

- [1] А. В. Коршунов, Л. И. Мамизерова. Опт. и спектр., 29, 417, 1970; 31, 834, 1971; 33, 1008, 1972.

Поступило в Редакцию 12 июля 1976 г.

УДК 533.9.082.5

ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ АТОМОВ МЕТАЛЛА В ПЛАЗМЕ

А. Г. Жиглинский, В. В. Кучинский, Н. П. Милованов и И. П. Преснухина

Ранее перераспределение яркости в СТС спектральных линий использовалось для определения температуры T атомов металла [1], газовой температуры [2] и концентрации N атомов металла [3] в плазме по отдельности. В данной работе излагается метод одновременного определения температуры и концентрации атомов металла. Одновременность определения T и N особенно важна при исследовании разрядов, в которых можно ожидать изменения во времени концентрации и температуры атомов. Применение метода одновременного определения T и N может предоставить возможность определять одновременно не только концентрацию и температуру атомов металла, но и (обычно равную последней) температуру газа и, следовательно, концентрацию его атомов, т. е. одновременно определять основные параметры нейтральных компонент плазмы.

Предлагаемый метод позволяет также определять T и N в плазме, просвечивание которой с целью диагностики известными оптическими и интерферометрическими методами затруднительно.

Предлагаемый метод состоит в следующем. Как известно, отношение яркостей компонент СТС при небольших токах и давлениях в плазме является функцией температуры и при наличии самопоглощения концентрации атомов. Таким образом, каждое отношение яркостей компонент СТС может осуществляться при некотором наборе N и T , т. е. $I_1/I_2 = f(N, T)$, где I_1 и I_2 — наблюдаемые яркости в определенных точках картины СТС, $f(N, T)$ — функция, которую легко получить, полагая, что столб плазмы длиной l однороден и что контур линии, излучаемой плазмой, затем сворачивается с аппаратным контуром прибора высокой разрешающей силы [3]. Искомую пару T и N из всей совокупности пар можно определить, если известно еще одно отношение яркостей в СТС I_3/I_4 . Тогда температура и концентрация атомов определяются одновременно в результате решения системы 2 нелинейных уравнений

$$I_1/I_2 = f(N, T), \quad I_3/I_4 = \tilde{f}(N, T). \quad (1)$$

Итак, измерив два отношения яркостей в определенных точках картины СТС и решив систему нелинейных уравнений (1), можно рассчитать значение N и T изучаемой нейтральной компоненты плазмы. Решение системы (1) можно производить графически, либо на ЭВМ. Необходимые программы для расчетов на ЭВМ разработаны и могут быть предоставлены. При выборе отношения яркостей I_i/I_k для составления уравнений системы (1) целесообразно руководствоваться тем, что выбранные отношения должны быть наиболее чувствительными: одно — к концентрации, другое — к температуре.

Для иллюстрации метода воспользуемся СТС линии Rb I 7800.2 Å, достаточно типичной для исследований в спектроскопии высокой разрешающей силы. В СТС этой линии присутствуют как хорошо, так и плохо разрешимые компоненты с различными отношениями яркостей (рис. 1). Для составления одного из уравнений системы (1) выберем отношение I_3/I_5 как наиболее чувствительное к изменению концентрации [3]. К температуре это отношение, наоборот, мало чувствительно: при изменении температуры атомов более чем на 100° (при среднем значении температуры 300 К) отношение I_3/I_5 яркостей в максимумах компонент СТС меняется не более чем на 3%. Для составления второго уравнения было выбрано отношение I_3/I_2 , чувствительное к изменениям температуры [2]. Диапазон измеряемых температур зависит от величины провала между компонентами. Увеличения диапазона можно достигнуть, используя для определения больших температур более глубокие провалы между компонентами или минимумы яркости между порядками, либо изменяя толщину распорных колец интерферометра. Отношение яркостей I_3/I_2 , как показывают расчеты, позволяет определять температуру примерно до 600 К (при небольшом самопоглощении и коэффициенте отражения зеркал интерферометра, равном 85%).

Для выбранных двух отношений яркостей составлялась система (1). Графическое решение этой системы производилось следующим образом. Для каждого найденного экспериментально отношения яркостей рассчитывалась совокупность соответствующих ему температур и концентраций, которая изображалась кривой в координатах T и N (кривые I и II на рис. 1, б). Точка пересечения кривых дает значения T_0 и N_0 , по по-

строению одновременно являющиеся решением обеих уравнений системы. В условиях, соответствующих рис. 1, измерение отношения яркостей с ошибкой 1% приводит к ошибке в определении как температуры, так и концентрации около 6%. Предлагаемый метод применим для определения концентрации и температуры в однородной плазме. Нами этот метод был применен для исследования плазмы в охлаж-

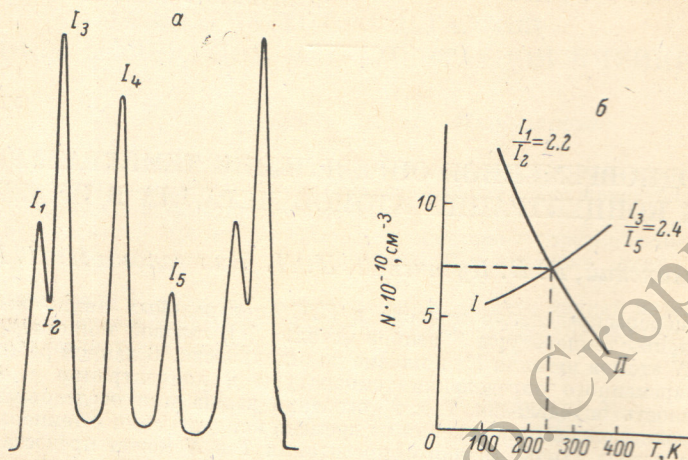


Рис. 1. К одновременному расчету концентрации и температуры атомов металла по СТС линии рубидия.

а — регистрограмма СТС линии RbI 7800.2 Å, б — графическое решение системы (4).

даемом полом катоде (ОПК). При одновременном определении температуры и концентрации ошибка в определении T и N , возникающая вследствие неоднородности плазмы в ОПК, не превосходит 10–15% для катода с отношением длины к диаметру, равному 2.

Были изучены зависимости температуры и концентрации атомов металла и инертного газа от тока и давления в ОПК (определение N и T газа стало возможным потому, что температуры атомов металла и газа в ОПК равны [2]). Концентрация атомов металла линейно увеличивается с ростом тока, в то время как концентрация атомов инертного газа, наоборот, несколько убывает. При этом температура растет нелинейно, повторяя ход зависимости температуры от тока, приведенный в работе [6].

Зависимости концентрации и температуры атомов металла и инертного газа от давления представлены на рис. 2. На этом рисунке видно, что для каждого тока при некотором давлении (в дальнейшем будем называть его оптимальным) наблюдается максимум концентрации (рис. 2, а), смещающийся с ростом тока в область больших давлений. Температура (рис. 2, б) для давлений, меньших оптимального, возрастает и почти не меняется при давлениях, больших оптимального. Полученные экспериментальные результаты

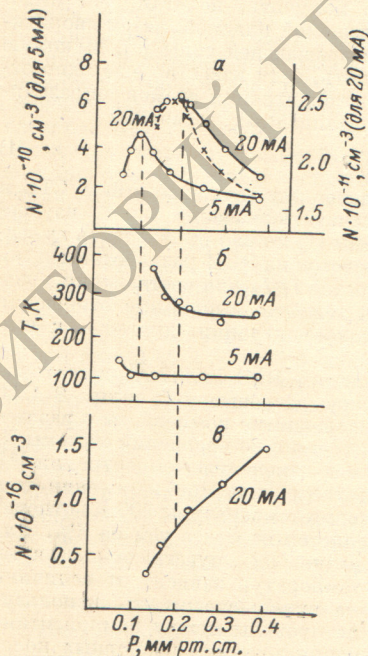


Рис. 2. Зависимость концентрации атомов металла (а), газа (б) и температуры (б) от давления.

Около кривых указана сила разрядного тока. Штриховой линией на рис. 2, а приведена зависимость яркости линии RbI 7800.2 Å от давления (в отн. ед.). Катод длиной 14 мм, диаметром 7 мм.

согласуются с моделью, предложенной в работе [5]. Для давлений, меньших оптимального, как известно [4], наблюдается резкий рост напряжения на разрядной трубке, что приводит к увеличению мощности, подводимой к разряду, и, следовательно, к увеличению температуры. В результате этого усиливается диффузионный отток атомов металла из зоны отрицательного тлеющего свечения к стенке и концентрация атомов металла в плазме уменьшается. При давлениях, больших оптимального, напряжение на трубке изменяется незначительно и соответственно

газовая температура остается почти постоянной. Спад концентрации атомов металла для больших давлений обусловлен падением «кажущегося коэффициента катодного распыления» [7].

Зависимость яркости линий 7800.2 Å, представленная в относительных единицах на рис. 2, а (штриховая кривая), качественно повторяет ход концентрации атомов металла с давлением. Рис. 2, а свидетельствует о существенном вкладе изменений концентрации атомов металла при варьировании условий разряда в формирование яркости спектра металла, излучаемого плазмой ОПК. Концентрация атомов инертного газа (рис. 2, б) уменьшается пропорционально давлению вплоть до величины оптимального давления. Для давлений, меньших оптимального, наблюдается более резкое падение концентрации инертного газа, вызванное повышением температуры газа.

Итак, разработан метод одновременного определения температуры и концентрации атомов металла в плазме по перераспределению яркости компонент СТС. Примененный для исследования плазмы в ОПК этот метод дал результаты, согласующиеся с известными моделями и экспериментальными данными. Из полученных результатов следует, что при варьировании условий разряда изменения нейтральных компонент плазмы могут влиять на яркость спектров металлов в ОПК так же сильно, как электронная компонента.

Литература

- [1] А. Г. Жиглинский, Т. Н. Хлопина. Опт. и спектр., 24, 652, 1968.
- [2] А. Г. Жиглинский, Л. А. Козловская, Э. Н. Фафурина. Опт. и спектр., 29, 1045, 1970.
- [3] А. Г. Жиглинский, В. В. Кучинский, Н. П. Милованов, И. П. Преснухина. Опт. и спектр., 42, 1977.
- [4] А. Г. Жиглинский, Т. Н. Хлопина. Опт. и спектр., 32, 642, 1972.
- [5] Б. М. Бошняк, А. Г. Жиглинский, Г. Г. Кунд, Т. Н. Хлопина. Опт. и спектр., 33, 1032, 1972.
- [6] А. Г. Жиглинский, Т. Н. Хлопина. Ж. прикл. спектр., 8, 562, 1968.
- [7] И. В. Плешивцев. Катодное распыление. Атомиздат, М., 1968.

Поступило в Редакцию 23 июля 1976 г.

УДК 535.373.2/3

ТУШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ИОНА Eu^{3+} ЧЕРЕЗ СОСТОЯНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА

В. П. Груздев и В. Л. Ермолаев

Выяснение механизма размена энергии электронного возбуждения ионов редкоземельных элементов (РЗЭ) на колебательную энергию представляет большой теоретический и практический интерес. Процессы размена или деградации электронной

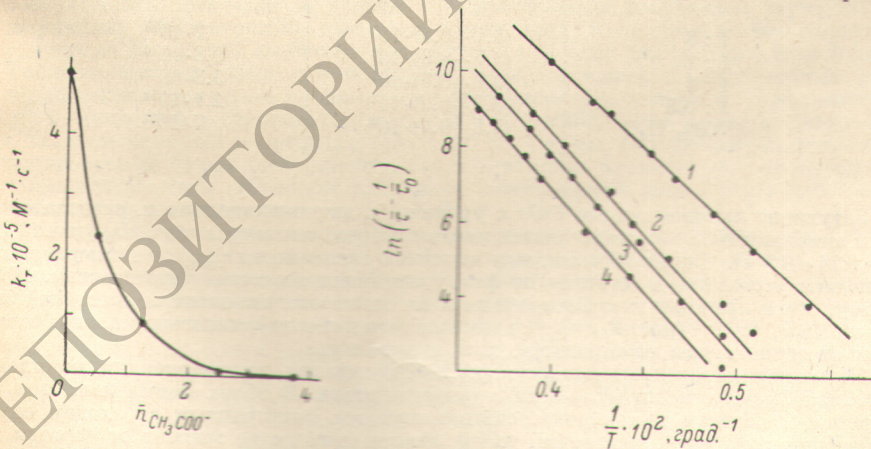


Рис. 1. Зависимость константы скорости тушения люминесценции Eu^{3+} (5D_0 , $C_{\text{Eu}^{3+}} = 10^{-2}$ мол.) ионами NCS^- в метаволе от среднего числа ацетатных ионов CH_3COO^- во внутренней координационной сфере европия.

Концентрация $\text{NaNCS} = 4 \cdot 10^{-2}$ М; $k_T = (\tau^{-1} - \tau_0^{-1}) C_{\text{NCS}}^{-1}$.

Рис. 2. Зависимость $(\tau^{-1} - \tau_0^{-1})$ системы $\text{Eu}(\text{NCS})_x(\text{NO}_3)_{3-x} \cdot \text{Solv}$ в ацетоне от обратной температуры в полулогарифмическом масштабе.

1 — $x=3$, 2 — $x=2$, 3 — $x=1$, 4 — $x=0.5$.

энергии можно условно разделить на «физическую» деградацию, при которой процесс обусловлен безызлучательным переводом энергии от иона РЗЭ на окружающие ион лиганды или молекулы растворителя с возбуждением последних в высокие колебатель-