Развитие импульсных нано- и пикосекундных разрядов в жидкостях

А. Стариковский

Университет Принстон, Принстон, США, astariko@princeton.edu

Три возможных механизма распространения разряда в жидкостях играют важную роль в зависимости от длительности импульса. Электростатический механизм превалирует, когда "длинный" (микросекунды) электрический импульс приложен в непроводящей жидкости: в результате электростатического отталкивания происходит формирование каналов низкой плотности. Разряд при этом развивается в таких областях с пониженной плотностью [1]. Во втором случае, в условиях «промежуточных» (наносекундных) электрических импульсов, электростатические силы поддерживают расширение наноразмерных пустот за фронтом волны ионизации. Во фронте волны ионизации сильное электрическое поле (десятки мегавольт на сантиметр) обеспечивает значительное отрицательное давление в диэлектрической жидкости из-за действия электрострикционных сил, образуя микро-пустоты в сплошной среде [2, 3]. Наконец, в третьем случае, когда используется "короткий" (пикосекундная длительность) электрический импульс, области пониженной плотности не могут сформироваться из-за крайне малой длительности приложенного электрического импульса. Ионизация в жидкой фазе происходит в результате прямого электронного удара. Увеличение энергии электронов происходит при ускорении электронов внешним электрическим полем, сравнимым с внутримолекулярными полями без понижения плотности среды и фазовых переходов. В этом случае разряд распространяется со скоростью, сравнимой с локальной скоростью света [4, 5].

Различия в развитии наносекундного разряда в жидких диэлектриках с разными величинами диэлектрической проницаемости показывают значительное снижение порога пробоя для разряда в воде по сравнению с разрядом в гексане и спирте, что может быть объяснено образованием микро-разрывов в сплошной среде в процессе электрострикционного сжатия и последующего разрежения в жидкостях с высокими величинами диэлектрической проницаемости. В двух других случаях — для «длинных» микросекундных и "коротких" пикосекундных импульсов — диэлектрическая проницаемость жидкости играет лишь незначительную роль в процессе формирования разряда.

Литература

1. P. Bruggeman and C. Leys. Non-thermal plasmas in and in contact with liquids. J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 053001 (28pp)
2. A. Starikovskiy. Pulsed nanosecond discharge development in liquids with various dielectric permittivity constants. Plasma Sources Sci. Technol. 22 (2013) 012001 (5pp)
3. M. Shneider, M. Pekker and A.Fridman. Theoretical Study of the Initial Stage of Sub-nanosecond Pulsed Breakdown in Liquid Dielectrics. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 19, No. 5; October 2012. 1579.
4. A. Starikovskiy, Y. Yang, Y. Cho, A. Fridman. Nonequilibrium Plasma in Liquid Water - Dynamics of Generation and Quenching. Plasma Sources Sci. Technol. 20 (2011) 024003.
5. A. Starikovskiy, Y. Yang, Y. Cho, A. Fridman. Nonequilibrium liquid plasma generation. IEEE Transactions on Plasma Science. V 39. N 11. 2011. pp. 2668-2669.