

04;05;07;12

Исследование электропроводности лазерной плазмы, возбуждаемой вблизи поверхности керамики

© А.В. Градобоев

Томский политехнический университет

E-mail: grad@media.tomsk.su

Поступило в Редакцию 26 декабря 2000 г.

Представлены результаты исследований электропроводящих свойств лазерной плазмы, возбуждаемой вблизи поверхности керамики 22ХС импульсным лазерным излучением, при наложении внешних электрических полей, которые направлены перпендикулярно падению лазерного излучения.

В зависимости от плотности лазерного излучения обнаружено существование трех характерных областей: область отсутствия лазерной плазмы с электропроводящими свойствами; область существования электропроводящей плазмы, ток которой изменяется пропорционально плотности мощности излучения и квадрату напряженности внешнего электрического поля; область существования электропроводящей плазмы, ток которой изменяется пропорционально плотности мощности излучения и напряженности внешнего электрического поля.

К настоящему времени известно достаточно большое количество работ по исследованию различных характеристик плазмы, возбуждаемой лазерным излучением вблизи поверхности тел [1–4]. При этом следует отметить, что основное количество работ посвящено исследованию рентгеновских [4], оптических [5–6] и теплофизических [7] свойств такой плазмы. Существенно меньшее количество работ посвящено исследованию свойств лазерной плазмы в электрических полях [8].

При воздействии импульсного лазерного излучения на поверхность твердого тела наблюдается формирование плазмы из ионов окружающей среды и/или ионов вещества мишени вблизи поверхности. Сформированный таким образом плазменный факел через некоторое время начинает распадаться за счет диффузии компонентов плазмы в окружающую среду и/или их абсорбции на поверхности мишени. Наложение внешних электрических полей на область существования плазменного факела приводит к концентрации компонентов плазмы на соответствующих

электродах в зависимости от электрических характеристик этих компонентов и позволяет контролировать процессы разрушения факела. Практическое использование описанных выше процессов разложения плазменного факела, контролируемых электрическими полями, позволяет повысить эффективность и качество обработки различных мишеней, снизить вероятность обратного осаждения испаренного материала мишени.

Целью данной работы является исследование электропроводности лазерной плазмы, возбуждаемой вблизи поверхности керамики, при наложении внешних электрических полей.

В качестве объекта исследования в данной работе использовалась лазерная плазма, возбуждаемая вблизи поверхности широко используемой керамики 22ХС импульсным лазерным излучением с длиной волны $1,06 \mu\text{m}$, длительностью импульса 1 ns и плотностью мощности (W_p) в диапазоне от $3 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$. Используемые нами плотности мощности излучения не приводили к разрушению керамических образцов и металлических электродов. Плотность мощности импульсного лазерного излучения изменялась как путем фокусировки лазерного пучка, так и изменением режима работы лазера. Эксперименты проводились при атмосферном давлении и комнатной температуре, а в качестве окружающей среды выступал атмосферный воздух. Используемые образцы керамики 22ХС имели прямоугольную форму.

На рис. 1 представлена блок-схема установки, которая использовалась при проведении исследований. Керамический образец 1, изготавливаемый из керамики 22ХС, устанавливался между электродами 2 и 3, на которые подавалось напряжение питания от источника 4. Изменением напряжения питания и геометрических размеров образца 1 можно изменять напряженность электрического поля, прикладываемого к исследуемому образцу, в достаточно широких пределах. Импульсное лазерное излучение от источника 5 падает на поверхность исследуемого образца перпендикулярно направлению напряженности электрического поля. Ток плазмы регистрировался запоминающим осциллографом 6 как падение напряжения на прецизионном токовом сопротивлении R_T . Синхронизация работы источника лазерного излучения и запоминающего осциллографа осуществлялась с помощью блока синхронизации 7. Следует особо отметить, что во всех экспериментах площадь пучка лазерного излучения существенно превышала площадь исследуемого образца вместе с металлическими электродами.

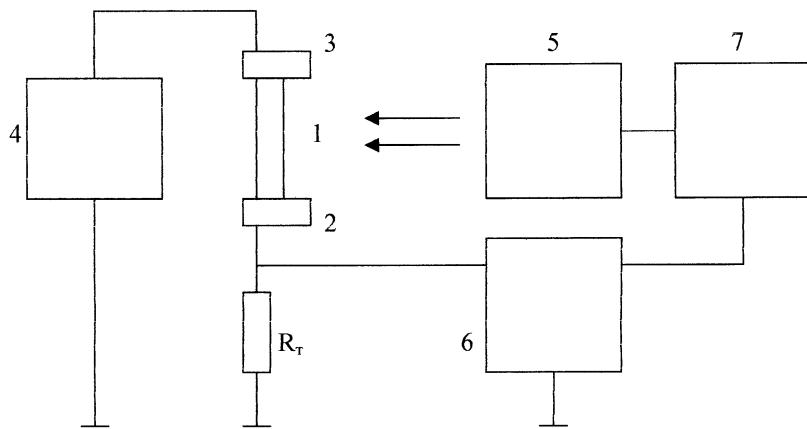


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования электропроводящих свойств лазерной плазмы во внешнем электрическом поле.

Электропроводность лазерной плазмы, возбуждаемой вблизи поверхности керамического образца, характеризовали током плазмы, величина которого определяется амплитудным значением тока, протекающего через плазму при данной напряженности электрического поля и данной плотности мощности лазерного излучения. Временные характеристики релаксации тока плазмы являются предметом отдельного рассмотрения и выходят за рамки данной работы.

На рис. 2 представлены зависимости тока плазмы от плотности мощности лазерного излучения для различных значений напряженности электрического поля, прикладываемого к плазме. Как видно из представленных зависимостей, существует ярко выраженный порог возникновения плазмы с электропроводящими свойствами, величина которого составляет $7 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$. Кроме того, из представленных зависимостей видно, что ток плазмы изменяется прямо пропорционально плотности мощности лазерного излучения.

Представляет определенный интерес исследование зависимости тока плазмы от напряженности электрического поля. На рис. 3 представлены такие зависимости для различных значений плотности мощности лазерного излучения. Как видно из представленных результатов, су-

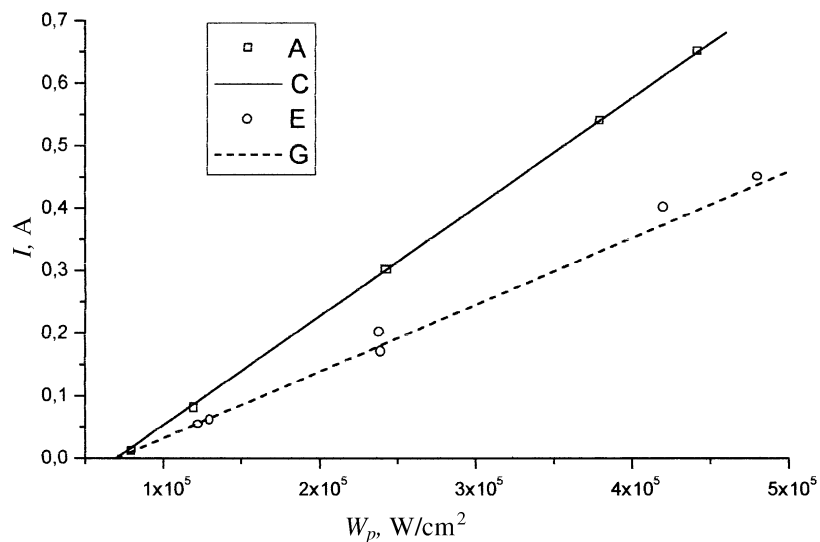


Рис. 2. Зависимость тока плазмы, возбуждаемой лазером вблизи поверхности керамики 22ХС, от плотности мощности лазерного излучения для различных значений напряженности электрического поля. *A, C* — 15 V/cm; *E, G* — 7.5 V/cm. Линии — результат статистической обработки экспериментальных данных.

существует область значений плотности мощности лазерного излучения, где ток плазмы изменяется пропорционально квадрату напряженности электрического поля, и соответственно область значений плотности мощности, где ток плазмы изменяется пропорционально напряженности электрического поля. На рис. 3, *a* представлена зависимость тока плазмы от напряженности электрического поля в области плотностей мощности, где ток плазмы изменяется пропорционально квадрату напряженности электрического поля. На рис. 3, *b* представлены аналогичные результаты для области плотностей мощности, где ток плазмы изменяется пропорционально напряженности электрического поля. Выполненные нами исследования позволили четко определить границы выявленных таким образом характерных областей существования плазмы с электропроводящими свойствами.

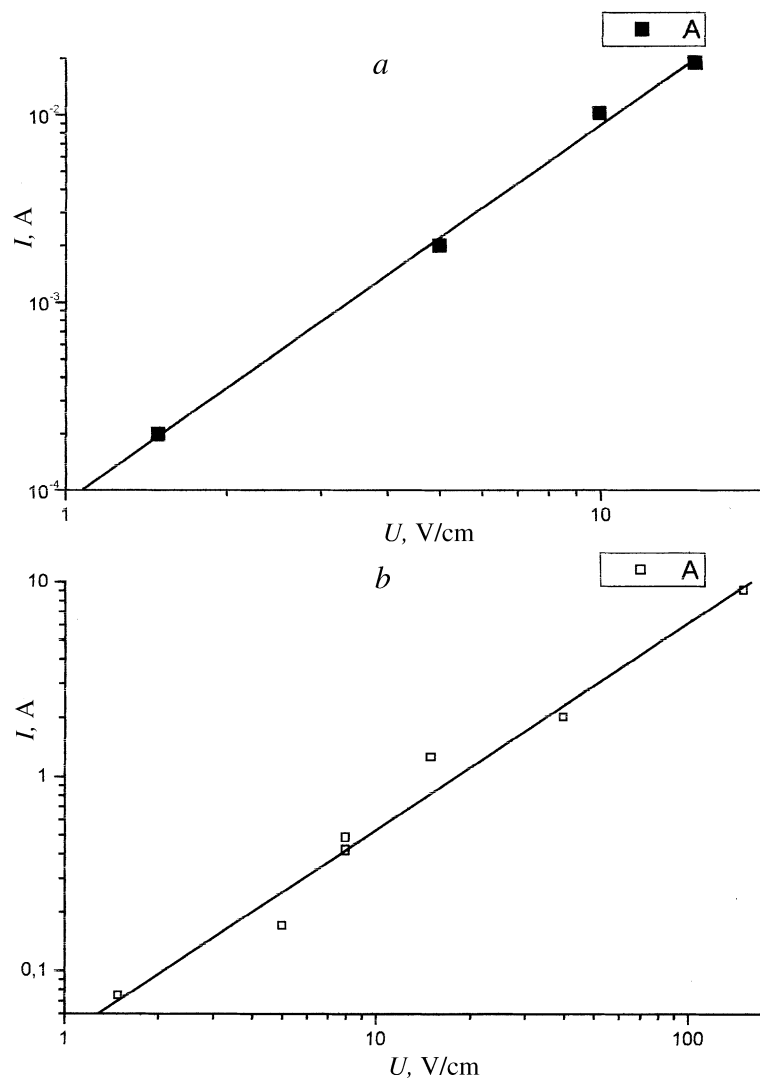


Рис. 3. Зависимость тока плазмы от напряженности приложенного электрического поля: *a* — область II, $W_p = 8.7 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$; *b* — область III, $W_p = 4.7 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$.

В заключение сформулируем основные результаты и выводы, полученные в данной работе. На основании выполненных исследований выявлены три характерные области существования лазерной плазмы с электропроводящими свойствами:

1. Область I — плотность мощности импульсного лазерного излучения $W_p < 7 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$. Плазма с электропроводящими свойствами вблизи поверхности керамики 22ХС не возбуждается.

2. Область II — $7 \cdot 10^4 < W_p < 1 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$. Возбуждается электропроводящая плазма. Ток плазмы изменяется прямо пропорционально плотности мощности излучения и прямо пропорционально квадрату напряженности электрического поля.

3. Область III — $W_p > 1 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$. Возбуждается электропроводящая плазма. Ток плазмы изменяется прямо пропорционально плотности мощности лазерного излучения и прямо пропорционально напряженности электрического поля. Вплоть до $W_p = 1 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$ характер поведения тока плазмы не изменяется.

В дальнейшем необходимо выполнить исследования временных характеристик изменения тока плазмы, а также зависимости электропроводности плазмы от длительности и длины волны импульсного лазерного излучения.

Список литературы

- [1] Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир, 1974. 470 с.
- [2] Султанов М.А. // Докл. АН ТаджССР. 1986. Т. 29. № 10. С. 598–601.
- [3] Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Физ. плазмы. 1988. Т. 14. № 6. С. 761–764.
- [4] Kanja D.R. // J. Appl. Phys. 1989. V. 66. N 5. P. 1935–1939.
- [5] Autric M., Vigliano P., Astic D., Bournet P., Dufresne D. // Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. 1988. V. 1020. P. 103–112.
- [6] Подвязников В.А., Тюрин Е.Л., Чевокин В.К. // Препр. АН СССР. Ин-т общ. физ. 1988. № 110. С. 1–30.
- [7] Анучин М.Г., Воленко В.В. // Квантовая электрон. (Москва). 1989. Т. 16. № 2. С. 311–316.
- [8] Волков В.П., Скиба П.А., Сечко А.Г. // Весці АН БССР. Сер. Фіз-мат. н. 1992. № 2. С. 65–71.