

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

главного научного сотрудника НИИ ядерной физики МГУ, доктора физико-математических наук, профессора Новикова Льва Симоновича на диссертацию Озеровой Ксении Евгеньевны «Особенности зарядки сегнетоэлектриков LiTaO_3 и LiNbO_3 при электронном и ионном облучении», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника

Накопление электрического заряда в диэлектриках при облучении их электронами и ионами необходимо анализировать при создании и эксплуатации космических аппаратов, электрофизических установок разных типов, плазменно-пучковых технологических установок и т.п. Если энергия бомбардирующих мишень частиц относительно невысока ($\sim 0,1 - 20$ кэВ), в формировании внедренного электрического заряда большую роль играют вторично-эмиссионные процессы, вызываемые бомбардирующими частицами. Хотя роль эмиссионных процессов в явлении радиационной электризации диэлектриков хорошо известна, до настоящего времени отсутствует достаточно корректная методика их теоретического учета, а имеющиеся экспериментальные данные зачастую противоречивы и неоднозначны. Например, при математическом моделировании электризации космических аппаратов в магнитосферной плазме для описания вторично-эмиссионных характеристик поверхности во многих случаях используются классические выражения, справедливые для металлов, либо вводятся поправки, учитывающие возникновение электрического поля в двойном электрическом слое вблизи облучаемой поверхности диэлектрика.

При воздействии электронов и ионов на сегнетоэлектрики формирование в них внедренного электрического заряда имеет еще более сложный характер из-за наличия в сегнетоэлектриках собственных электрических полей. Между тем, именно сегнетоэлектрики широко

применяются в современных элементах оптоэлектроники, вычислительных систем, лазерной техники, а для обработки сегнетоэлектриков широко используется облучение потоками заряженных частиц.

На основании изложенного можно утверждать, что тема представленной диссертационной работы, целью которой является исследование особенностей радиационной зарядки сегнетоэлектриков LiTaO_3 и LiNbO_3 при электронном и ионном облучении, несомненно является актуальной.

Научная новизна результатов и выводов диссертационной работы определяется прежде всего разработанной автором моделью многослойных зарядов, предложенными им новыми методами проведения расчетов и полученными расчетными данными о распределении в сегнетоэлектриках электрических полей, возникающих в результате облучения заряженными частицами. Сюда же следует отнести обнаруженную автором возможность кратковременной инверсии поляризации в приповерхностном слое некоторых срезов сегнетоэлектрических кристаллов. Безусловно новыми являются представленные в диссертации экспериментальные данные, характеризующие закономерности зарядки сегнетоэлектриков при электронном и ионном облучении, включая кинетические характеристики зарядки. Важно, что при проведении экспериментов автором для получения реперных данных использовались металлы и диэлектрики.

Не вызывает сомнений **практическая значимость** результатов диссертационной работы, которые могут успешно использоваться при реализации пучково-плазменных технологий обработки сегнетоэлектрических кристаллов. Применительно к анализу электризации космических аппаратов большую ценность представляют новые подходы к описанию вторично-эмиссионных характеристик материалов, позволяющие, в частности, более точно интерпретировать наблюдаемые пороговые эффекты и скачки потенциала на диэлектрических элементах поверхности аппаратов.

Положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, **вполне обоснованны**, они основываются на обширных массивах экспериментальных и расчетно-теоретических данных и созданных автором физических моделях исследуемых процессов, а их **достоверность** подтверждается согласием экспериментальных и расчетных данных, проведением экспериментов на высокоточном лабораторном оборудовании, а расчетов – с помощью хорошо апробированных алгоритмов и программ.

Следует отметить, что проведение описанных в диссертации экспериментов, особенно при низких энергиях электронов и ионов, воздействующих на мишень, требует большой тщательности и аккуратности из-за малых величин регистрируемых токов и потенциалов, а также из-за возможного влияния на результаты трудно контролируемых побочных факторов. Достоинством диссертации является стремление автора во всех случаях получения неожиданных и на первый взгляд парадоксальных результатов дать им убедительное физическое объяснение и корректную интерпретацию.

Личный вклад автора в проведение экспериментальных исследований и расчетов по теме диссертации, а также в интерпретацию полученных результатов, подтверждается опубликованными автором работами и сделанными докладами на научных конференциях.

Замечания по работе

1. Вакуум в использовавшихся автором экспериментальных установках представляется недостаточно высоким для исследования рассматриваемых в диссертации процессов, сам автор указывает на возможность образования контаминационных пленок на поверхности исследуемых образцов. Кстати, видимо следуя традициям, сложившимся на каждой из установок, автор в

одном случае для характеристики степени вакуума использует единицы *Torr* (с. 41 диссертации), а в другом случае *мбар* (с. 72).

2. Отмеченное автором на с. 64-65 отсутствие возможности определить состав контаминационных пленок следует, конечно, отнести к недостаткам экспериментальной части диссертации, такая информация была бы очень полезна для понимания и интерпретации наблюдаемых закономерностей.

3. Недостаточно убедительно выглядят рассуждения автора о возможности нейтрализации ионов вблизи поверхности облучаемой мишени и влиянии на вероятность этого процесса времени пребывания иона вблизи поверхности (с. 75, 93-94). Следовало бы рассмотреть этот процесс более детально.

4. На с. 77 написано: «возьмем кристалл полиметилметакрилата», ПММА имеет аморфную структуру.

5. На рис.3.15.(б) (с. 92) не указаны значения потенциала смещения на сетке в измерительном тракте, соответствующие полученным зависимостям 1, 2, 3.

Сделанные замечания скорее являются пожеланиями автору для дальнейшей работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Основные положения выполненных в диссертации исследований, полученные результаты и сделанные выводы достаточно полно отражены в опубликованных автором работах и сделанных им сообщениях на научных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Оценивая представленную диссертацию в целом, можно констатировать, что она является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития исследований радиационной электризации сегнетоэлектриков, изучения вторично-эмиссионных явлений и использования полученных новых знаний в технологических процессах.

Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а автор диссертации Озерова Ксения Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Официальный оппонент главный научный сотрудник НИИ ядерной физики МГУ, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы, профессор

Новиков Лев Симонович

02.12.2022

Подпись Новикова Л.С. удостоверяю
Ученый секретарь НИИ ядерной физики МГУ
кандидат физ.-мат. наук

Е.А. Сигаева

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына.

Тел. +7(495)939 1818. e-mail: info@sinp.msu.ru