

ТЕОРИЯ ОБЕДНЕНИЯ ФОТОКАТОДА В СВЧ ФОТОПУШКАХ: ТЕКУЩИЙ СТАТУС

Рассмотрена динамика электронного заряда фотокатода под воздействием поля СВЧ резонатора и лазерных импульсов. С учетом дрейфового, диффузионного и генерационного механизмов сформулирована одномерная задача дрейфа-диффузии для электронов проводимости. В отличие от предыдущих, в рамках данной работы фотоэффект индуцирует периодическая последовательность прямоугольных лазерных импульсов с временным профилем $P(t)$, а фототок на границе фотокатод-вакуум рассматривается пропорциональным $P(t)$. Приводится аналитическое решение сформулированной задачи и обсуждение результатов.

M.V. VLADIMIROV, S.M. POLOZOV, V.I. RASHCHIKOV
National Research Nuclear University «MEPhI» (Moscow Engineering Physics Institute) – Moscow, Russia

THEORY FOR PHOTOCATHODE DEPLETION IN RF PHOTOINJECTORS: CURRENT STATE

Photocathode electron charge dynamics under external influences of RF cavity field and laser pulses is studied. Taking into account drift, diffusion and generation mechanisms, a one-dimensional drift-diffusion problem for conduction electrons is posed. In contrast to previous research, in the present, photoelectron effect is induced by a rectangular pulse train with a temporal profile $P(t)$, and photocurrent at photocathode-vacuum is considered to be proportional to $P(t)$. An analytical solution for the problem under consideration is presented and discussed.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) фотопушки позволяют генерировать сверхкороткие электронные пучки с высоким значением заряда и, как следствие, играют ключевую роль в ускорительной физике и смежных областях знания [1]. СВЧ фотопушки, в частности, определяют функционирование наиболее передовых источников излучения, включая комптоновские источники, источники СИ последних поколений и лазеры на свободных электронах. Сама возможность генерации пико- и субпикосекундных электронных пучков объясняется физикой, лежащей в основе работы СВЧ фотопушек: короткие лазерные импульсы, попадая на поверхность фотокатода, закрепленного на торце СВЧ резонатора, индуцируют фотоэффект, а дальнейшее движение вышедших фотоэлектронов (их ускорение и формирование в электронные пучки) происходит согласно картине электромагнитного поля СВЧ резонатора и фокусирующей системы [2].

В первом приближении профиль извлеченного электронного пучка повторяет профиль лазерного импульса, а заряд пучка Q пропорционален энергии импульса W . Однако при увеличении W растет величина Q , а с ней – и влияние связанных с пространственным зарядом эффектов. Кулоновское взаимодействие между электронами одного пучка и различными пучками друг с другом особенно существенно в прикатодной области, когда $\beta = v/c \ll 1$ и тем больше, чем ярче пучки.

Обеднение фотокатода под внешними воздействиями в СВЧ фотопушке – сравнительно мало изученный эффект. Учет динамически изменяющегося заряда на фотокатоде приводит к существенному изменению тока инжекции, ограниченного пространственным зарядом [3]. Этот эффект особенно значим для полупроводниковых фотокатодов с высоким значением квантового выхода, которые используются в источниках электронов, генерирующих максимально возможные заряды в пучках. Образующийся в полупроводниковом слое заряд $q(t)$ является следствием весьма сложной эволюции распределения электронной концентрации $n(z, t)$.

В работе рассматривается динамика электронного заряда в фотокатоде под внешними воздействиями СВЧ фотоинжектора (электромагнитное поле СВЧ резонатора, последовательность лазерных импульсов). С учетом дрейфового, диффузионного и генерационного механизмов формулируется одномерная задача дрейфа-диффузии для электронов проводимости. В рамках данной работы, в отличие от предыдущих, фотоэффект индуцируется периодической последовательностью прямоугольных лазерных импульсов с временным профилем $P(t)$, последнему также пропорционален фототок на границе фотокатод-вакуум. Приводится аналитическое решение сформулированной задачи и обсуждение результатов.

Список литературы

1. Fraser J. S., Sheffield R. L., Gray E. R. A new high-brightness electron injector for free electron lasers driven by RF linacs // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1986. – Т. 250. – №. 1-2. – С. 71-76.
2. Rao T., Dowell D. H. An engineering guide to photoinjectors // arXiv preprint arXiv:1403.7539. – 2014.
3. Polozov S. M., Rashchikov V. I., Krasilnikov M. I. An improved model for photoemission of space charge dominated picosecond electron bunches: theory and experiment // Proceedings of the 12th International Particle Accelerator Conf.(IPAC'21), Campinas, Brazil. – 2021. – С. 2829-2832.