

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 537.533

DOI: 10.17223/00213411/64/12/152

О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ЭЛЕКТРОНОВ
С «АНОМАЛЬНО» ВЫСОКИМИ ЭНЕРГИЯМИ В ВАКУУМНЫХ ДИОДАХ*

В.Ю. Кожевников, А.В. Козырев

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

Теоретически исследуется переходный процесс установления электронного тока в вакуумном диоде, при котором кинетические энергии электронов могут превосходить амплитудную величину приложенного напряжения (умноженного на элементарный заряд). Теоретически показано, что при подаче на планарный вакуумный диод импульса высокого напряжения с коротким передним фронтом первый пик релаксационных колебаний тока обеспечивается пучком электронов «аномально» высоких энергий. Отмечается, что степень «аномальности» энергий электронов пучка существенно зависит от плотности тока эмиссии с катода и в некоторых гипотетических случаях может превышать приложенное напряжение в несколько раз.

Ключевые слова: *электронный пучок, плоский вакуумный диод, закон Чайлда – Ленгмюра, виртуальный катод.*

Введение

Одним из фундаментальных вопросов современной вакуумной электроники является проблема возникновения потоков так называемых «аномальных» электронов в вакуумных диодах. Такие частицы представляют собой определенную долю электронного потока, они оказываются ускоренными до кинетических энергий ϵ , значительно превосходящих максимальное приложенное напряжение на диоде $U_{\max}$, умноженное на элементарный заряд q , т.е. $\epsilon > qU_{\max}$. Долгое время существование подобных энергетических групп частиц казалось невероятным. Однако по мере совершенствования измерительной техники физического эксперимента с начала 2000-х гг. стали появляться экспериментальные работы, например [1], где одним из результатов транспортировки электронных пучков наносекундных длительностей стала регистрация электронов с кинетическими энергиями, превышающими $qU_{\max}$. Наиболее убедительно наличие фракции «аномальных» электронов в вакуумном диоде, на наш взгляд, продемонстрировано в работе [2]. В ней из аккуратных измерений параметров импульсного пучка за коллектором был рассчитан энергетический спектр потока электронов. Методика регуляризации по алгоритму Арсенина – Тихонова по данным кривых ослабления интенсивности пучка в тонких фольгах позволила восстановить его спектральный энергетический состав. Оказалось, что для импульса напряжения источника питания, имевшего трапецевидную форму с амплитудой 250 кВ, длительностью плато 2 нс и передним фронтом 0.5 нс, энергетический спектр электронов пучка содержал хорошо выделяемую группу частиц с энергиями вплоть до 320 кэВ.

Сложность объяснения причин, приводящих к появлению электронов повышенных энергий $\epsilon > qU_{\max}$, в значительной степени была сопряжена с тем, что условия эксперимента представляли собой весьма нетривиальные схмотехнические и конструктивные конфигурации. Другими словами, было практически невозможно последовательно исключить влияние целого ряда факторов на появление «аномальных» электронов в вакуумном разряде. В дискуссиях высказывались предположения о том, что фактическое напряжение на промежутке могло в разы превышать заявленную амплитуду импульсного источника напряжения. Предполагалось также, что «аномальные» электроны являются следствием стохастического ускорения зарядов плазмы катодного факела, испытывающего ленгмюровскую турбулентность или другие формы неустойчивого токоотбора. В качестве ключевых факторов возникновения электронов повышенных энергий также назывались геометрические особенности поверхности катода. Совокупное влияние нескольких факторов на возникновение «аномальных» электронов в вакуумных диодах тоже допускалось.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по темам № FWRM-2021-0007, FWRM-2021-0014.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>