

Кинетика интенсивности спектральных линий свинца и олова в лазерной абляционной плазме

К.Ф. Ермалицкая, Ф.А. Ермалицкий

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: ermalitskaia@gmail.com

Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия, основанная на лазерной абляции вещества и взаимодействии лазерных импульсов с распространяющимся парогазовым облаком, является одним из наиболее перспективных методов малодеструктивного элементного анализа. Значительная часть методик количественного анализа базируется на предположении, что имеет место локальное термодинамическое равновесие и абляционная плазма имеет пространственную и временную однородность в процессе регистрации сигнала. Однако нередко параметры лазерного излучения (энергия импульсов и временной интервал между сдвоенными лазерными импульсами) оказывают значительное влияние на линейность градуировочных графиков и погрешность анализа. В качестве возможных причин указываются особенности взаимодействия лазерных импульсов с поверхностью образца и плазмой, в том числе экранировка поздних стадий импульса передним фронтом абляционной плазмы. Для выявления точного механизма этого взаимодействия и снижения погрешности анализа необходимо детально исследовать процесс эволюции эрозионного парогазового облака.

Для одновременного измерения разрешенных во времени спектров и кинетики интенсивности спектральных линий был разработан спектрально-кинетический регистратор, работающий в специальном режиме временного стробирования. Для измерения кинетики свечения лазерной плазмы регистрировалась серия спектров с увеличивающимся временным сдвигом начала регистрации. Принцип работы регистратора основан на последовательных измерениях (строб-выборках) спектрально разделенных M кривых высвечивания исследуемого образца фотодетектором на базе многоэлементной ПЗС-линейки с M фоточувствительными элементами. Для преодоления ограничений по ее быстродействию (стандартная длительность ее единичного цикла измерения/считывание составляет около 10 мс) за одну вспышку лазера формируется только одна строб-выборка; за последующие вспышки последовательно формируются единичные строб-выборки с заданным временным шагом. В итоге после N -вспышек лазера в регистраторе накапливается временной профиль M кривых высвечивания атомно-эмиссионной плазмы, каждый из которых состоит из N -точек. Для уменьшения статистической погрешности измерений возможно последовательное суммирование спек-

тральных и кинетических кривых. Данный регистратор реализован как дополнительный измерительный канал к серийному лазерному атомно-эмиссионному спектрометру LSS-1 (производства белорусско-японского предприятия «LOTIS ТП»).

Объектами исследования являлись образцы чистых металлов – свинца и олова, двухкомпонентный сплав ПОС40 (40 % олова и 60 % свинца), а также латунь (0,3 % олова и 1,5 % свинца) и оловянистая бронза (10 % олова и 0,3 % свинца). Источником испарения вещества и возбуждения плазмы являлся двухимпульсный Nd:YAG-лазер с длиной волны 1064 нм, длительностью импульсов – 15 нс, частотой повторения – 10 Гц. Энергия каждого из сдвоенных импульсов составляла 70 мДж, межимпульсный интервал – 0 мкс (2 импульса воздействуют на поверхность одновременно), 1, 3, 5 и 10 мкс. Регистрация кинетики спектральных линий свинца 405 нм и олова 452 нм начиналась спустя 1 мкс после второго импульса из сдвоенных, чтобы избежать регистрации свечения переднего фронта плазмы, расширяющейся со сверхзвуковыми скоростями в воздухе.

Исследования показали, что при абляции чистых металлов кинетика интенсивности линий может быть описана экспоненциальной зависимостью, причем наиболее высокие коэффициенты детерминации такой аппроксимации, а также минимальные времена затухания, имеют место при межимпульсном интервале 1 мкс. При увеличении межимпульсного интервала до 10 мкс, времена затухания интенсивности линий) увеличиваются до уровня, наблюдающегося при одноимпульсной лазерной абляции, однако одновременно происходит и отклонение кинетики от экспоненциальной зависимости.

При одноимпульсной абляции сплавов кинетика интенсивности спектральных линий тоже может быть описана экспоненциальной зависимостью, однако коэффициенты детерминации, оказываются ниже, чем при абляции чистых металлов. Следовательно, на скорость затухания свечения спектральных линий элемента существенное влияние может оказать взаимодействие его возбужденных атомов с другими компонентами плазмы. Тем не менее общие закономерности кинетики остаются неизменными. При переходе к двухимпульсной абляции дополнительное возбуждение вторым импульсом а приводит к увеличению пространственной неоднородности плазмы, причем в данном случае под пространственной неоднородностью следует понимать несоответствие концентрации элементов в разных частях плазмы их содержанию в исходном образце (пространственно-компонентная неоднородность).