

02;04;07

Оптические характеристики лазерной плазмы кристаллов CdGa_2Se_4 и CdGa_2S_4

© А.К. Шуаибов, И.Э. Качер, А.И. Дащенко

Ужгородский государственный университет, Украина

Поступило в Редакцию 4 июля 2000 г.

Приводятся результаты исследования излучения фрагментов, образующихся в ядре эрозионной лазерной плазмы монокристаллов $\text{CdGa}_2\text{Se}(\text{S})_4$. Лазерная плазма формировалась при воздействии импульсов генерации неодимового лазера мощностью $(1-2) \cdot 10^9 \text{ W/cm}^2$ на поверхность кристаллов. Показано, что лазерная плазма существует в форме ядра диаметром 2–3 мм, а факел в пространстве над поверхностью мишеней отсутствует. В области 200–600 нм основными для лазерной плазмы на основе кристалла CdGa_2Se_4 были линии GaI с наиболее низкорасположенных энергетических уровней и интенсивные линии SeII, SeIII. В спектре излучения лазерной плазмы с поверхности монокристалла CdGa_2S_4 превалировало излучение одной линии — 532.1 нм SII (4s–4p). Полученные результаты коррелируют с данными масс-спектрального анализа лазерной плазмы тиогалатов кадмия и представляют интерес для измерения ее параметров и оптимизации условий получения тонких пленок сложного состава.

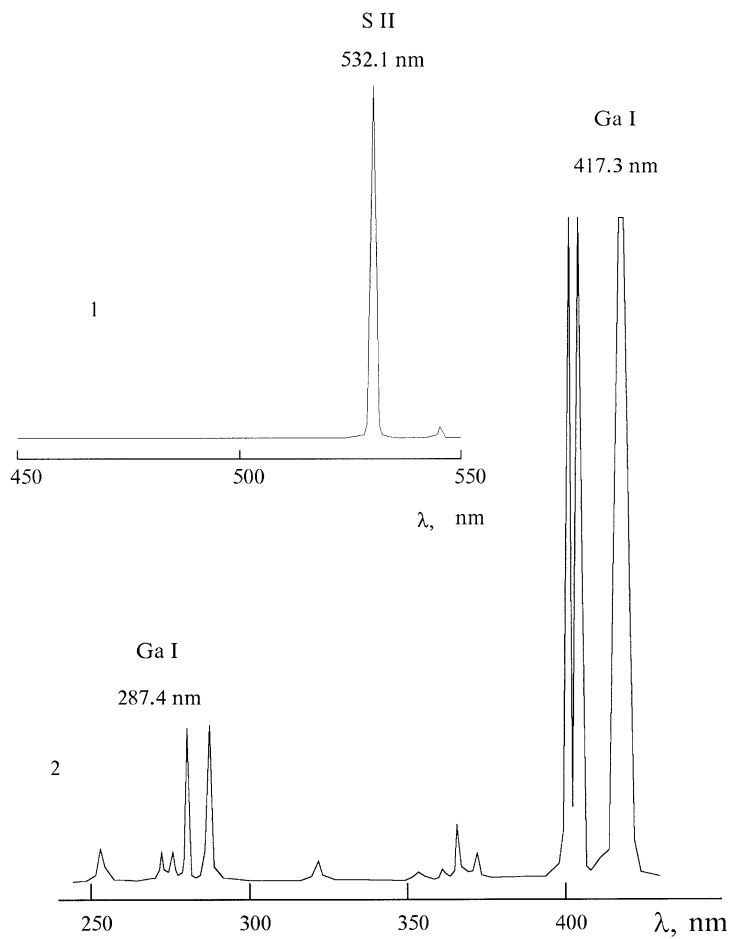
Из-за наличия в катионных решетках халькогенидов (CdGa_2S_4 и CdGa_2Se_4) переходных элементов и упорядоченных дефектов они получили широкое практическое применение в объемном и пленочном исполнении [1–5]. Наиболее качественные пленки получают при импульсном лазерном распылении монокристаллов тиогалатов кадмия в вакууме [6]. Необходимость повышения их структурного и стехиометрического совершенства требует более детального исследования процессов испарения данных кристаллов. Ранее методом времяпролетной масс-спектропии детально исследовалась лазерная плазма монокристаллов $\text{CdGa}_2\text{Se}(\text{S})_4$ в работе [7]. Было установлено наличие в ней элементарных ионов, а также тройных и бинарных комплексных ионов. Относительное количество ионов серы (селена) в составе продуктов лазерной эрозии было максимальным, как и их относительное содержание в кристаллах, хотя расчеты энергии связи атомов в соединениях $\text{CdGa}_2\text{S}(\text{Se})_4$ показали, что она увеличивается от Cd до Ga и

является максимальной для атомов серы и селена. Спектроскопическое исследование лазерной плазмы дает дополнительную информацию об основных возбужденных и ионизированных компонентах такой плазмы, а также играет важную роль при оптимизации процесса лазерного напыления, для более детального понимания механизмов взаимодействия импульсного лазерного излучения с монокристаллами титгалатов кадмия и процессов формирования пленок на подложках разного типа. Оптические характеристики подобной лазерной плазмы раньше не изучались.

В работе представлены результаты исследования излучения лазерной плазмы титгалатов кадмия, сформированной при действии YAG:Nd³⁺-лазера на соответствующие монокристаллы.

Импульсно-периодический неодимовый лазер ($f = 12 \text{ Hz}$) с энергией в импульсе 10–30 мДж и длительностью импульсов генерации 20 нс при фокусировке в пятно на поверхность мишеней позволял получать ярко излучающее ядро диаметром 2–4 мм. Излучение анализировалось с области, удаленной на $r = 1–2 \text{ mm}$ от поверхности мишени. Кристаллы устанавливались в вакуумную камеру с остаточным давлением 3–7 Па. Содержание примесей в монокристаллах не превышало $10^{-5}–10^{-7}\%$, а методика их получения была аналогична ранее применявшейся в [7]. Излучение плазмы исследовалось в области 200–600 нм при помощи монохроматора МДР-2, фотоумножителя ФЭУ-106 и самописца КСП-4. Система регистрации предварительно калибровалась по излучению водородной и банд-ламп [8]. Расшифровка спектров проводилась по данным работ [9–12]. Точность регистрации относительной интенсивности излучения составляла 5%.

На рисунке приведены спектры излучения лазерной плазмы титгалатов кадмия. В таблице представлены результаты расшифровки спектров и относительные интенсивности спектральных линий (J/k_λ). Наиболее количество линий зарегистрировано в спектре излучения плазмы на основе кристалла CdGa₂Se₄. Основные линии принадлежали переходам из низколежащих уровней GaI и переходам между состояниями SeII, SeIII. Линии излучения CdI: 372.9; 365.0; 283.7; 261.7 нм были малоинтенсивными. Для лазерной плазмы на основе соединения CdGa₂S₄ практически все линейчатое излучение представлено линией 532.1 нм SII. Интенсивность линии с $\lambda = 545.5 \text{ nm}$ SII ($4s^4P_{5/2}–4p^4D_{7/2}^0$) не превышала 5% от интенсивности линии 532.1 нм. Такой характер распределения интенсивности излучения в спектре лазерной плазмы



Спектры излучения лазерной плазмы с поверхности кристаллов CdGa₂S₄ (1) и CdGa₂Se₄ (2).

тиогалатов кадмия указывает на более высокую устойчивость кристаллов CdGa₂S₄ по сравнению с соединениями на основе селена, что проявлялось также и при масс-спектральном анализе. Содержание ионов S⁺ и Se⁺ в масс-спектрах лазерной плазмы тиогалатов кадмия было

Распределение интенсивности излучения в спектре лазерной плазмы на основе тиогалатов кадмия

l, nm Атом, ион	Переход	E, eV	$J/k, \text{a.u.}$
CdGa_2Se_4			
417.3 GaI	$4^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$	3.07	1.00
406.2 SeII + + 404.7 SeIII	-	17.84	0.90
403.3 GaI	$4^2P_{1/2} - 5^2S_{1/2}$	3.07	0.90
294.4 GaI	$4^2P_{3/2} - 4^2D_{3/2,5/2}$	4.31	0.30
286.8 CdI + + 287.4 GaI	-	8.26	0.30
262.5 GaI	$4^2P_{1/2} - 4^2D_{3/2}$	4.31	0.10
	-	4.82	0.10
CdGa_2S_4			
532.1 SII	$4s'^2D_{1/2} - 4p'^2F_{7/2}^0$	17.40	1.00

максимальным и составляло 38 и 46% [7]. Двухзарядные ионы селена в масс-спектрах не регистрировались, но в излучении лазерной плазмы слабые спектральные линии SeIII присутствовали ($\lambda = 357.0 \text{ nm}$ SeIII). Высокое содержание возбужденных ионов серы и селена в продуктах лазерной эрозии указывает на значительную активность плазменной струи, что должно способствовать получению качественных пленок и высокой их адгезии с подложкой. Линии GaI, SeII, SeIII и SII представляют интерес для диагностики плазмы тиогалатов кадмия (T_e , n_e , заселенности метастабильных уровней, плотности атомов в основном состоянии и др.) методами нестационарной спектроскопии излучения и поглощения. Наиболее вероятным механизмом образования возбужденных ионов серы (селена) является совокупность рекомбинационных процессов в расширяющемся сгустке, который был ранее предложен нами в работе [7]. Учитывая наиболее высокие их удельные концентрации, скорости разлета и высокие внутренние энергии, можно предположить, что они определяют и начальные стадии формирования пленок тиогалатов кадмия.

Таким образом, исследование излучения лазерной плазмы титогалатов кадмия показало, что кристаллы на основе серы более устойчивы к разрушению излучением YAG:Nd³⁺-лазера, чем селенсодержащие кристаллы; основными возбужденными компонентами исследуемой лазерной плазмы, проявляющимися в излучении, были ионы SeII, SeIII, SII, которые имеют наиболее высокие энергии ионизации по сравнению с CdI и CdII; выявленные линии излучения представляют интерес для развития спектроскопических методик диагностики лазерной плазмы и оптимизации процесса лазерного напыления тонких пленок на основе титогалатов кадмия.

Список литературы

- [1] Георгибидани А.Н., Радауцан С.И., Тигиняну И.М. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 2. С. 193–212.
- [2] Бадиков В.В., Матвеев И.Н., Пшеничников С.М. и др. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 4. С. 910–912.
- [3] Levine B.F., Bethea O.G., Kashev N.M. // J. Quant. Electronics. 1974. V. 10. N 12. P. 904–906.
- [4] Дону В.С., Житарь Е.Ф. // Сборник "Физика слоистых полупроводниковых соединений". Кишинев, 1979. С. 102–104.
- [5] Мушинский В.П., Покатилов Б.Б., Рапопорт Б.И. // Дальнейшее развитие оптоэлектроники. М.: Сов. радио, 1977. 125 с.
- [6] Качер И.Э. Кинетика процессов испарения и конденсации пленок тито и селеногаллатов кадмия // Киев, 1988. Деп. в Укр. НИИНТИ N 149-88.
- [7] Качер И.Э., Опачко И.И., Риган М.Ю. // УФЖ. 1989. N 34. N 11. С. 1728–1732.
- [8] Shuaibov A.K., Shimon L.L., Shevera I.V., Minja A.J. // J. of Physical Studies. 1999. V. 3. N 2. P. 157–163.
- [9] Ельяшевич М.А. // Атомная и молекулярная спектроскопия. М., 1962. 892 с.
- [10] Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М. и др. // Таблицы спектральных линий. М., 1969. 782 с.
- [11] Стриганов А.П., Одинцова Г.А. // Таблицы спектральных линий атомов и ионов: Справочник. М., 1982. 312 с.
- [12] Шимон Л.Л., Непийнов Э.И., Голдовский В.Л., Головчак Н.В. // УФЖ. 1975. Т. 20. № 2. С. 232–236.