

Генерация неидеальной плазмы при микро- и наносекундном пробое твердых диэлектриков.

С.В. Баряхвостов, Ю.Н. Вершинин

Институт электрофизики Уральского отделения РАН, e-mail: lfid@iep.uran.ru

Импульсный пробой конденсированных диэлектрических сред является одним из эффективных электрических способов генерации неидеальной плазмы [1]. В силу ряда причин [2] наиболее изученными в этом отношении являются процессы при пробое твердых диэлектриков импульсами высокого напряжения микросекундной длительности. В то же время, первые экспериментальные исследования генерации плазмы с использованием наносекундных импульсов напряжения [3] выявили ряд качественно новых закономерностей этого процесса.

Так, для микросекундного диапазона импульсов характерным является генерация преимущественно однозарядной плазмы на завершающей дуговой стадии пробоя с параметрами неидеальности $0,5 < \Gamma < 2$. В свою очередь это требует определенных запасов энергии в импульсном источнике. Процессы на стадии распространения канала разряда в связи с малой энергонасыщенностью при этом не рассматривались. Скорости расширения каналов пробоя при этом были дозвуковыми.

При наносекундном пробое, наоборот, плазма с высокой кратностью ионизации с параметрами неидеальности $\Gamma > 20$ генерируется преимущественно на первой стадии. Дуговая стадия при этом играет второстепенную роль. Скорости расширения головной части разряда являются сверхзвуковыми. Исходя из законов сохранения в первом случае сжимаемость плазмы $\delta = \rho_n / \rho_0 < 1$, а во втором $\delta > 1$. В этих условиях совместное воздействие сильных электрических полей и ударного сжатия области фазового перехода обеспечивает возникновение плазмы с высокой кратностью ионизации [4].

Высказанные выше положения иллюстрируются результатами экспериментальных исследований ударно-волновых процессов, состава плазмы, расчетными методиками определения её параметров. Проведено сопоставление параметров плазмы с их аналогами в детонационном приближении, а также полученных при различных интервалах воздействия напряжения.

Работа выполнена в рамках комплексной программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Теплофизика и механика интенсивных энергетических воздействий».

Литература

- [1] Фортов В.Е., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы, М., Физматлит, 2004, с.528.
- [2] Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов, СПб., Наука, 1993, с.267.
- [3] Баряхвостов С.В., Вершинин Ю.Н., Ефремов В.П. и др. Физика экстремальных состояний вещества, Черноголовка 2005, с.208-210.
- [4] Вершинин Ю.Н., Ильичев Д.С., Морозов П.А. ЖТФ, 2000, т.70, в.1 с.85-87.

GENERATION OF NONIDEAL PLASMA DURING MICRO- AND NANOSECOND BREAKDOWN OF SOLID DIELECTRICS.

S.V. Barakhvostov, Yu.N. Vershinin

Institute of Electrophysics, Ural Branch RAS, e-mail: lfid@iep.uran.ru

The pulsed breakdown of condensed dielectric media is one of efficient electrical methods for generation of nonideal plasma [1]. For some reasons [2], processes, which take place during breakdown of solid dielectrics by high-voltage microsecond pulses, have received the most study in this respect. At the same time, pioneering experimental studies of the plasma generation involving nanosecond voltage pulses [3] revealed some qualitatively new features of this process.

For example, a characteristic feature of microsecond pulses is generation of predominantly single-charge plasma at the final arc stage of the breakdown with imperfection parameters being $0.5 < \Gamma < 2$. Therefore, the pulse source should offer some spare energy. Processes, which take place during propagation of the discharge channel, were not considered since the energy content was small. Breakdown channels expanded at a subsonic velocity.

In the case of a nanosecond breakdown, plasma having a high degree of ionization and imperfection parameters $\Gamma > 20$, is generated predominantly at the first stage. The arc stage is of secondary significance here. The head of the discharge expands at a supersonic velocity. Considering the laws of conservation, compressibility of the plasma is $\delta = \rho_n / \rho_o < 1$ in the first case and $\delta > 1$ in the second case. In these conditions, the joint effect of strong electric fields and the shock compression of the phase transformation region ensures generation of plasma with a high degree of ionization [4].

The above statements are illustrated by results of experimental studies into shock-wave processes and the plasma composition, and methods for calculation of plasma parameters. Parameters of the plasma were compared with their counterparts obtained in the detonation approximation and those determined over different intervals of the voltage effect.

This study was performed under the basic research program "Thermal Physics and Mechanics of Intensive Energy Effects" of the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

References

- [1] Fortov V.E., Khrapak A.G., Yakubov I.T. Physics of Nonideal Plasma, Moscow, Fizmatlit, 2004, 528 p.
- [2] Semkin B.V., Usov A.F., Kurets V.I. Principles of Electric Pulse Destruction of Materials, St. Petersburg, Nauka, 1993, 267 p.
- [3] Barakhvostov S.V., Vershinin Yu.N., Efremov V.P. et al. Physics of Extreme States of Matter, Chernogolovka, 2005, pp. 208-210.
- [4] Vershinin Yu.N., Iljichev D.S., Morozov P.A. Zh.Tekh.Fiziki, 2000, v. 70, No. 1, pp. 85-87.