

02;04;07;12

Исследование динамики излучения эрозионной лазерной плазмы поликристалла CuInS_2

© А.К. Шуаибов, М.П. Чучман, А.И. Дащенко

Ужгородский национальный университет

Поступило в Редакцию 22 ноября 2002 г.

Представлены результаты исследования временных характеристик излучения лазерной плазмы поликристаллической шихты CuInS_2 . Плазма формировалась при действии на мишень сфокусированного излучения импульсно-периодического лазера ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, $W \leq 5 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$). Приведены осциллограммы излучения продуктов деструкции поликристалла CuInS_2 на разных расстояниях от поверхности мишени, из которых определены времена рекомбинации в многокомпонентной лазерной плазме.

Полученные результаты представляют интерес для оптимизации процесса лазерного напыления тонких пленок элементов солнечных батарей.

Поликристаллическая шихта CuInS_2 в настоящее время является одним из наиболее перспективных соединений для изготовления рабочих элементов солнечных батарей путем лазерного напыления [1,2]. Для оптимизации данного процесса важным является знание механизма распыления и основных параметров многокомпонентной лазерной плазмы. Кроме масс-спектроскопической методики диагностики лазерной плазмы кристаллов [3], перспективным является применение оптической диагностики с высоким временным и пространственным разрешением [4]. Результаты количественного исследования излучения плазмы отдельных составляющих соединения CuInS_2 , а именно лазерной плазмы меди и индия, представлены в работах [5,6]. Условия распыления поликристалла и составляющих его чистых металлов были близкими, что позволяет проводить сравнительный анализ параметров лазерной плазмы металлов и поликристаллических соединений типа CuInS_2 или CuInSe_2 .

В данной работе приводятся результаты исследования временных характеристик излучения лазерной плазмы сложного состава, получае-

Распределение интенсивности в спектре излучения эрозионного лазерного факела соединения CuInS_2

λ , nm	Атом, ион	Верхнее состояние	J , а.е.
550.7	SI	$8d^5D^0$	0.05
522.0	Cu I	$4d^2D_{3/2}$	0.55
521.8	Cu I	$4d^2D_{5/2}$	
515.3	Cu I	$4d^2D_{3/2}$	0.30
510.6	Cu I	$4p^2P^0_{3/2}$	0.25
461.2	In I	—	0.05
455.3	SI	$4p^{12}P^6_{3/2}$	0.05
451.1	In I	$6^2S_{3/2}$	1.00
441.1	SI	$6p^3P_{0,1,2}$	0.05
410.2	In I	$6^2S_{1/2}$	0.70
406.3	Cu I	$5d^2D_{3/2,5/2}$	0.10
402.3	Cu I	$5d^2D_{3/2}$	0.05
327.4	Cu I	$4p^2P^0_{1/2}$	0.35
324.8	Cu I	$4p^2P_{3/2}$	0.70
303.9	In I	$5d^2D_{3/2}$	0.65
293.2	In I	$7^2S_{1/2}$	0.20
283.7	In I	$5^4P_{5/2}$	0.10
275.3	In I	$7^2S_{1/2}$	0.10
271.0	In I	$6d^2D_{5/2,3/2}$	0.45
256.0	In I	$6^2P_{3/2}$	0.15
252.2	In I	$7d^2D_{5/2,3/2}$	0.05
227.8	In I	—	0.10

мой при воздействии лазера умеренной мощности на CuInS_2 мишень помещенную в вакуумную камеру.

Таблеточная мишень из поликристаллической шихты CuInS_2 с количеством примесей не более 10^{-5} устанавливалась в металлическую камеру с остаточным давлением воздуха ≤ 7 Па. Излучение отбиралось с оси лазерного факела при помощи линзы на расстояниях $d = 1$ и 7 мм от поверхности мишени. Описание экспериментальной установки и методики исследований приведено в работах [7,8].

Анализ спектра излучения эрозионной лазерной плазмы поликристалла CuInS_2 (см. таблицу) показал, что он определяется в основном излучением атомов меди и индия. В спектре излучения плазмы от-

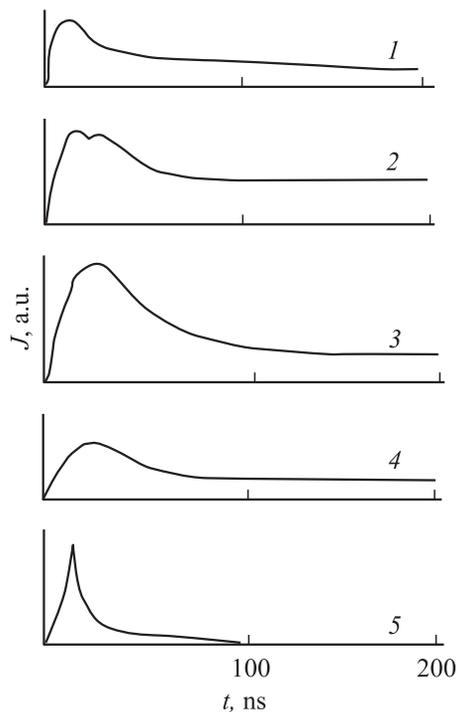


Рис. 1. Осциллограммы излучения спектральных линий продуктов деструкции поликристаллической шихты CuInS_2 в ядре лазерной плазмы (при $r = 1 \text{ mm}$): 1 — 451.1 nm In I; 2 — 410.2 nm In I; 3 — 327.4 nm Cu I; 4 — 521.8 nm Cu I; 5 — 271.0 nm In I.

существовали спектральные линии In II и линии со смещенных уровней атома меди, которые вносили значительный вклад в линейчатое излучение лазерной плазмы индия и меди [5,6]. Узким местом рекомбинационного потока для лазерной плазмы поликристалла был атомарный уровень SI ($8d^5D_{0-4}^0$); $E = 10.12 \text{ eV}$ и ионный уровень SII ($4p^{12}P_{3/2}^6$); $E = 17.81 \text{ eV}$.

Осциллограммы излучения лазерной плазмы сложного состава (рис. 1) характеризуются в большинстве случаев одним ярковыраженным максимумом и длительным задним фронтом. Длительность

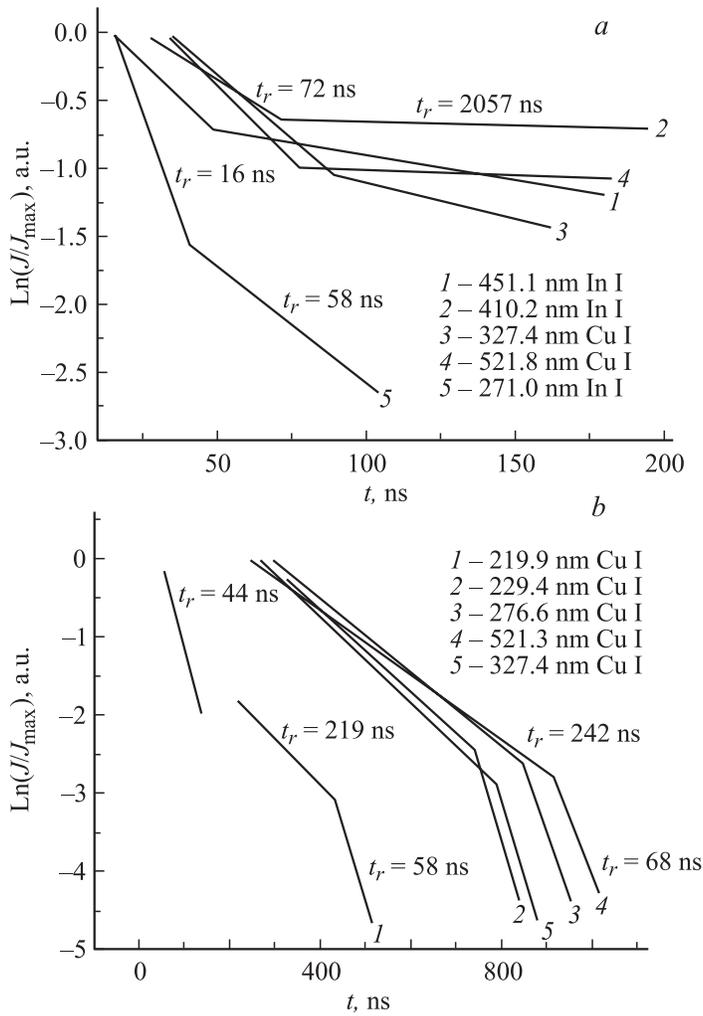


Рис. 2. Прямые для определения времен рекомбинации в ядре лазерной плазмы соединения CuInS_2 (a) и чистой меди (b).

излучения спектральных линий продуктов деструкции поликристалла уменьшалась с увеличением энергии верхнего энергетического состояния. Для спектральных линий с нижних энергетических состояний индия наблюдался дополнительный слабовыраженный максимум, что вместе с наличием в спектре излучения линий SI и SII подтверждает диссоциативный механизм образования возбужденных атомов в лазерной плазме поликристалла.

Для лазерной плазмы чистой меди и индия осциллограммы излучения состояли из двух максимумов, которые с увеличением расстояния от мишени сливались в один для спектральных линий с верхних энергетических состояний атомов или трансформировались в несколько максимумов для спектральных линий низкорасположенных уровней. Природа этих максимумов определяется фотоабляцией при действии лазера в начальный момент времени и излучением нагретых внутренних слоев мишени, которые испаряются в последующие моменты времени [9]. Близкое к полученному нами поведение интенсивности излучения спектральных линий металлов и продуктов деструкции кристаллов наблюдалось также в работах [10,11].

Кинетика формирования лазерной плазмы сложного состава является достаточно сложной, поэтому было проведено исследование времен рекомбинации ионов для плазмы соединения CuInS_2 и меди (рис. 2). Времена рекомбинации однозарядных ионов в плазме поликристалла находятся в диапазоне 16–2057 ns. При этом наблюдается быстрая и более медленная стадия рекомбинации однозарядных фрагментов деструкции исходного соединения или ионов CuInS_2^+ с электронами, в результате которой происходит образование возбужденных атомов меди и индия в многокомпонентной лазерной плазме. Исследование времен рекомбинации лазерной плазмы In и Cu при расстоянии до мишени $d = 1 \text{ mm}$ показало, что оно находится в диапазоне $t(\text{Cu}^+) = 44\text{--}242 \text{ ns}$ и $t(\text{In}^+) = 14\text{--}442 \text{ ns}$. Для лазерной плазмы металлов также характерны две разные по длительности стадии рекомбинации соответствующих однозарядных ионов, но они по своей длительности были обратно пропорциональны длительности стадий рекомбинации лазерной плазмы поликристалла.

Нижняя граница времен рекомбинации указывает истинное его значение, по верхней можно судить об интенсивности кинетических реакций в плазме. Этому способствует малая скорость излучения атомов, по заднему фронту осциллограмм которых находились соот-

ветствующие времена, особенно в начале спада интенсивности, когда явно выражена инверсия населенностей.

Таким образом, исследование динамики излучения лазерной плазмы поликристалла CuInS_2 показало, что для спектроскопической диагностики многокомпонентной лазерной плазмы наиболее подходит излучение спектральных линий атомов меди и индия; скорость рекомбинации однозарядных ионов при лазерной абляции CuInS_2 примерно на порядок превышает скорость рекомбинации ионов Cu^+ , In^+ в лазерной плазме чистых металлов; полученные результаты могут быть использованы для диагностики параметров лазерной плазмы в процессе изготовления рабочих элементов солнечных батарей.

Список литературы

- [1] Sheer R., Walter T., Schok H.W., Fearheilei M.L., Lewerenz H.J. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 63. N 24. P. 3294–3296.
- [2] Иванов В.А., Викторов И.А., Гременюк В.Ф. // ЖТФ. 2002. Т. 72. В. 9. С. 134–135.
- [3] Качер И.Э., Опачко И.И., Риган М.Ю. // Укр. физ. журн. 1989. Т. 34. № 11. С. 1728–1732.
- [4] Шуаибов А.К., Качер И.Э., Дащенко А.И. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 23. С. 66–70.
- [5] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 18. С. 57–62.
- [6] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Качер И.Э. // Оптика и спектроскопия. 2001. Т. 90. № 4. С. 560–563.
- [7] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В., Чучман М.П. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 1. С. 85–88.
- [8] Качер И.Э., Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // ПТЭ. 2001. № 5. С. 152–153.
- [9] Новодворский О.А., Филипова Е.О., Храмова О.Д. и др. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 2. С. 1159–1163.
- [10] Бураков В.С., Савостенко Н.А., Тарасенко Н.В. // ЖПС. 1999. Т. 66. № 1. С. 111–115.
- [11] Geier T.J., Weimer W. // Appl. Spectrosc. 1990. V. 44. N 10. P. 1659–1664.