

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2335/82

12/v-82

18-82-99

С.А.Корнев

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЗАВЕРШЕННОГО РАЗРЯДА
ПО ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКОВ

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1982

ВВЕДЕНИЕ

Формирование незавершенного разряда по поверхности диэлектриков с высоким значением диэлектрической проницаемости ϵ достаточно хорошо исследовано ^{/1,2/}. При этом для зажигания разряда требуется относительно небольшое напряжение, так, для титаната бария ($\epsilon \sim 1500$) оно составляет ~ 500 В при толщине образца 1 мм. С уменьшением диэлектрической проницаемости диэлектрика до ~ 2 напряжение зажигания разряда переходит в киловольтный диапазон ^{/3/}. Скорость разлета плазмы разряда в перпендикулярном диэлектрику направлении составляет в среднем ^{/4/} $v_{\perp} \sim \sim 2-8 \cdot 10^6$ см/с, а скорость скольжения v_{\parallel} по диэлектрику при его толщине, удовлетворяющей условию $d \gg v_{\parallel} \tau_u / \tau_u$ - длительность поджигающего импульса напряжения/, определяется выражением $v_{\parallel} = A U / A = 490$ см/с \cdot В при положительной и $A = 2100$ см/с \cdot В при отрицательной полярности поджигающего импульса напряжения с амплитудой U .

В данной работе приводятся результаты экспериментального наблюдения формирования по поверхности магнитодиэлектриков, в частности ферритов, незавершенного разряда и измерения его характеристик.

1. СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

Структурная схема эксперимента приведена на рис.1. Импульс напряжения от генератора импульсного напряжения ^{/1/} поступает на металлическую сетку ^{/3/} и электрод ^{/4/}, между которыми установлен магнитодиэлектрик. Генератор импульсного напряжения собран по схеме разряда емкости на сопротивление. Коммутирующим элементом является водородный тиратрон типа ТГИ1-500/16. Амплитуда импульса напряжения с временем нарастания переднего фронта ~ 50 нс в экспериментах составляла 2-15 кВ, а длительность импульса - от 0,5 до 10 мкс. Длительность импульса регулировалась подбором сопротивления и емкости. Емкость C заряжалась через зарядное сопротивление R_3 от высоковольтного выпрямителя. Напряжение измерялось высокоомным делителем напряжения ВД, собранным на сопротивлениях типа ТВ0-20, а разрядный ток - шунтом тока R_{III} с помощью широкополосного осциллографа. Момент зажигания разряда регистрировался фотозонным умножителем типа ФЭУ-87 по появлению сигнала на экране



Рис.1. Схема эксперимента. 1 - генератор импульсного напряжения; 2 - магнитоэлектрик; 3 - металлическая сетка; 4 - электрод; 5 - фотоэлектронный умножитель; 6 - осциллограф; ВД - высокоомный делитель напряжения; $R_{ш}$ - шунт тока.

осциллографа. Измерение концентрации электронной компоненты плазмы разряда проводилось двойным зондом Ленгюра, а проводимости плазмы - датчиком проводимости, описанным в работе /5/. Скорость разлета плазмы определялась коллекторным методом.

Металлическая сетка, феррит и электрод помещены в вакуумную камеру. Она выполнена из нержавеющей стали и имеет оптически прозрачный фланец из оргстекла. Вакуумная камера откачивается до давления остаточного газа $P \sim 10^{-5}$ Тор вакуумным агрегатом ВА-0,5, а до $P \sim 10^{-2}$ Тор - форвакуумным насосом ВН-2МГ с вымораживанием паров масла. Давление остаточного газа в камере регулируется при помощи натекателя. Конструктивно металлический электрод /4/ расположен в вакуумной камере на диэлектрической подложке и через сопротивление $R_{ш} = 10 \text{ Ом}$ типа ТВ0-10 электрически подсоединен к металлической стенке камеры. Ввод импульсного напряжения и вывод измеряемого напряжения на шунте тока осуществляются через вакуумные высокочастотные разъемы типа СРГ-75. На электрод /4/ устанавливаются исследуемые образцы магнитоэлектриков, на которые укладывается металлическая мелкоструктурная сетка из нержавеющей стали. Это обеспечивает естественный их прижим друг к другу с зазором $\sim 0,1 \text{ мм}$. В экспериментах использовалась металлическая сетка с диаметром проволочек $0,2 \text{ мм}$ и размером ячейки $1,5 \times 1,5 \text{ мм}^2$.

Эксперимент проводится следующим образом. Импульс запуска с генератора Г5-15 поступает на подмодулятор, который запускает основной генератор импульсного напряжения. С него импульс напряжения подается на систему металлическая сетка - магнитоэлектрик - электрод. При этом импульс синхронизации от Г5-15 поступает на блок временной задержки и с него - на два осциллографа. Момент зажигания разряда регистрируется на экране осциллографа, а напряжение и ток в разрядной цепи - на экране другого осциллографа. Фотографируя осциллограммы, после обработки пленок получаем характеристики разряда.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты показали, что на поверхности магнитоэлектриков наблюдается незавершенный разряд, подобный разряду на поверхности "чистых" диэлектриков. Однако он имеет некоторые особенности.

В результате обработки синхронных осциллограмм напряжения с делителя напряжения и тока с шунта тока построена зависимость пороговой напряженности электрического поля в зазоре между металлической сеткой и магнитоэлектриком от давления остаточного газа /рис.2/. Эта зависимость определяет пороговую величину напряженности электрического поля, при которой начинает формироваться незавершенный разряд при различных значениях магнитной проницаемости феррита. Известно, что напряженность электрического поля в этом зазоре определяется по формуле

$$E = \frac{4U}{D \log \frac{8d}{D}} \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}, \quad /1/$$

где U - приложенное напряжение, D - диаметр проволочек металлической сетки, d - толщина магнитоэлектрика, ϵ_2, ϵ_1 - диэлектрическая проницаемость магнитоэлектрика и вакуумной прослойки.

Определяя из графиков /рис.1/ значение E при заданном давлении остаточного газа и подставляя результат в формулу /1/, определяем при заданных геометрических параметрах необходимую величину амплитуды импульса напряжения, достаточную для зажигания разряда.

При этом необходимо не допустить в системе сетка - феррит - электрод сквозного пробоя, т.е. выполнить условие

$$E_{пр} \geq \frac{4U}{D \log \frac{8d}{D}} \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}, \quad /2/$$

где $E_{пр}$ - пробивная напряженность электрического поля магнитоэлектрика. Сквозной пробой приводит к факельной структуре разряда.

Для формирования однородного разряда по поверхности феррита, как показывают эксперименты, необходимо в разрядный контур передать из накопителя энергии /генератор импульсного напряжения/ значительную по величине энергию. Однородный разряд характеризуется сравнительно однородной концентрацией заряженных компонент плазмы.

Параметр энергии удобно характеризовать через плотность энергии W , определяемую отношением энергии к площади поверхности разрядного контура. Проведенные эксперименты показали,

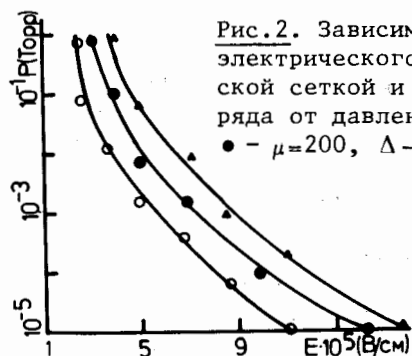


Рис.2. Зависимость пороговой напряженности электрического поля в зазоре между металлической сеткой и магнитодиэлектриком зажигания разряда от давления остаточного газа P . о - $\mu = 100$, ● - $\mu = 200$, Δ - $\mu = 300$.

что формирование однородного разряда возможно при выполнении условия

$$W \geq /0,2-0,5/ \text{ Дж/см}^2. \quad /3/$$

Сформированный разряд представляет собой плазму эрозийного характера, хотя затравочная плазма носит газоразрядный характер. Эрозийный характер плазмы объясняется тем, что концентрация ее заряженных компонент изменяется незначительно при изменении давления остаточного газа в камере. Из измерений двойным зондом Ленгмюра следует, что при давлении остаточного газа $P \sim 10^{-5}$ Тор концентрация электронной компоненты составляет $n_{ep} \sim 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, а при $P \sim 1$ Тор $n_{ep} \sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Измерения проведены на расстоянии от металлической сетки, равном 3 мм, при плотности энергии $W \sim 0,3 \text{ Дж/см}^2$. Измерения проводимости плазмы показали ее зависимость от параметра W . Эти измерения, выполненные при той же плотности энергии, при которой осуществлялись измерения концентрации электронов в плазме, показывают, что при давлении остаточного газа $P \sim 10^{-5}$ Тор проводимость плазмы σ составляет: $\sigma \sim 1,6 / \text{ Ом} \cdot \text{см} / -1$, а при $P \sim 1$ Тор - $\sigma \sim 2,4 / \text{ Ом} \cdot \text{см} / -1$. Исходя из этих измерений можно сделать оценку плазмы на предмет ее столкновительности. При выполнении условия

$$\frac{\nu_{ei}}{\omega_0} < 1, \quad /4/$$

где $\nu_{ei} = \frac{n_{ep} e^2}{m_e \sigma}$ - частота столкновений электронов с ионами /е, m_e - заряд и масса электрона, n_{ep} - концентрация электронов в плазме, σ - проводимость плазмы;/; ω_0 - ленгмюровская частота плазменных колебаний, равная $\omega_0 = 6,56 \cdot 10^4 \sqrt{n_{ep}}$, плазма является бесстолкновительной. Условие

$$\frac{\nu_{ei}}{\omega_0} > 1 \quad /5/$$

определяет столкновительную плазму. Произведя вычисления ν_{ei} и ω_0 при давлении остаточного газа $P \approx 10^{-5}$ Тор, получаем $\frac{\nu_{ei}}{\omega_0} =$

$= \frac{3 \cdot 10^6}{9,3 \cdot 10^9} < 1$, а при $P \approx 1$ Тор $\frac{\nu_{ei}}{\omega_0} = 5 \cdot 10^{-4} < 1$. Из этих оценок следует, что формируемая плазма незавершенного разряда по поверхности магнитодиэлектриков является бесстолкновительной.

При помощи коллекторов, устанавливаемых на фиксированном расстоянии от металлической сетки, определялась скорость разлета плазмы в перпендикулярном направлении к плоскости феррита и металлической сетке. Обработка осциллограмм показала, что давление остаточного газа существенно не влияет на скорость разлета плазмы в этом направлении. Для многих материалов типов ферритов она составляет $v_{\perp} \sim 10^3 - 10^5 \text{ см/с}$ и зависит от величины разрядного тока I и магнитной проницаемости μ . С увеличением I скорость уменьшается. Это уменьшение скорости можно попытаться качественно объяснить на основе эффекта притяжения заряженных струй к поверхности магнитодиэлектриков^{/6/}. В нашем случае при расширении плазмы по поверхности на некотором расстоянии от нее наводится ток изображения в феррите. Взаимодействие разрядного тока с наведенным приводит к тому, что из-за наличия силы Лоренца плазма притягивается к поверхности магнитодиэлектрика. Аналогичная ситуация наблюдается при взаимодействии полностью или частично компенсированного электронного пучка с ферромагнитными пластинами^{/7/}. Результатом этих процессов является уменьшение скорости разлета плазмы. Для ферритов марки МН300 и МН200 скорость разлета плазмы при разрядном токе 10 А составляет $v_{\perp} \sim 0,1 \cdot 10^3 \text{ см/с}$ и $v_{\perp} \sim 10^4 \text{ см/с}$ соответственно. Эти значения скоростей существенно меньше скоростей разлета плазмы для "чистых" диэлектриков, для которых $v_{\perp} \sim /2 \div 8/ \cdot 10^6 \text{ см/с}$. Это различие можно попытаться объяснить тем, что из-за зарядовой нейтрализации плазма не взаимодействует с диэлектриком и силы адиабатического расширения играют определяющую роль.

На рис.3 приведены типичные осциллограммы напряжения и разрядного тока.



Рис.3. Типичные осциллограммы импульса напряжения на металлической сетке и электроде /верхний импульс/ и разрядного тока /нижний импульс/. Время развертки луча осциллографа - 1 мкс на клетку.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально наблюдается незавершенный разряд по поверхности магнитодиэлектриков.
2. Этот разряд имеет свои особенности по сравнению с разрядом по поверхности "чистых" диэлектриков.
3. Скорость разлета плазмы в разряде по поверхности магнитного диэлектрика существенно уменьшается по сравнению со скоростью разлета в разряде для чистых диэлектриков.

В заключение автор выражает свою благодарность В.И.Данилову, К.В.Ходатаеву и Н.Б.Рубину за полезные обсуждения и интерес к данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. Изд-во "Сов. радио", М., 1974.
2. Ковальчук Б.М. и др. Сильноточные наносекундные коммутаторы. "Наука", Сибирское отделение, Новосибирск, 1979.
3. Корнев С.А. ОИЯИ, 9-81-573, Дубна, 1981.
4. Крейндель Ю.Е. Плазменные источники электронов. Атомиздат, М., 1977.
5. Зерненко В.Г. и др. ЖТФ, 1959, т.29, №8, с.1009.
6. Диденко А.Н., Рябчиков А.И. Изв. вузов, физика, 1979, №10, с.27.
7. Диденко А.Н. и др. Мощные электронные пучки и их применение. Атомиздат, М., 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 февраля 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Р18-12147	Труды III Совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1978.	2 р. 20 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Р2-12462	Труды V Международного совещания по нелокальным теориям поля. Алушта, 1979.	2 р. 25 к.
Д-12831	Труды Международного симпозиума по фундаментальным проблемам теоретической и математической физики. Дубна, 1979.	4 р. 00 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д2-81-158	Труды XIV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1980	3 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Коренев С.А.

18-82-99

Формирование незавершенного разряда по поверхности магнитоэлектриков

Приводятся результаты экспериментального исследования формирования незавершенного разряда по поверхности магнитоэлектриков, в частности ферритов. Экспериментально показано, что скорость разлета плазмы для многих материалов ферритов составляет $\sim 10^3-10^5$ см/с и зависит от величины разрядного тока и магнитной проницаемости.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Korenev S.A.

18-82-99

The Incomplete Charge Forming Over the Surface of Magnetic Dielectric Ferrite

The results of the experimental studies of the incomplete charge formation over the surface of the magnetic dielectric ferrite are presented. It has been shown experimentally that the velocity of plasma flight apart for many ferrite materials amounts to 10^3-10^5 cm/c and it depends on the charge current and magnetic penetration of ferrites.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.