

ЭФФЕКТ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭМИССИИ В ВАКУУМНОМ ДИОДЕ С КОЛЬЦЕВЫМ КАТОДОМ

Э. И. Золотарев, С. В. Кирюшкин

В эксперименте изучались особенности формирования полого релятивистского электронного пучка. Вакуумный диод (рис. 1, а) имеет корпус 1 диаметром 400 мм и изолятор 2 длиной 1400 мм. Исследовано два режима, отличающиеся видом катода (рис. 1, б, в) и мощностью питающей цепи. Разрядная система представляет собой кольцевой проволочный (Cu, \varnothing 1 мм) катод, размещенный против плоского анода 3 с кольцевой щелью. В первом режиме щель ($r_{\text{вн}}=35$ мм, $r_{\text{нар}}=40$ мм) и катод (рис. 1, б) имели одинаковые размеры. Во втором режиме диаметр проволочного кольца катода (рис. 1, в) был больше щели. Катоды закреплялись на штوك 4 с помощью трех проволочных (Cu, \varnothing 2 мм) спиц. В первом режиме штук экрани-

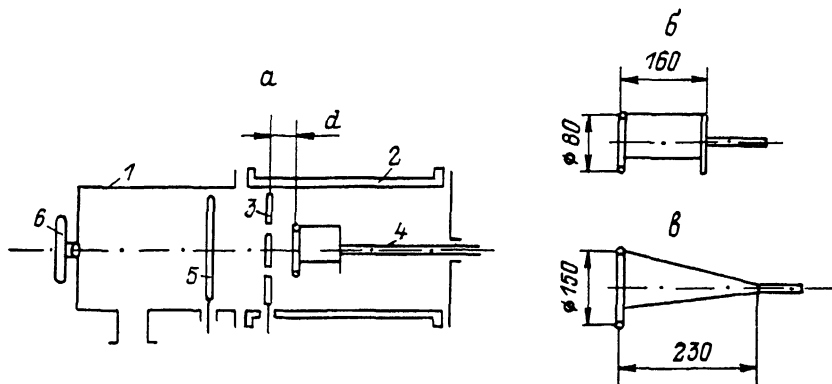


Рис. 1. Конструкция диода и катодов.

ровался металлическим диском равного с катодом размера. На расстоянии 150 мм за анодом в дрейфовом пространстве размещается коллектор электронов 5. Со стороны пучка коллектор покрыт фольгой (Al, 0.2 мм), заземленной через токоизмерительное сопротивление. Со стороны канала транспортировки коллектор облицован люминофором (CaWO_4), свечение которого позволяет регистрировать автограф пучка с помощью фотоаппарата в. Для предотвращения воздействия на экран тормозного излучения анод покрывался свинцовой защитой (10 мм) со стороны трубы дрейфа. Кроме тока коллектора осциллографировались также напряжение на диоде и ток пучка, попадающий на анод.

Питание диода осуществлялось от схемы с индуктивным формирователем импульса. Первичный накопитель — ГИН ($U_n=300$ кВ, C_n в первом режиме 83, во втором — 133 нФ). Индуктивный накопитель ($L_n=70$ мкГн) с помощью медных электрически взрываемых проволочек (2 шт. \varnothing 0.14 мм, $l=150$ см) через разделительный разрядник подключается к нагрузке.

На рис. 2 представлены автографы пучка, полученные в первом режиме при различных расстояниях d между катодом и анодом. Пучок полый. При $d=45$ мм внутренний размер пучка меньше, а наружный больше размеров щели в аноде. В остальных опытах весь пучок расходящийся. Наиболее интересен эффект разделения автографа на две коаксиальные части — двоянное изображение анодной щели. На больших расстояниях ($d=117, 160$ мм) границы изображений очерчены довольно четко. Видна даже перемычка в щелевом аноде-

Осциллограммы напряжения и токов первого режима ($d=117$ мм) представлены на рис. 3. Характерным является рост тока анода и коллектора после уплощения импульса напряжения. Причем ток анода растет приблизительно по линейному закону $I_a \sim t$, а ток коллектора — быстрее $I_k \sim t^n$, $n > 1$. В первом режиме величины напряжений лежат в пределах 500—800 кВ, ток анода 1—3 кА, ток коллектора 150—270 А. Связь максимального значения тока анода (I_a , А) с амплитудой напряжения на диоде (U , кВ), диаметром катода (d_k , мм) и расстоянием между электродами (d , мм), определенная по 30 вариантам испытаний, выражается следующей эмпирической зависимостью:

$$I_a = 1510 \left(\frac{U}{668} \right)^{0.148} \left(\frac{d_k}{100} \right)^{0.132} \left(\frac{d}{67.3} \right)^{-0.58}$$

Попытка увеличить ток пучка за счет роста мощности питающего генератора приводит к резкому изменению формы сечения электронного пучка, выводимого в пространство дрейфа.

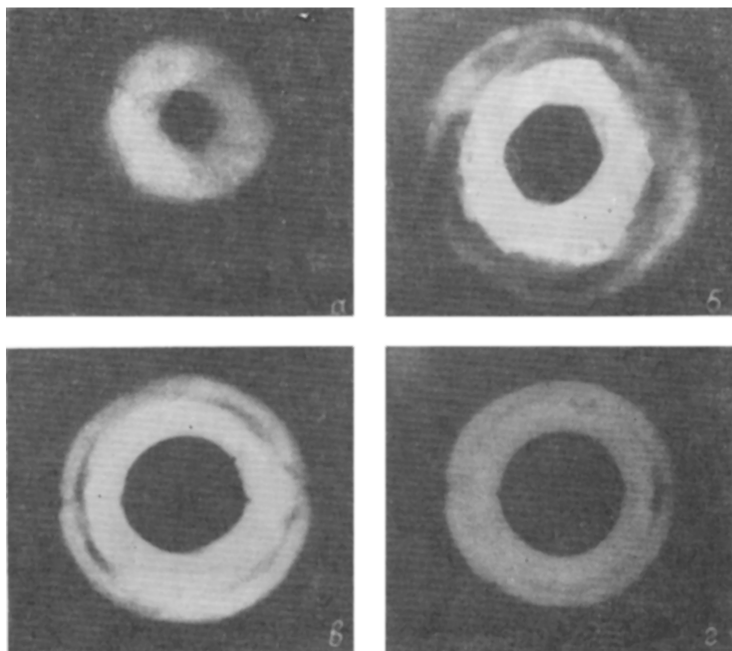


Рис. 2. Автографы пучка в опытах с малой мощностью питания диода.
d, мм: а — 45, б — 70, в — 117, г — 160.

Электрические параметры второго режима: напряжение 700—1300 кВ, ток анода 2—6 кА, ток коллектора 350—500 А. На рис. 4 представлены автографы, полученные во втором режиме.

В центральной части автографов регистрируются смещенные на различные углы изображения анодной щели. В наиболее четких изображениях можно различить 6 колец (в 2 раза больше числа спиц крепления катодного кольца к штоку). В углах экрана следует отметить светлое поле, симметрично расположенное по отношению к оси диода. В первом режиме на оригиналах автографов свечение в углах тоже наблюдается, но без четких границ и менее яркое.

Для интерпретации полученных результатов следует предположить наличие эффекта локализации эмиссионных центров на катоде. На рис. 5 представлена схема возможных конфигураций электронных пучков в испытанном диоде. В первом режиме (рис. 5, а) предполагается наличие по крайней мере двух пучков: 1 — пучок, эмиссионная поверхность которого равномерно распределена по кольцевому катоду, формирует внутреннее (яркое) кольцо в автографе, 2 — пучок, эмиссия которого локализована в центре защитной пластины, формирует второе кольцо в автографе. Во втором режиме можно предположить (рис. 5, б) наличие нескольких пар самосжатых (1) и расходящихся (2) пучков, эмиттируемых из отдельных точек на катоде. Электроны, ответвляющиеся (1') из точки схлопывания самосжатых пучков, формируют светлое поле в углах автографа. Расходящийся пучок формирует изображение кольцевой щели в аноде на автографе в виде окружности. На рис. 5 показана только одна пара самосжатого и расходящегося пучков.

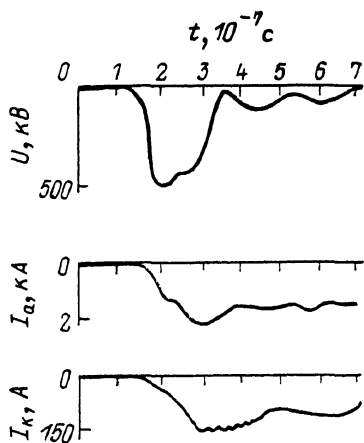


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на диоде (*U*), тока на анод (*I_a*) и тока коллектора (*I_к*).

Ранее в вакуумных диодах с острым [1] и трубчатым [2] катодами наблюдалось на аноде центральное пятно и коаксиальное кольцо на периферии.

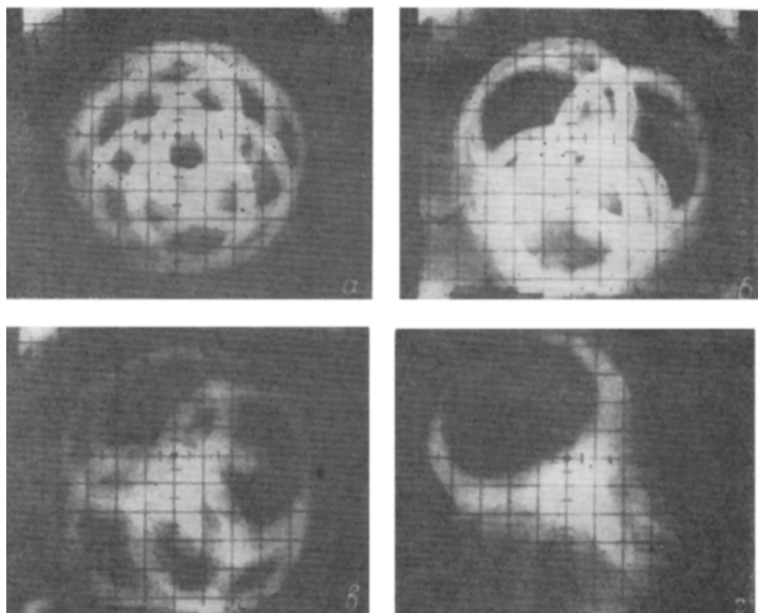


Рис. 4. Автографы пучка в опытах с увеличенной мощностью питания диода.
 d , мм: a — 160, b — 130, c — 100, d — 70.

Полученные в данной работе результаты совпадают с известными в части наличия сжатого центрального пучка и расходящегося периферийного.

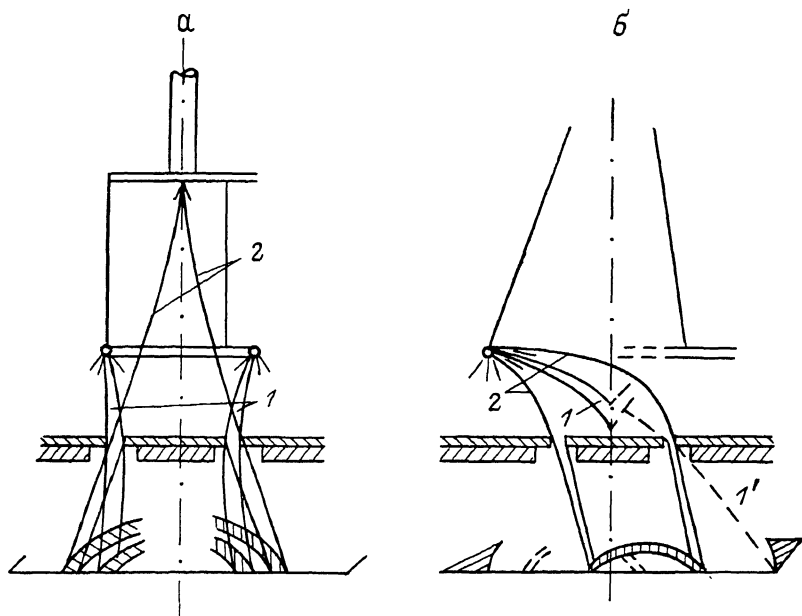


Рис. 5. Конфигурации пучков и размещение эмиссионных поверхностей.

В работе [3] обнаружено подавление многократных изображений катода в автографе при увеличении наложенного на разрядный промежуток магнитного поля.

В данной работе обнаружено качественное изменение эмиссионной поверхности (распределенная или локализованная эмиссия из пятен, их число и распределение по катоду) в за-

висимости от мощности питающей цепи и расстояния между электродами. Представляется возможным предполагать связь числа эмиссионных центров с числом спиц, подводящих энергию к кольцевому катоду от штока.

Список литературы

- [1] Бугаев С. П., Литвинов Е. А., Лопатин В. В., Месяц Г. А. // Мощные наносекундные импульсные источники ускоренных электронов. Новосибирск: Наука, 1974. С. 52—59.
- [2] Абрамян Е. А., Вассерман С. Б., Вотинцев В. Г. и др. // Тр. II Всесоюз. совещания по ускорителям заряженных частиц. М.: Наука, 1972. С. 101—103.
- [3] Галстян Е. А., Казанский Л. П., Лоза М. И., Сильченко А. В. // Сильноточные электронные пучки и новые методы ускорения. М., 1985. С. 3—9.

Поступило в Редакцию
19 декабря 1988 г.

06; 07

Журнал технической физики, т. 60, в. 2, 1990

© 1990 г.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Г. Д. Иллее, В. Л. Малевич

Фазовым превращениям в поверхностных слоях полупроводников, происходящим под действием наносекундных импульсов лазерного излучения, посвящено значительное число работ [1, 2]. Достижения в этой области исследований свидетельствуют о корректности описания указанных превращений в рамках модели плавления, основывающейся на предположении о практически мгновенном, за единицы пикосекунд, выделении тепла при поглощении квантов лазерного излучения электронной подсистемой полупроводника. Наиболее полно исследовано воздействие наносекундных лазерных импульсов на кремний как кристаллический, так и аморфный. В то же время сложным полупроводникам уделено гораздо меньше внимания. Так, количество работ, где проводилось бы численное моделирование тепловых процессов, протекающих в соединениях $A^{III}B^V$ при наносекундном нагреве, крайне ограничено [3, 4].

Нами выполнены численное моделирование и экспериментальное исследование фазовых переходов в поверхностных слоях монокристаллического арсенида галлия, нагреваемых моноимпульсным излучением рубинового лазера.

В рамках тепловой модели нагрев, плавление и кристаллизацию полупроводника при импульсном облучении можно описать одномерным уравнением теплопроводности

$$\rho [C(T) + L\delta(T - T_m)] \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \alpha(T)(1 - R) I(t) \exp \left[- \int_0^x dx' \alpha(T) \right]$$

с начальными и граничными условиями

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad T(x \rightarrow \infty) = T(x, t=0) = \theta.$$

Здесь $T(x, t)$ — поле температур (ось x направлена в глубь полупроводника перпендикулярно его поверхности, где $x=0$), α и R — коэффициенты поглощения и отражения лазерного излучения, K — теплопроводность, T_m — температура плавления, C — удельная теплоемкость, ρ — плотность, θ — начальная температура, $I(t)$ — плотность потока лазерного излучения. Слагаемое с δ -функцией в левой части уравнения обеспечивает непрерывность теплового потока на межфазной границе с учетом выделения (поглощения) скрытой теплоты фазового перехода L .

Плавление GaAs, как известно [5], является переходом типа полупроводник—металл и сопровождается скачком теплофизических и оптических параметров в точке плавления. Это