

преобретают здесь экстремальные значения, которые (при выполнении условия $K=1$) перестают зависеть от конкретных значений ε_{11}^T , d_{15} , s_{55}^E .

Описанное поведение свойств сегнетокерамики обусловлено наличием пьезовзаимодействия между кристаллитами и качественно отличается от поведения свойств несегнетоэлектрических поликристаллических материалов. Так, в соответствии с [7] рост какой-либо компоненты диэлектрической проницаемости кристаллита всегда приводит к неограниченному росту эффективной проницаемости несегнетоэлектрического поликристалла. В связи с вышесказанным исследование свойств поликристаллов при наличии пьезовзаимодействия в рамках теории гетерогенных систем имеет особый интерес.

Сравним полученные результаты с известными экспериментальными данными. В таблице приводятся типичные значения констант поляризованной керамики BaTiO_3 при комнатной температуре [8]. Как видно из приведенных на рис. 3 графиков, даже при очень большой подвижности доменных стенок не удается достигнуть экспериментальных значений пьезомодулей керамики. В связи с этим встает вопрос о необходимости привлечения других моделей, учитывающих, в частности, также 90-градусные повороты доменов в процессе поляризации. Авторы [5] обратили внимание на одну интересную тенденцию этого процесса, которую можно сформулировать следующим образом: перестройка доменной структуры в керамике происходит так, что возникающие 90-градусные стенки стремятся занять положения, при которых нормаль к плоскости стенки составляет с направлением поля наименьший угол. Очевидно, телесный угол Ω , в котором будут ориентированы при этом средние дипольные моменты кристаллитов, становится меньше $2\pi^{1/4}$.

В таблице представлены результаты расчета для случая $\Omega=2.8\pi^2$ (оценка дана на основе микроструктурных данных для поляризованной керамики BaTiO_3 [5]) при $\gamma=0.1$ и 0.17 . Расчетные значения пьезомодулей хорошо согласуются с экспериментальными.

Список литературы

- [1] Турик А. В. // ФТТ. 1970. Т. 12. Вып. 3. С. 892—899.
- [2] Турик А. В., Чернобабов А. И. // ЖТФ. 1977. Т. 47. Вып. 9. С. 1944—1948.
- [3] Arlt G., Dederichs H. // Ferroelectrics. 1980. Vol. 29. P. 47—50.
- [4] Исупов В. А. // ФТТ. 1967. Т. 9. Вып. 5. С. 1417—1423.
- [5] Крамаров О. П., Экнадиосянц Е. И., Никулина В. П. // Электронная техника. Сер. 14. Материалы (Неорганические диэлектрики). 1969. № 4. (20). С. 89—94.
- [6] Алешин В. И. // Кристаллография. 1987. Т. 32. № 2. С. 422—426.
- [7] Оделевский В. И. // ЖТФ. 1951. Т. 21. Вып. 11. С. 1379—1382.
- [8] Яффе Б., Куь У., Яффе Г. Пьезоэлектрическая керамика. М.: Мир, 1974. 288 с.

Ростовский-на-Дону
государственный университет
Научно-исследовательский
институт физики

Поступило в Редакцию
20 мая 1988 г.
В окончательной редакции
10 ноября 1988 г.

ОБРАЗОВАНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ СВЕЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАСПАДЕ ПЛОТНОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДЯНОЙ ПЛАЗМЫ

П. И. Голубничий, В. М. Громенко, В. М. Крутов

Процессы, происходящие в результате мощного искрового энерговыделения в жидкости, представляют значительный интерес для специалистов в таких областях, как физика низкотемпературной плазмы, гидродинамика, акустика, физическая химия и т. д. Особое внимание исследователей привлекают плотная низкотемпературная разрядная плазма, динамика пульсирующей полости, образующейся в жидкости в результате энерговыделения, а также процессы, сопровождающие последнюю стадию схлопывания каверны, т. е. ее коллапс. Результаты таких работ приведены, например, в [1-4].

Слабо изученными остаются стадии расширения полости и явления, сопровождающие релаксацию находящейся в ней плазмы, которые представляют большой интерес с точки зрения фундаментальных и прикладных исследований.

В настоящей работе описаны результаты экспериментальных исследований релаксации расширяющейся плазмы, образующейся при высоковольтном разряде в воде.

Энерговыделение осуществлялось при помощи генератора импульсного напряжения Аркадьева—Маркса. Пробойное напряжение составляло $6 \cdot 10^4$ В, а энергия, накапливаемая конденсаторами, 30 Дж. Камера, в которой производился разряд, имела объем $1.5 \cdot 10^{-3}$ м³

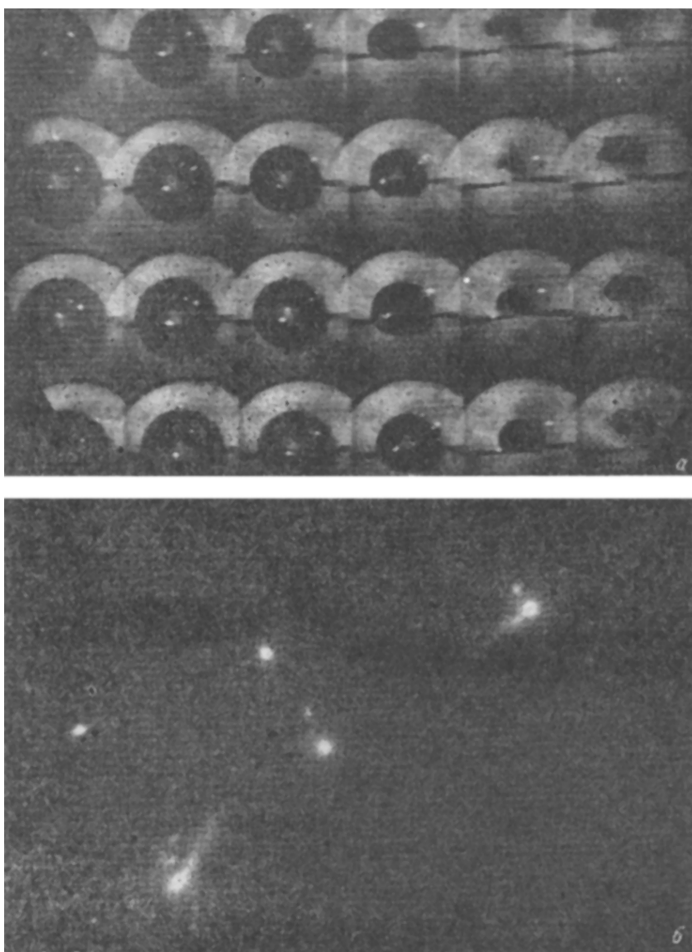


Рис. 1. Динамика светящихся объектов и полости в воде (съемка производилась через $1.4 \mu\text{с}$ после энерговыделения) (а) и светящиеся объекты внутри полости (б).

и была снабжена двумя смотровыми окнами, расположенными на ее противоположных сторонах вдоль одной оси. Максимальный диаметр пульсирующей полости, образующейся после разряда, равнялся $2.5 \cdot 10^{-2}$ м. Регистрация световых потоков от расширяющейся плазмы осуществлялась при помощи ФЭУ, снабженных интерференционными фильтрами. Съемка плазменных сгустков, полости и оптическая спектроскопия осуществлялись при помощи линзы времени на базе ЭОП, которая могла работать в режиме фотохронографа.

Было обнаружено, что при некоторых еще не полностью изученных режимах энерговыделения, плазма внутри расширяющейся полости не исчезает, а распадается на отдельные долгоживущие светящиеся объекты. Время жизни (свечения) этих образований на несколько порядков больше времени релаксации разрядной плазмы и определяется периодом пульсации полости. Последнее было проверено при помощи специального устройства, которое позволяло увеличить период пульсации полости от $2 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ с. Размер светящихся объектов составлял 10^{-4} — 10^{-3} м, а их количество внутри полости от опыта к опыту менялось

от нескольких единиц до нескольких десятков штук. Свечение образований в ряде случаев можно пульсирующий характер, причем увеличение или уменьшение светимости сопровождается соответственно увеличением или уменьшением их размеров. Рис. 1, а иллюстрирует описанные выше свойства светящихся объектов. Здесь представлен результат покадровой съемки полости и светящихся образований в ней. Съемка велась при помощи высокоскоростной камеры с оптико-механической коммутацией, снабженной импульсным двигателем. Экспозиция каждого кадра 50 мкс, порядок следования снизу вверх и слева направо. Визуализация полости осуществлялась при помощи сквозной подсветки, интенсивность которой подбиралась таким образом, чтобы не исказить картину свечения объектов внутри полости.

Фотография показывает, что движение светящихся образований внутри каверны не связано с движением ее стенок. Более того, некоторые объекты выходят из полости в жидкость и значительное время ($5 \cdot 10^{-4}$ с) существуют в ней. На рис. 1, б представлена увеличенная фотография светящихся объектов. Время экспозиции 50 мкс. На снимке видны «хвосты» и ореолы, окружающие светящиеся объекты. Фотометрирование ряда снимков светящихся образований показало, что они оптически прозрачны.

Спектры излучения исследовались при помощи монохроматора УМ-2, у которого вместо выходной щели помещался фоторегистратор; время экспонирования составляло 50 мкс. На рис. 2 представлен спектр излучения исследуемого объекта, полученный путем его сравнения со спектром эталонного источника. Здесь же приведен

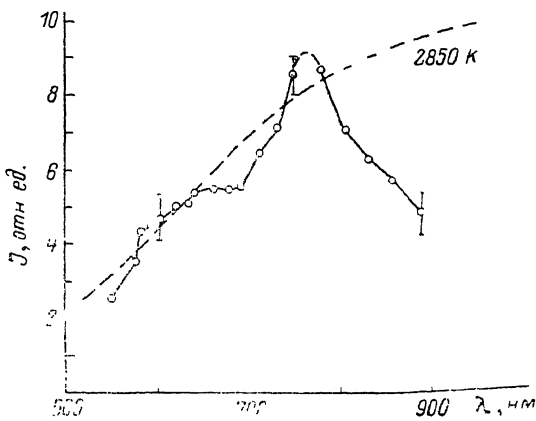


Рис. 2.

в относительных единицах спектр абсолютного черного тела с температурой 2850 К. Яркость и размеры светящихся образований, как было указано выше, менялись в широких пределах. Для некоторого «среднего» объекта излучаемый им световой поток с учетом спектрального распределения составляет порядка 10^{-2} лм.

Совокупность полученных данных указывает на необычную природу светящихся образований. Так, отсутствие в их спектре излучения линий или полос указывает на то, что излучает не нагретый каким-либо образом газ, содержащийся в полости, давление которого к тому же при максимальном расширении полости много меньше атмосферного [5]. Свечение не может быть объяснено и наличием внутри каверны нагретых до высокой температуры твердых частиц, так как светящиеся образования оптически прозрачны и спектр их излучения резко отличен от спектра теплового излучения твердого тела. Тем не менее светящиеся образования обладают определенной «автопомией», которая позволяет им существовать не только в условиях сильно меняющихся концентраций и температуры внутри полости во время ее пульсации, но и вне ее — в жидкости. Таким образом, для полного установления природы образующихся после разряда в воде долгоживущих светящихся объектов имеющихся данных недостаточно. Однако можно предположить, что они представляют собой специфические кластерные образования, на возможность существования которых в полости, иницированной мощным искровым энерговыделением в жидкости, указано ранее [6].

Необходимо также отметить, что именно появлением долгоживущих светящихся объектов в результате высоковольтного разряда в воде можно объяснить длительное послесвечение, зарегистрированное нами в работе [7]. Выход этих образований в жидкость объясняет то, что светящаяся область при коллапсе каверны в воде могла находиться не только внутри полости, но и на большом расстоянии от нее [4].

Полученные результаты по обнаружению и исследованию в описанных экспериментальных условиях долгоживущих специфически релаксирующих квазиплазменных образований имеют, на наш взгляд, широкий спектр приложений (в частности, для выяснения природы различного рода атмосферных светящихся объектов типа шаровой молнии и т. д.).

- [1] Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрический разряд в воде. М.: Наука, 1971. 156 с.
- [2] Бузуков А. А., Тесленко В. С. // Письма в ЖЭТФ. 1971. Т. 14. Вып. 5. С. 296—299.
- [3] Голубничий П. И., Громенко В. М., Филоненко А. Д. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 9. С. 568—571.
- [4] Голубничий П. И., Громенко В. М., Крутов Ю. М. // Матер. XI Междунар. симпозиума по нелинейной акустике «Проблемы нелинейной акустики». Новосибирск, 1987. Ч. 1. С. 41—45.
- [5] Перник А. Д. Проблемы кавитации. Л.: Судостроение, 1966. 439 с.
- [6] Беляева Т. В., Гарагула Е. Е., Голубничий П. И. и др. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. Вып. 14. С. 860—863.
- [7] Бельковский В. Г., Голубничий П. И., Масленников С. И. // Акуст. журн. 1974. Т. 20. Вып. 1. С. 23—26.

Ворошиловградский
машинностроительный институт

Поступило в Редакцию
27 мая 1988 г.
В окончательной редакции
5 ноября 1988 г.

05; 12

Журнал технической физики, т. 60, в. 1, 1990

© 1990 г.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЛОТНОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

А. Д. Кикин, Ю. С. Каримов

Критический ток высокотемпературных сверхпроводников J_c является важнейшим параметром, определяющим возможности их технического применения. Для ВТСП в виде керамики величина J_c обычно не превосходит 10^3 А/см² при 77 К в отсутствие магнитного поля [1] и падает в 10 — 10^3 раз в сравнительно слабых магнитных полях [2, 3]. Надежное измерение критического транспортного тока ВТСП в разных магнитных полях представляет значительный интерес. В настоящей работе описаны индуктивные методы измерения J_c . В магнитных полях $H \geq H_{c1}$ используется известный метод Кемпбелла [4], а в слабых полях $H \leq H_{c1}$, где этот метод неприменим, предлагается определять J_c по величине магнитного момента, который измерялся индуктивным методом с использованием той же экспериментальной методики. Данный метод позволяет также определить критический ток отдельных частиц порошка ВТСП керамики.

Методы измерения

Метод Кемпбелла для определения плотности тока путем измерения полного магнитного потока в образце [4] состоит в следующем. Образец в форме цилиндра помещается в область однородного постоянного магнитного поля $H \gg H_{c1}$, на которое накладывается синусоидальное магнитное поле малой амплитуды h_0 . Компенсация паразитного сигнала, который возникает в результате изменения магнитного поля в пространстве между поверхностью образца и витками приемной катушки, проводится с помощью второй катушки, расположенной на некотором расстоянии от образца. Возникающее при увеличении h_0 изменение плотности магнитного потока внутри сверхпроводящего образца, которое связано с глубиной проникновения x магнитного поля в образец, регистрируется приемной катушкой. Зная пространственное распределение магнитной индукции в образце $b(x)$ и воспользовавшись моделью Бина [5], можно определить плотность критического тока в каждой точке образца

$$J_c = \frac{1}{\mu_0} \frac{db}{dx}.$$

Предлагаемый нами метод определения J_c в слабых магнитных полях основывается на анализе отклика образца на переменное магнитное поле $h(t) = h_0 \sin \omega t$ в отсутствие постоянного магнитного поля. После проведения компенсации при малой амплитуде модулирующего поля $h_0 \sim 0.1$ Э напряжение в приемной катушке