О Некоторых трудностях интерпретации Экспериментов по Электровзрыву тонких проволочек

Романова В.М., Иваненков Г.В., Мингалеев А.Р., Тиликин И.Н., Тер-Оганесьян А.Е., Шелковенко Т.А., Пикуз С.А.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, vmr@inbox.ru

Многолетние исследования электрического взрыва проводников (ЭВП) способствовали появлению большого количества важных практических приложений этого явления — от производства нанопорошков до УТС. Тем не менее, собственно физика протекающих при ЭВП процессов до сих пор остаётся в значительной степени не прояснённой. Большая скорость и сложность фазовых переходов, сопровождающих быстрый нагрев металла, усугубляются невозможностью их непосредственного наблюдения средствами современной экспериментальной техники. Изображающие диагностики (радиография высокого разрешения, лазерное зондирование) и интерферометрия хорошо работают на более поздних стадиях разряда; в значительной степени с их помощью была выявлена одна из основных особенностей ЭВП — формирование долгоживущей структуры «керн–корона» [1], а также изучена её зависимость от параметров разряда и материала проводника [2–4]. Однако о фазовом состоянии вещества керна часто судят по величине энерговклада, измеренного на резистивной стадии нагрева, без какого-либо анализа изображений продуктов взрыва. Отчасти это связано с наличием объективных трудностей при интерпретации таких изображений: оптические теневые фотографии практически всегда в определённой степени оказываются также и шлирен-изображениями, и различить на них поглощение и рефракцию довольно сложно. Но помимо этого, нередко имеет место следование упрощённым представлениям о фазовой трансформации вещества как о простой последовательности процессов *нагрев–плавление–испарение*, протекающих во всём объёме проводника. Превышение энерговкладом энергии атомизации материала нагрузки считается достаточным доказательством того, что проволочка претерпела полное испарение [5]. При этом, по сути, игнорируется присутствие страт и неоднородностей в непрозрачной приосевой области на соответствующих изображениях керна, хотя это явно противоречит гипотезе о нахождении объекта в состоянии пара.

Детальный анализ существующих экспериментальных данных показывает, что в режиме быстрого электровзрыва полностью испарить вещество нагрузки обычно не удаётся даже в случае такого легкоплавкого и «легкоиспаримого» металла как серебро. В процессе импульсного нагрева, помимо газовой фазы, образуется также определённое количество взвеси микрокапель и более сложных структур (трубки, пена с жидкими перегородками и др.), а сам керн наблюдается нередко в форме полой оболочки.

Литература.

1. Г.В. Иваненков, А.Р. Мингалеев, С.А. Пикуз, В.М. Романова, В. Степневски, Д. Хаммер, Т.А. Шелковенко. ЖЭТФ, т. 114, вып. 4(10), с. 1216–1229 (1998).
2. K.M. Chandler, D.A. Hammer, D.B. Sinars, T.A. Shelkovenko, S.A. Pikuz. IEEE Transactions on Plasma Science, v. 30(2) p. 577 (2002).
3. G.S. Sarkisov, K.W. Struve, D.H. McDaniel. Phys. Plasmas 11(10), p. 4573–4581 (2004).
4. В.М. Романова, Г.В. Иваненков, А.Р. Мингалеев, А.Е. Тер-Оганесьян, Т.А. Шелковенко, С.А. Пикуз. Физика плазмы, т. 41(8), с. 671–692 (2015).
5. J. Wu, X. Li, Y. Lu, S.V. Lebedev, Z. Yang, S. Jia, and A. Qiu. Phys. Plasmas 23, 112703 (2016);
H. Shi, X. Zou, and X. Wang. Appl. Phys. Lett. 109, 134105 (2016).