

СТАБИЛЬНЫЕ ОБРЫВЫ ТОКА ПРИ РАЗРЯДЕ ЧЕРЕЗ ПЛАЗМУ, СОЗДАННУЮ ХеСІ ЛАЗЕРОМ

А. Н. Панченко, В. Ф. Тарасенко

В настоящее время исследованиям процессов, обуславливающих проводимость при протекании тока через вакуумный промежуток, уделяется большое внимание. Результаты таких исследований используются при создании источников электронных пучков [1], вакуумных коммутаторов [2], плазменных прерывателей тока [3, 4] и т. п.

Данная работа посвящена исследованию обрывов тока при разряде в вакууме через плазму, созданную излучением УФ лазера.

Обрывы тока при вакуумном пробое исследовались в [5, 6], однако в известных работах, по-видимому, из-за нестабильного поступления плазмы в промежуток обрывы тока наблюдались в различные моменты времени и при существенно отличающихся амплитудах разрядного тока. Применение рубинового лазера для инициирования вакуумного пробоя не привело к обрывам тока при вакуумном разряде [7].

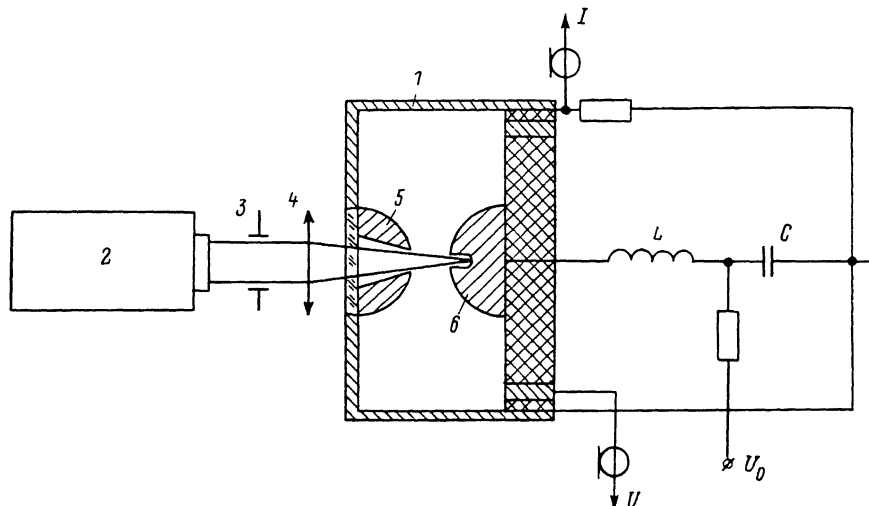


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — вакуумная камера, 2 — ХеСІ лазер [8], 3 — диафрагма, 4 — линза, 5 — заземленный электрод с отверстием, 6 — потенциальный электрод.

В настоящей работе показано, что при использовании для образования плазмы ХеСІ лазера ($\lambda=308$ нм), подборе энергии излучения и условий фокусировки удается реализовать стабильные обрывы тока. Разброс времени запаздывания и амплитуды тока разряда, при которых наблюдались обрывы, не превышал $\sim 10\%$.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. В вакуумную камеру 1, откачиваемую паромасляным насосом до давления $p=10^{-5}$ Тор, помещались электроды 5, 6. Лазерное излучение эксимерного лазера [8] фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 10 см и через кварцевую пластинку и отверстие в электроде 5 направлялось на потенциальный электрод 6. Применялись два типа потенциальных электродов — со сферической поверхностью и с коническим углублением в месте фокусировки. Потенциальный электрод соединялся с емкостью $C=8.0$ нФ, индуктивность разрядного контура равнялась ~ 2.5 мкГ. Напряжение на промежутке изменялось от 100 В до 25 кВ. Ток через промежуток определялся с помощью шунта, а импульсное напряжение, возникающее при обрывах тока, регистрировалось емкостным делителем. Величина энергии излучения лазера, фокусируемого на потенциальный электрод, могла изменяться диафрагмой 3.

Исследования разряда через плазму, созданную излучением ХеСІ лазера, дали следующие результаты.

При фокусировке лазерного излучения на поверхность сферического электрода нарастание тока через промежуток было аналогично наблюдаемому при вакуумном пробое, иници-

рованном излучением рубинового лазера [7]. Отметим, что для плазмы при такой фокусировке характерны сферический разлет и неоднородность в продольном и поперечном сечении.

При фокусировке лазерного излучения в углубление на катоде при подборе энергии лазерного излучения наблюдались стабильные обрывы тока. Отличительной чертой данной

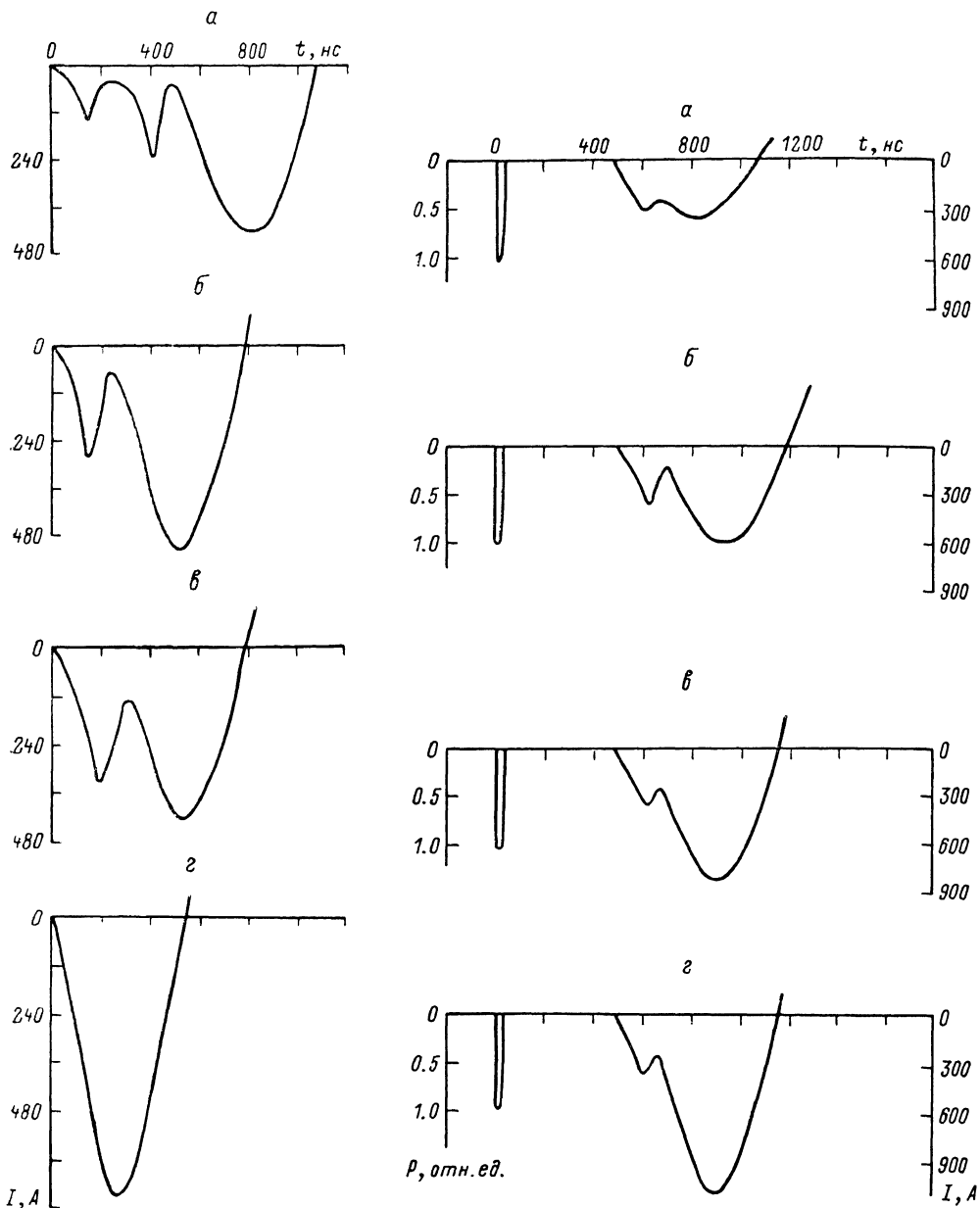


Рис. 2. Осциллограммы импульсов тока при энергиях лазерного излучения $Q=2.5$ (а), 4.5 (б), 7 (в), 8.5 мДж (г) и напряжений на промежутке $U_0=25$ кВ. Потенциальный электрод изготовлен из алюминия, величина разрядного промежутка 9.5 мм.

Рис. 3. Осциллограммы импульсов тока при зарядных напряжениях $U_0=10$ (а), 15 (б), 20 (в) и 25 кВ (г). $Q=7$ мДж, потенциальный электрод изготовлен из алюминия, величина промежутка 4.5 мм.

фокусировки было формирование цилиндрической струи плазмы с диаметром, примерно равным диаметру углубления на катоде, и увеличение скорости распространения плазмы до ~ 20 км/с. Скорость распространения плазмы определялась из интервала времени между образованием плазмы на электроде и началом роста тока через промежуток, увеличение ско-

рости плазмы происходило за счет эффекта кумуляции. Перемыкание промежутка струей плазмы доказывалось тем, что время начала роста тока при постоянной энергии лазерного излучения $Q \sim 7$ мДж не зависело от напряжения, прикладываемого к промежутку. Отметим также, что предпробойный ток, который связан с площадью эмиттирующей поверхности, был большим при фокусировке излучения на электрод без углубления и что при фокусировке лазерного излучения на электроде образовывалась не только плазма, но и происходило одновременное испарение электрода и разлет нейтральных атомов.

На рис. 2 приведены осциллограммы тока через промежуток для различных энергий лазерного излучения Q . При малых энергиях $Q < 2$ мДж перемикания промежутка в данных условиях не наблюдалось (величина зазора между электродами 9.5 мм, напряжение ≤ 25 кВ). Увеличение энергии излучения приводило к увеличению концентрации ионов и нейтралов в струе, а также скорости их движения. При $Q \sim 2.5$ мДж на осциллограмме тока начинали появляться обрывы, которые приводили к увеличению напряжения на промежутке. Однако в этом случае амплитуда тока, при которой начинался обрыв, могла изменяться и наблюдалось несколько обрывов на одной осциллограмме (рис. 2, а). Увеличение энергии излучения до 4.5 мДж привело к увеличению тока, при котором формировались обрывы, и к стабилизации этого процесса. Дальнейшее увеличение энергии лазерного излучения давало возрастание тока, при котором на осциллограмме наблюдался обрыв, но при $Q > 7$ мДж скорость обрыва уменьшалась. При $Q \geq 8.5$ мДж (рис. 2, в) обрывы тока при разряде через плазму, созданную излучением лазера, не наблюдались. Таким образом, стабильные обрывы тока наблюдаются при определенной энергии лазерного излучения, что можно связать с определенной начальной концентрацией плазмы и нейтралов.

На рис. 3 приведены осциллограммы тока при различных напряжениях на промежутке и фиксированной энергии излучения лазера. Видно, что изменение начального напряжения практически не оказывает влияния на амплитуду тока, при которой формируется обрыв. Т. е. этот эксперимент подтверждает вывод, сделанный выше, о необходимости создания плазмы с определенной концентрацией.

Исследование влияния материала потенциального электрода на характер протекания тока через промежуток показало, что из трех исследованных материалов (алюминий, нержавеющей стали и латуни) наибольшей скорости обрыва тока у алюминия (до 10^{10} А/с при $dj/dt \sim 3 \cdot 10^{11}$ А/см²). Скорость обрыва тока уменьшалась при использовании электрода из нержавеющей стали и была наименьшей с потенциальным электродом из латуни.

Обсудим полученные результаты. Пробой вакуумного промежутка, инициируемый лазерным излучением, может быть объяснен в рамках модели, изложенной в [9], и связан с формированием пробоя в парах, поступающих в промежуток из лазерной искры на поверхности электрода. Обрывы тока, протекающего через промежуток, закороченный струей плазмы, и соответствующие выбросы напряжения связаны с формированием в плазме двойного слоя при достижении критического тока [6, 10]

$$I_{кр} \approx Snev,$$

где S — площадь, через которую протекает ток; n, v — концентрация и тепловая скорость электронов в плазме. Мы полагаем, что на формирование двойного слоя оказывают влияние следующие процессы. Замедление скорости роста тока через промежуток обусловлено ~ 100 %-ной ионизацией плазмы (нейтралов) в струе, перемкнувшей промежуток. Кроме того, уменьшение тока может происходить вследствие уменьшения вероятности ионизации атомов и молекул при энергиях электронов ≥ 100 эВ [11]. При замедлении скорости роста тока через промежуток напряжение на промежутке увеличивается, а это в свою очередь уменьшает вероятность ионизации. Данное предположение подтверждают все вышеизложенные экспериментальные результаты.

При фокусировке излучения лазера на поверхность электрода и сферическом разлете плазмы обрывов тока не наблюдалось, так как в этом случае плазма неоднородна и условия для обрыва не создаются одновременно по любому поперечному сечению вакуумного про-

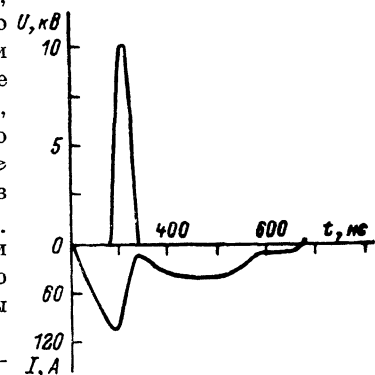


Рис. 4. Осциллограммы импульсов тока и напряжения. $U_0=5$ кВ, $Q=6$ мДж, величина промежутка 9.5 мм, потенциальный электрод изготовлен из алюминия.

межутка. При фиксированной энергии излучения лазера величина тока обрыва остается постоянной, поскольку начальная концентрация плазмы и нейтралов не меняется, а обрывы наступают при $\sim 100\%$ ной ионизации плазмы и нейтралов в промежутке. Увеличение энергии лазерного излучения приводит к увеличению концентрации плазмы и нейтралов, соответственно увеличивается ток обрыва (критический ток). Отметим, что, по-видимому, имеется оптимальная концентрация плазмы и нейтралов для получения максимальных скоростей обрыва тока. Применение электродов из металлов с меньшим атомным номером (для полной ионизации надо оторвать от атома меньшее количество электронов и легкие атомы имеют более резкую границу между первым и последующими потенциалами ионизации) позволяет получать большие скорости обрыва тока.

Рост проводимости в промежутке после обрыва тока можно связать с поступлением в промежуток паров и плазмы катодного и анодного факелов, которые образуются при протекании тока. При увеличении межэлектродного зазора и (или) уменьшении зарядного напряжения реализуются обрывы тока без последующего пробоя. Осциллограммы импульсов напряжения и тока для такого режима показаны на рис. 4. Ток после обрыва составляет $\sim 30\%$ от максимального и уменьшается за время ~ 500 нс. Выброс напряжения на данной осциллограмме превышал зарядное напряжение в 2 раза.

Таким образом, в плазме, создаваемой лазерным излучением, можно получать стабильные обрывы тока.

Авторы благодарят Б. М. Ковальчука за инициирование данной работы и полезные обсуждения.

Литература

- [1] Месля Г. А. Сильноточные импульсные электронные пучки в технологии. Новосибирск: Наука, 1973. 169 с.
- [2] Месля Г. А., Проскуровский Д. И. Импульсный электрический разряд в вакууме. Новосибирск: Наука, 1984, 256 с.
- [3] Ottinger P. F., Goldstein S. A., Meger R. A. J. Appl. Phys., 1984, v. 56, N 3, p. 774—784.
- [4] Ковальчук Б. М., Месля Г. А. ДАН СССР, 1985, т. 284, № 4, с. 857—859.
- [5] Мжеидзе Г. П., Плюто А. А., Корон Е. Д. ЖТФ, 1971, т. 41, № 5, с. 952—962.
- [6] Луценко Е. И., Середа Н. Д., Корон Е. Д. ЖТФ, 1975, т. 45, № 4, с. 789—796.
- [7] Бульгин В. С., Лебедев В. Б., Пряникова Г. А. и др. ЖТФ, 1975, т. 45, № 4, с. 892—895.
- [8] Мельченко С. В., Панченко А. Н., Тарасенко В. Ф. Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 3, с. 171—175.
- [9] Сливков Н. Н. Процессы при высоком напряжении в вакууме. М.: Энергоиздат, 1986. 256 с.
- [10] Иваненков Г. В. Препринт ФИАН № 318. М., 1985.
- [11] Смирнов Б. М. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. М.: Атомиздат, 1968.

Институт сильноточной электроники
СО АН СССР
Томск

Поступило в Редакцию
12 июня 1987 г.

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ВЫЗВАННЫЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ И ВЯЗКОЙ ВОЛНЫ В ОРИЕНТИРОВАННОМ СЛОЕ НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

Д. И. Анисеев, Ю. В. Бочаров, А. Д. Вужва

В настоящей работе исследуется оптический отклик гомеотропно ориентированного слоя нематического жидкого кристалла (НЖК) на воздействие поверхностной акустической волны (ПАВ) при дополнительном когерентном возбуждении в слое вязкой волны. Такое комбинированное воздействие приводит к существенному изменению характера оптического отклика по сравнению с обычным ультразвуковым воздействием [1^{-3}].