

07;11;12

Смещение эмиссионных линий алюминия в лазерной плазме, генерируемой на поверхности твердой мишени в атмосфере

© О.А. Букин, Е.Н. Большакова, Э.А. Свириденков,
Н.В. Сушилов, А.Ю. Майор, О.И. Холодкевич

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток

Поступило в Редакцию 29 октября 1996 г.
В окончательной редакции 1 апреля 1997 г.

Описаны опыты, имевшие целью выяснение влияния наличия атмосферы на эмиссионные линии элементов лазерной плазмы. Показано, что генерация ударной волны при загорании плазменного факела на поверхности мишени в нормальной атмосфере ведет к смещению центра линий и увеличению интенсивности эмиссионных линий.

Проблема исследования спектра излучения плазменного факела от мишени, расположенной в нормальной атмосфере, рассматривается в последнее время в связи с разработкой аналитических методов лазерной искровой спектроскопии как твердых тел [1], так и жидкостей [2–4]. Для повышения контраста линий эмиссионного спектра, регистрируемых элементов, на фоне сплошного спектра плазменного факела, используется лазерное излучение с высокими плотностями мощности на поверхности мишеней, более 10^9 W/cm^2 . Известно [1], что при таких интенсивностях в атмосфере возникает ударная волна, которая производит как дополнительный разогрев эрозионного материала, выносимого с мишени, так и дополнительную ионизацию атомов мишени и атмосферных газов. Таким образом, наличие ударной волны в атмосфере может привести к увеличению интенсивности эмиссионных линий за счет дополнительного разогрева и к появлению штарковского смещения за счет усиления локальных электрических полей, к которому приводит дополнительная ионизация.

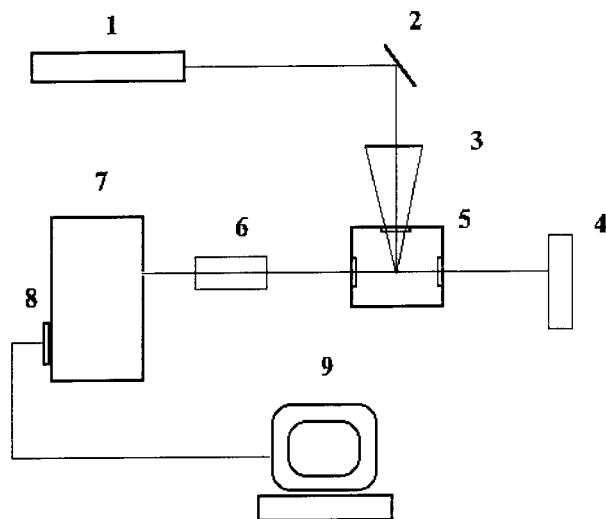


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — Nd:YAG лазер и оптический усилитель, 2 — зеркало, 3 — фокусирующая линза, 4 — ртутная лампа, 5 — откачиваемая кювета с мишенью, 6 — объектив, 7 — двойной монохроматор, 8 — многоканальный анализатор спектра, 9 — ЭВМ.

Нами были проведены эксперименты с целью выяснения влияния наличия атмосферы на эмиссионные линии элементов в лазерной плазме. Исследовались эмиссионные спектры плазменного факела, генерируемого лазерным излучением на поверхности твердой мишени. Схема эксперимента приведена на рис. 1. В работе применялся Nd:YAG лазер с длиной волны излучения $1.064 \mu\text{m}$, использование одного каскада усиления позволяло получать энергию лазерного излучения в импульсе до 1 J при длительности излучения порядка 15 ns (по полувысоте). Излучение лазера фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 7 см в откачиваемую кювету, внутри которой располагалась мишень (пластинка из алюминия). Для получения модуляции добротности лазера использовался кристалл LiF. Регистрация спектра излучения осуществлялась с помощью двойного монохроматора, на месте выходной щели которого располагался многоканальный регистратор спектра. Прибор обеспечивал дисперсию 0.16 Å на один элемент многоканального

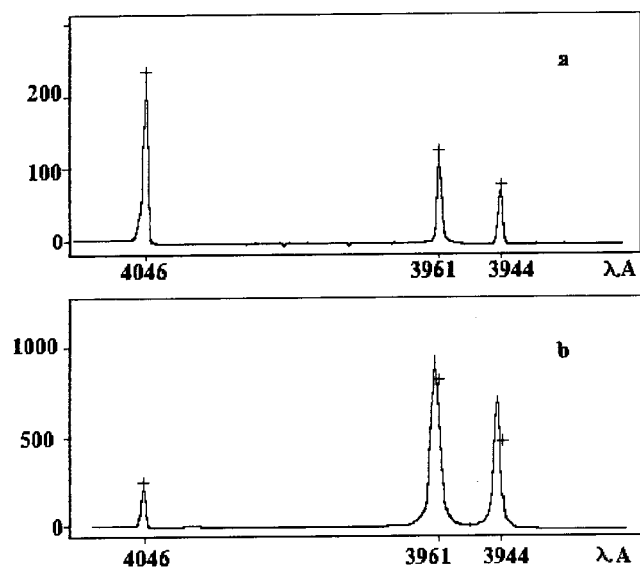


Рис. 2. Спектр эмиссионных линий Al: *a* — при давлении 10^{-1} mm Hg; *b* — при нормальном давлении.

анализатора спектра. Для проведения калибровки спектра по длине волны нами использовалась ртутная лампа, спектр излучения которой регистрировался одновременно со спектром излучения плазменного факела.

На рис. 2, *a* приведен спектр плазмы от алюминиевой мишени, полученный в откаченной кювете (давление 10^{-1} mm Hg). По вертикальной оси отложена интенсивность спектральных линий в относительных единицах, по горизонтальной — длины волн в ангстремах (в обратном порядке). В левой части — калибровочная линия ртутной лампы с длиной волны 4046 Å. Далее расположены линии излучения алюминия с длинами волн 3961 и 3944 Å соответственно [5]. Полуширина линий порядка 1 Å и определяется механизмом ударного уширения. На рис. 2, *b* приведен спектр излучения, полученный при нормальном атмосферном давлении в кювете при прочих неизменных условиях. Крестиками на рис. 2, *b* обозначены положения линий излучения атомов алюминия при

давлении 10^{-1} mmHg. Наблюдается смещение эмиссионных линий Al в красноволновую область спектра, величина смещения порядка 1 Å. Данное смещение наблюдалось при плотности мощности лазерного излучения на поверхности мишени более 10^9 W/cm² (плотности мощности были одинаковыми для откаченной кюветы и для нормального давления). Полуширина линии излучения при переходе к нормальному давлению составила величину 2 Å. Таким образом, величина уширения линий при переходе от вакуума к нормальной атмосфере равна 1 Å, т. е. примерно равняется величине смещения центра линии, что характерно для штарковского механизма.

Характерные значения плотности атомов и ионов мишени в плазме для данных значений плотности мощности лазерного излучения на поверхности мишени составляют величину порядка 10^{20} cm⁻³ [6] и превышают концентрацию атмосферных газов, в связи с чем трудно объяснить появление смещения и уширения линий в атмосфере за счет взаимодействия атомов и ионов мишени с атмосферными газами. Однако при таких значениях плотности мощности излучения на поверхности мишени, в результате разлета эрозионного материала в атмосферу, возникает сверхзвуковая радиационная ударная волна, которая приводит и к дополнительному разогреву плазмы [1]. Действительно, нами было зарегистрировано значительное увеличение интенсивности эмиссионных линий Al при переходе от регистрации спектра в откаченной кювете к измерению в нормальной атмосфере при одних и тех же значениях интенсивности лазерного излучения. Величина увеличения интенсивности линий доходила до 22 раз, что соответствует возрастанию температуры плазмы в нормальной атмосфере в 19 раз по сравнению с температурой в откаченной кювете (оценки сделаны по отношению интенсивностей одних и тех же линий в вакууме и в нормальной атмосфере в предположении существования термодинамического равновесия) [7]. Оценки отношения концентрации ионов при пробое на поверхности мишени, расположенной в атмосфере, к концентрации ионов, образующихся в плазменном факеле при расположении мишени в откаченной кювете, выполнены по уширению линий [7] и показывают, что концентрация ионов увеличивается примерно в 85 раз по сравнению с вакуумом. Это должно приводить к сильному возрастанию локальных электрических полей, в которых находятся излучающие атомы, и к появлению штарковского смещения эмиссионных линий, что и наблюдалось на эксперименте.

Таким образом, возникновение ударной волны при возбуждении плазменного факела на поверхности мишени в нормальной атмосфере может приводить, как минимум, к возникновению двух эффектов: штарковскому смещению центра линий и увеличению интенсивности эмиссионных линий за счет дополнительного разогрева ударной волной.

Список литературы

- [1] *Сухов Л.Т.* Лазерный спектральный анализ. Новосибирск: Наука, 1990. 139 с.
- [2] *Букин О.А., Павлов А.Н., Сушилов Н.В.* и др. // Труды X-го Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск, 1988. С. 244–246.
- [3] *Букин О.А., Павлов А.Н., Сушилов Н.В.* // ЖПС. 1990. Т. 52. С. 736–738.
- [4] *Власов Д.В., Прохоров А.М., Ципенюк Д.Ю.* // Квант. электрон. 1991. Т. 18. № 10. С. 1234–1235.
- [5] *Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М.* и др. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977. 800 с.
- [6] *Буфетов И.А., Кравцов С.Б., Федоров В.Б.* // Квант. электрон. 1996. Т. 23. № 6. С. 535–538.
- [7] *Фриш С.Э.* Оптические спектры атомов. М.: Физматгиз, 1963. 458 с.