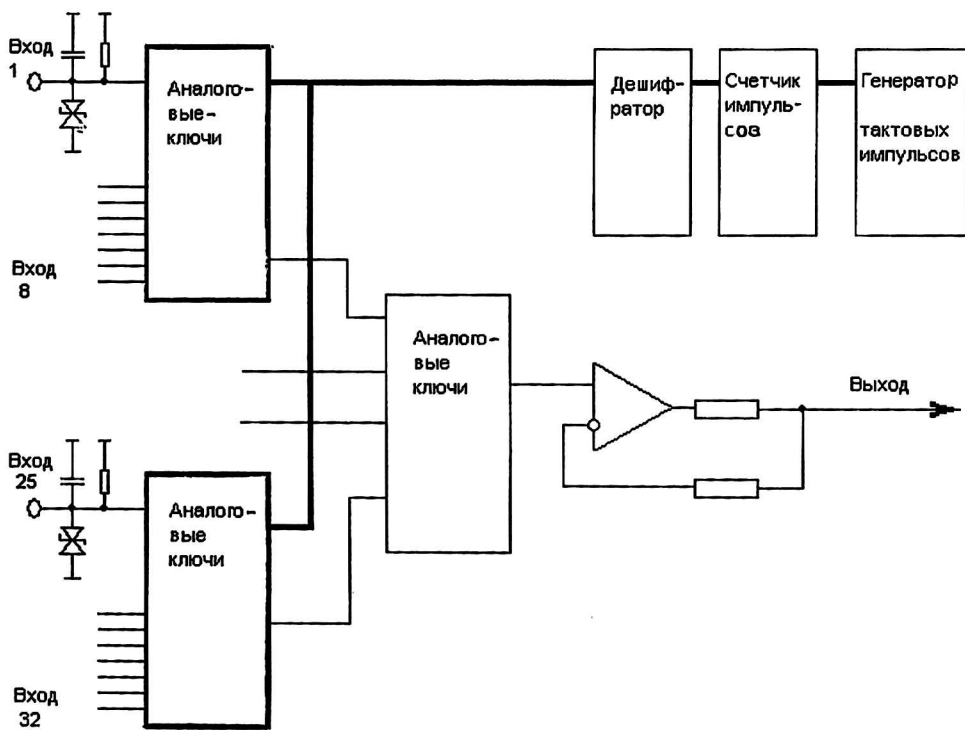


Рис. 1. Блок-схема измерителя распределения плотности тока

В этих сигналах также содержится точная информация о локальной плотности ионного тока. Нами были разработаны наборы датчиков для пучков диаметром 50, 100 и 200 мм. Они состоят из 16, 32 и 64 датчиков, соответственно. Площадь приемной поверхности одного датчика равна 0,0314 см². Датчики расположены в ряд, в одной плоскости. Рабочая длина первой ли-

нейки из 16 датчиков составляет 47 мм, а из 64 датчиков — 192 мм. Нагрузка датчиков тока выбрана такой, что при плотности тока 1 мА/см^2 ЭДС, снимаемая с датчика, равна 1 В. Для удобства визуального контроля постоянная времени нагрузочной цепи выбрана немного больше периода повторения циклов опроса датчиков ($\tau_{\text{дат}} = 3,3 \text{ м.с.}$; $\tau_{\text{цикл}} = 1 \text{ м.с.}$). В качестве коммутаторов датчиков мы применили промышленные ИС серии 590.

Основная составляющая погрешности, вносимой коммутатором, чаще всего определяется суммарным значением токов утечек непроводящих каналов (рис. 2).

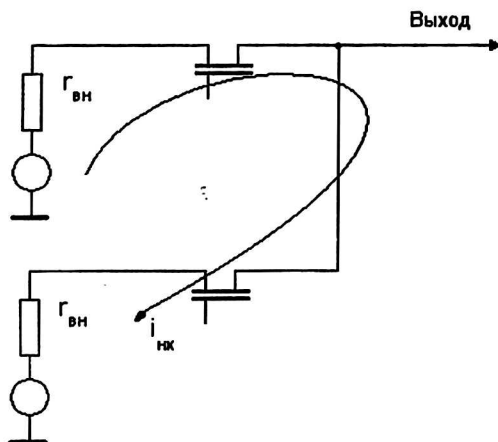


Рис. 2. Суммарное значение токов утечек непроводящих каналов

Эти токи протекают через открытый ключ проводящего канала и создают падение напряжения на сопротивлениях этого ключа и источника сигналов, подсоединенного к данному ключу. Ошибка измерения напряжения источника, подключенного к проводящему каналу, равна:

$$\Delta U = i_{\text{пк}}(r_{\text{отк}} + r_{\text{вн}}) + \sum_1^{N-1} i_{\text{нк}}(r_{\text{отк}} + r_{\text{вн}}),$$

где $r_{\text{отк}}$ и $i_{\text{пк}}$ — сопротивление и ток проводящего канала, соответственно;
 $i_{\text{нк}}$ — ток утечки одного непроводящего канала. Знак и величина токов утечки зависят от полярностей и величин потенциалов снимаемых с датчиков тока [4].

Примененные нами аналоговые коммутаторы КР590КН6 имеют следующие паспортные значения: $i_{\text{нк}} = 70 \text{ нА}$, $r_{\text{отк}} = 300 \text{ Ом}$. При $r_{\text{вн}} = 33 \text{ кОм}$, $i_{\text{пк}} = 0,15 \text{ нА}$ и примененной схематехнике [5] (рис. 3) имеем:

$U = 0,15 \cdot 10^{-9} \cdot (300 + 33000) + 10 \cdot 7 \cdot 10^{-8} \cdot (300 + 33000) = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ В}$ — что составляет от максимального значения 0,15 % (условия измерения токов утечки $U_{\text{вх. макс}} = 15 \text{ В}$). Дальнейшее усовершенствование конструкции позволило использовать усилитель и уменьшить $r_{\text{вн}}$ до 10 кОм и, соответственно, уменьшить расчетное значение ошибки измерения до 0,05 %. Реальные значения токов утечек конкретных ключей часто бывают значительно меньше паспортных величин, а реальные неравномерности плотностей ионных токов составляют от десятков до единиц процентов. Поэтому при высокой равномерности ионного тока ошибки измерения, вносимые токами утечки, практически отсутствуют. Для точного измерения плотности тока на границе пучка и при высокой неравномерности пучка можно уменьшить влияние токов утечки, применив схемное решение (см. рис. 3).

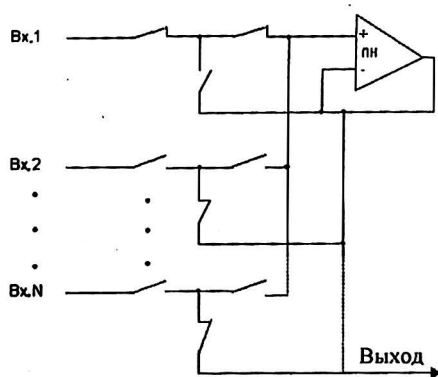


Рис. 3. Многоканальный коммутатор с «нулевым» током утечки

Повторитель напряжения ПН обеспечивает близкую к нулю (с точностью до напряжения смещения ПН) разность потенциалов между всеми (сток, исток, затвор, подложка) электродами запертых ключей (полевых транзисторов) и, следовательно, близкий к нулю суммарный ток утечки непроводящих каналов. Такая схема позволяет значительно увеличить число каналов коммутации без заметного увеличения ошибки, обусловленной токами утечек запертых каналов. Применяя описанное устройство контроля профиля пучков заряженных частиц для исследования работы ионных источников различной конструкции, количество операций и время проведения экспериментов резко сократилось. Оценивая неравномерность распределения плотности ионного тока по сечению пучка с помощью этого устройства, расположенного на заслонке, позволило очень быстро найти области высокой и низкой плотности ионного тока. Вариант расположения устройства контроля на заслонке источника ионов вошел в установку для микроэлектроники "Рельеф". Заслонка вводится и выводится из зоны обработки с помощью электродвигателя.

Исследуя влияние давления газа в вакуумной камере на пространственное распределение плотности ионного тока с помощью описанного устройства, были определены границы ионного пучка (диаметр). С повышением давления диаметр пучка сжимается из-за взаимодействия пучка ионов с газовой средой и его нейтрализации по краям пучка.

Интересные результаты были получены при испытании нейтрализатора накаливаемого типа. Работая с нейтрализатором ионного пучка необходимо полностью скомпенсировать заряд ионов, что и было получено на «большом» цилиндре Фарадея, регистрирующим полный ток пучка. Затем проведен контроль равномерности пучка по сечению с помощью описанного устройства контроля. В результате контроля равномерности пучка оказалось, что на ток ионов накладывается ток электронов, с частотой питающего нейтрализатор напряжения. Таким образом, процесс обработки поверхностей носит периодический характер: сначала пучком ионов, а затем пучком ионов и электронов. Действующее значение тока электронов равно постоянному току ионов.

При выборе конструкции электрода, запирающего ток вторичных электронов с датчиков тока, необходимо учитывать какие процессы взаимодействия происходят на подложке. Так при классической схеме цилиндров Фарадея измеренные плотности тока получаются меньше на 30-60 % от действительного значения (в зависимости от источника ионов). Это происходит из-за того, что учитываются в основном только коллимированные пучки. В реальных же источниках ионов имеется угловое распределение ионов, которое, если не предприняты меры, также участвует в процессе обработки.

Картина реального распределения плотности ионного тока по сечению пучка показана на рис. 4.

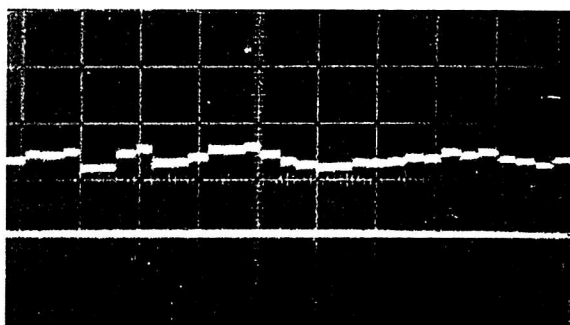


Рис. 4. Реальное распределение ионного тока ионного источника "ИОН-4"

Из рис. 4 видно, что при средней плотности ионного тока $1,4 \text{ mA/cm}^2$ неравномерность по сечению пучка составляет $\pm 14 \%$.

Л и т е р а т у р а

1. Козьякин М. В. и др. Промышленная установка ионной имплантации малых и средних доз «Везувий-7М»// Журн. Электронная промышленность. — М., 1983, вып. 5 (122).
2. Симонов В. А. и др. Установка имплантации с повышенной энергией ионов «Везувий-9»// Электронная техника. Сер. 7. ТОПО. 1982. Вып. 1 (110).
3. Galvin J. E., Brown I. G. Ion beam profile monitor//Приборы для научных исследований, 1985, № 11.
4. Бровченко В. Г., Шафиркин В. В. Ключи с малыми токами утечек для многоканального коммутатора// Приборы и техника эксперимента, 1985. № 4.
5. 750 практических электронных схем: Справочное руководство: Пер. с англ./Сост. и ред. Р. Фелпс. — М.: Мир, 1986.

A control device a beam structure of charged particles

A. N. Kozlov, V. D. Smolyaninov, A. P. Eremin
Research Institute for Electron and Ion Optics, Moscow, Russia

A. M. Filachev
State Scientific Center NPO "Orion", Moscow, Russia

For maintenance repeatability technological of ion processing, it is necessary to support density of ion current and distribution density of ion current by constants. For this purpose the control device of ion sources with a wide beam has been developed. In this work the device for exact reproduction structure of a beam negatively or positively charged particles, is described. Calculation mistakes of measurement currents for the given device are resulted.