ОТЗЫВ

официального оппонента профессора, доктора физико-математических наук Кривобокова В.П. о диссертационной работе Пунанова Ивана Фёдоровича **«Пространственно-временные и энергетические характеристики высоковольтного наносекундного пробоя конденсированных диэлектриков»,** представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина» и в ФГБУН «Институт электрофизики» Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и трёх приложений. Изложена на 165 страницах, содержит 45 рисунков, 14 таблиц и список литературы, включающий 209 источников.

Актуальность. Темой диссертационной работы И.Ф. Пунанова является изучение электрического пробоя диэлектриков импульсами наносекундной длительности с субнаносекундными фронтами при высоких начальных напряжённостях поля (более 10^7 В/см) на инициирующем положительном электроде и больших скоростях нарастания напряжения. Актуальность данной темы обусловлена стремительно растущими требованиями современной импульсной техники к компактности, надёжности и быстродействию импульсных генераторов, устройств передачи, хранения и расходования электромагнитной энергии при очень большой мощности (до 10^{14} Вт). Эти требования в свою очередь стимулируют исследования поведения как жидких (создание жидкой изоляции в высоковольтных линиях передачи импульсов, создание коммутаторов, разрядников), так и твёрдых диэлектриков (изоляторы, рабочие тела для абляционных плазмогенераторов и т. д.) при воздействии на них мощных импульсных электрических полей.

Стоит также отметить, что развитие теоретических подходов к описанию пробоя как одного из фундаментальных явлений в диэлектриках невозможно без опоры на достоверные экспериментальные данные о разнообразных механизмах и физических характеристиках его в широком диапазоне длительностей и интенсивностей воздействия.

Научная новизна. В работе И.Ф. Пунанова получены интересные результаты в области наносекундного пробоя конденсированных и многофазных диэлектриков. Новыми являются как конкретные данные по таким физическим характеристикам как скорость развития канала пробоя, ток его формирования, так и методики эсперименто́в, а также некоторые объекты исследования — наноструктурные керамики, пропитанные различными диэлектрическими жидкостями.

Практическая значимость. Работа представляет значительный практический интерес для импульсной электрофизики, физической электроники, электроимпульсной технологии в части решения задач по высоковольтной изоляции, коммутации мощных токов, а также создания источников электронных пучков, функциональных элементов для перспективных образцов новой техники, в том числе для космических аппаратов. В частности, речь идёт о таких характеристиках, как скорость развития процесса пробоя в жидкой среде, скорость истечения продуктов пробоя в вакуум.

Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов обеспечивается большим объёмом экспериментальных данных, разработкой методического подхода, учитывающего специфику измеряемых электрофизических параметров. В работе тщательно освещён каждый этап исследований. Обоснованность научных положений обеспечена глубокой проработкой литературы по теме, грамотным анализом экспериментальных данных, использованием современных методов и средств исследования, соответствием теоретических и экспериментальных данных. Результаты, изложенные в диссертации, носят непротиворечивый характер, взаимно дополняют друг друга, согласуются с данными, приведёнными в работах

пробоя. Её значения представлены в Табл. 3.2. В частности, для пропилового эфира перфторвалериановой кислоты эта скорость составляет около 140 км/с. Однако рис. 3.5 (для этой-же жидкости) не свидетельствует о выходе зависимости V(d) на постоянное значение. С чем это связано?

2. В Главе 4 описан эксперимент по определению тока формирования канала пробоя в щёлочно-галоидных кристаллах с использованием оригинальной методики. В работе есть ссылки на литературу, в которой описаны эксперименты по измерению этой величины (Глава 1). Бросается в глаза большая разница (2—3 порядка) между результатами, представленными в этой работе и полученными другими авторами. Диссертант качественно объяснил это расхождения (стр. 107). Но хотелось бы спросить: не мог бы он дать количественного объяснения столь большому различию?

3. Известно применение пробоя диэлектрических жидкостей в качестве средства для электроимпульсного разрушения горных пород. Не рассматривалась ли возможность использования в этой области результатов, полученных автором?

4. Тематика исследований, которые ведутся в УрФУ и в ИЭФ, предполагает возможность использования сильных магнитных полей. Было бы интересно исследовать влияние сильного поперечного магнитного поля на характеристики электрического пробоя. Не планируются ли такие исследования?

5. В Главе 1 много внимания уделено обзору литературных источников, в которых обсуждается вопрос о том, какая физическая величина может быть фундаментальной константой для оценки качества конкретного диэлектрика (удельная энергия каналообразования, пробивная напряжённость, электрическая прочность и т.д.). Насколько Вы продвинулись в своих исследованиях в этом вопросе? Существует ли общий «признак физической константы» для жидких и твёрдых диэлектриков?

Данные замечания скорее указывают на возможные направления дальнейших исследований и подтверждают общую высокую оценку работы.

Диссертационная работа И.Ф. Пунанова «Пространственно-временные и энергетические характеристики высоковольтного наносекундного пробоя

конденсированных диэлектриков» является законченным исследованием в области физики наносекундного пробоя, в котором получены новые результаты, прошедшие апробацию, опубликованные в печати и имеющие большое научное и практическое значение.

Заключение

Проведённый анализ позволяет утверждать, что представленная к защите диссертация - это законченная научно-квалификационная работа, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для физической электроники. Кроме того, получены новые данные, которые являются полезным вкладом в развитие физических основ электроразрядных технологий обработки материалов.

Считаю, по содержанию, объёму проведённых исследований, качеству полученных результатов, научной новизне и практической значимости представленная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Пунанов Иван Фёдорович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 –физическая электроника.

Официальный оппонент, заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктор физико-математических наук, профессор

В.П. Кривобоков

Кривобоков Валерий Павлович, ФГАОУ ВУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, Томск, проспект Ленина, 30. Телефон: (3822) 606-418, факс (3822) 417-956, E-mail: krivobokov@tpu.ru

«Подпись проф. Кривобокова В. П. подтверждаю»

Учёный секретарь Национального исследовательского Томского политехнического университета

О. А. Ананьева