

02;04;07;12

Оптические характеристики плазмы лазерной эрозии серебра

© А.К. Шуаибов

Ужгородский национальный университет
E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 14 апреля 2001 г.

Представлены результаты исследования околопорогового излучения лазерной плазмы серебра в области 220–600 nm. Плазма формировалась при действии лазерного излучения с $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ мощностью $(1-3) \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ в точке фокусировки на поверхности массивной мишени.

Установлено, что основными в спектре излучения являются резонансные линии атомов серебра ($\lambda = 328.1; 338.8 \text{ nm AgI}$). В видимой области наиболее интенсивными были спектральные линии 520.9 и 546.5 nm AgI. Узким местом рекомбинационного потока, который заселял верхние энергетические состояния атомов серебра, является уровень $7d^2D_{5/2} \text{ AgI}$. Основной поток реакции рекомбинации $\text{Ag}^+ + 2e \rightarrow \text{Ag}^* + e$ последовательно проходит через следующие энергетические уровни AgI: $7d \rightarrow 6d \rightarrow 5d \rightarrow 5s$. Полученные результаты могут использоваться для повышения качества тонких пленок серебра и оптимизации напыления пленок сложного состава из кристаллов типа $\text{AgGa(Al, In)S(Se)}_2$.

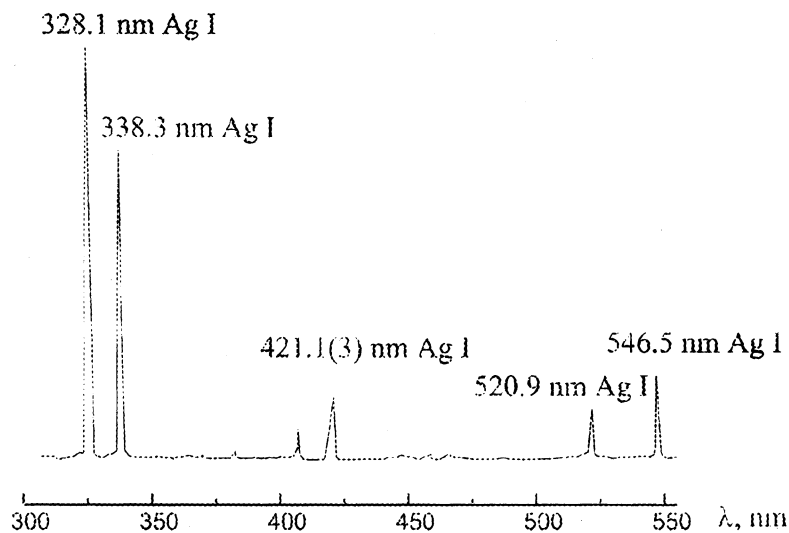
Серебро широко используется в современной микроэлектронике для получения тонких пленок, а также является важным компонентом поликристаллической шихты на основе соединений $\text{AgGa(Al, In)S(Se)}_2$, которые, как и соединения CuInS(Se)_2 [1], могут применяться для изготовления рабочих элементов солнечных батарей. Для получения качественных пленок серебра или многокомпонентных соединений на основе серебра важное значение имеют параметры соответствующей лазерной плазмы. Спектры излучения многокомпонентной лазерной

плазмы являются достаточно сложными и малоизученными, особенно при околопороговом действии лазерного излучения на мишени [2,3], что требует количественного исследования оптических характеристик лазерной плазмы на основе отдельных составляющих кристаллических мишеней. Оптические характеристики лазерной плазмы Cu, Ga и In представлены в наших работах [4–6]. Подобные данные для лазерной плазмы серебра отсутствуют.

В данной статье представлены результаты исследования излучения лазерной плазмы серебра, формируемой при помощи YAG : Nd³⁺ лазера с мощностью в точке фокусировки $(1-3) \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ и длительностью импульсов генерации 20 ns.

Методика, техника и условия эксперимента были аналогичными работам [4–6]. В эксперименте использовалась массивная мишень из серебра особой чистоты, которая устанавливалась в вакуумную камеру с остаточным давлением воздуха $P = 3-5 \text{ Pa}$. Расшифровка спектров излучения проводилась по данным работ [7–9].

На рисунке приведен спектр излучения плазмы лазерной эрозии серебра. В таблице представлены результаты расшифровки спектра:



Спектр излучения ядра лазерной плазмы серебра, зарегистрированный из точки, удаленной от поверхности мишени на 1 mm.

Распределение интенсивности излучения ядра лазерной плазмы серебра

λ , nm	Переход, AgI	E_0 , cm^{-1}	E_1 , cm^{-1}	J/k_λ , a.u.	$\Delta J/k_\lambda$, %	Q , 10^{-18} , cm^2
328.1	$5s^2S_{1/2} - 5p^2P_{3/2}$	0	30473	1.00	39	1020
338.3	$5s^2S_{1/2} - 5p^2P_{3/2}$	0	29552	0.68	25	340
381.1	$5p^2P_{3/2} - 7d^2D_{5/2}$	30473	56706	0.03	1	11.7
381.2	$5p^2P_{1/2} - 7d^2D_{3/2}$	30473	56700			
405.5	$5p^2P_{1/2} - 6d^2D_{3/2}$	29552	54203	0.07	3	5.8
421.1	$5p^2P_{3/2} - 6d^2D_{5/2}$	30473	54214	0.15	6	9.2
421.3	$5p^2P_{3/2} - 6d^2D_{3/2}$	30473	54203			
520.9	$5p^2P_{1/2} - 5d^2D_{3/2}$	29552	48744	0.22	9	17.0
546.5	$5p^2P_{3/2} - 5d^2D_{5/2}$	30473	48764	0.45	17	20.0

J/k_λ — относительная интенсивность спектральной линии, k_λ — относительная спектральная чувствительность системы "монохроматор + ФЭУ", $\Delta J/k_\lambda$ — отношение интенсивности отдельной линии излучения (за вычетом непрерывного излучения) к суммарной интенсивности всех регистрируемых спектральных линий серебра. В обзорном спектре наблюдались исключительно спектральные линии атомов серебра. Линейчатое излучение лазерной плазмы серебра наблюдалось на фоне слабого непрерывного излучения (см. рисунок). Наиболее интенсивным было излучение на резонансных переходах атома серебра ($\lambda = 328.1; 338.3 \text{ nm AgI}$). В видимой области спектра по интенсивности выделялись спектральные линии 520.9 и 546.5 nm AgI. Из-за значительного самопоглощения резонансного излучения AgI диагностика параметров лазерной плазмы серебра может быть выполнена по хорошо разрешенным и сравнительно интенсивным линиям в видимом диапазоне. Сравнение распределения интенсивности излучения лазерной плазмы с величинами эффективных сечений возбуждения спектральных линий AgI электронным ударом [7] показало, что они не коррелируют между собой. Как и для лазерной плазмы на основе Al, Ga и In [4–6], для лазерной плазмы серебра более вероятным является рекомбинационный механизм заселения возбужденных состояний AgI ($\text{Ag}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ag}^* + e$). Узким местом рекомбинационного потока в данном случае является энергетический уровень AgI ($7d^2D_{5/2}$). Как следует из таблицы, интенсивности излучения AgI последовательно увеличиваются с уменьшением энергии верхнего состояния от узкого места до резонансных

1* Письма в ЖТФ, 2001, том 27, вып. 19

состояний атома серебра. Поэтому рекомбинационный поток в условиях настоящего эксперимента распространяется по следующей последовательности энергетических уровней AgI: $7d \rightarrow 6d \rightarrow 5d \rightarrow 5s$.

Таким образом, показано, что при действии излучения неодимового лазера мощностью $(1-3) \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ на массивную мишень из серебра, установленную в вакууме, основной вклад в спектр линейчатого излучения лазерной плазмы вносят резонансные линии AgI; узким местом рекомбинационного потока является уровень $7d^2D_{5/2}$ с энергией $\varepsilon = 56\,706 \text{ cm}^{-1}$; для диагностики лазерной плазмы серебра методами эмиссионной спектроскопии могут быть использованы спектральные линии $\lambda = 520.9$ и 546.5 nm AgI.

Выражаю благодарность А.И. Дащенко за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] Khare N., Razzini G., Bicelli P. // Thin Solid. Films. 1990. V. 186. P. 113–119.
- [2] Котлярчук Б.К., Попович Д.И., Пентко В.Я. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 9. С. 1824–1827.
- [3] Kacher I.E., Shuaibov A.K., Dashchenko A.I., Rigan M.Yu. // Abstr. Of V Int. Conf. "Material science and material properties for infrared optoelectronics". Kyiv, Ukraine, 2000. P. 103.
- [4] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 18. С. 57–62.
- [5] Shuaibov A.K., Shimon L.L., Daschenko A.J., Chuchman M.P. // Uzh. Univ. Scient. Herald. Ser. Phys. 2000. Issue 8. Part 2. P. 348–352.
- [6] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В., Чучман М.П. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 1. С. 85–88.
- [7] Красавин А.Ю., Кученев А.Н., Смирнов Ю.М. // Оптика и спектроскопия. 1983. Т. 54. В. 1. С. 20–24.
- [8] Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М. и др. // Таблицы спектральных линий. М., 1969. 782 с.
- [9] Смирнов Ю.М. // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 2. С. 6–10.