

02;04;07;12

Параметры лазерной плазмы на основе поликристалла CuInS_2 , меди и индия

© А.К. Шуаибов, М.П. Чучман

Ужгородский национальный университет

Поступило в Редакцию 16 декабря 2002 г.

Приводятся результаты исследования температуры и плотности электронов лазерной плазмы, сформированной под действием неодимового лазера на поликристаллическую мишень из CuInS_2 , а также на мишени из чистой меди и индия.

Установлено, что при плотности лазерной накачки на поверхности поликристаллической мишени $\leq 10^8 \text{ W/cm}^2$ средняя температура лазерной плазмы находится в диапазоне 0.55–0.77 eV, а для лазерной плазмы меди и индия на расстоянии от мишени $r = 1 \text{ mm}$ $T_e(\text{Cu}) = 0.4\text{--}1.8 \text{ eV}$ и $T_e(\text{In}) = 0.58\text{--}2.4 \text{ eV}$. В ядре лазерного факела (при $r = 1 \text{ mm}$) на основе CuInS_2 величина средней плотности электронов достигает $2.2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

Параметры лазерной плазмы на основе поликристаллической шихты могут быть использованы в микроэлектронике для оптимизации лазерной технологии изготовления элементов солнечных батарей.

Исследование количественных характеристик излучения лазерной плазмы Cu, In, Al, Ga, Sb и некоторых других металлов и полупроводников [1–3] при действии на соответствующую мишень излучения неодимового лазера умеренной мощности позволило перейти и к исследованию оптических характеристик и параметров лазерной плазмы сложного состава [4,5]. Подобная плазма на основе соединений $\text{CuInS}_2(\text{Se})_2$, $\text{CuSbS}_2(\text{Se})_2$, PbGa_2S_4 и некоторых других кристаллов широко используется в микроэлектронике для изготовления пленочных элементов высокоэффективных солнечных батарей [6], а также

некоторых других фотоэлектрических приборов [7,8]. Для оптимизации процесса лазерного напыления тонких пленок сложного состава важное значение имеет знание основных параметров плазмы лазерного факела (n_e , T_e) в области пространства, в которой происходит конденсация вещества лазерного факела на подложку. Параметры лазерной плазмы могут быть получены в результате количественной оптико-спектроскопической диагностики плазмы лазерного факела из поликристаллической мишени, проведенной с высоким временным и пространственным разрешением.

В данной статье представлены результаты исследования температуры и плотности электронов лазерной плазмы на основе поликристаллов CuInS_2 , а также чистой меди и индия.

Мишени из поликристаллической шихты CuInS_2 , меди и индия были установлены в вакуумную камеру (остаточное давление в камере $\leq 5-7$ Па). Лазерная плазма формировалась излучением импульсно-периодического неодимового лазера, которое фокусировалось на поверхность мишени ($5-7 \cdot 10^8$ W/cm²). Излучение лазерной плазмы отбиралось для анализа с оси лазерного факела при расстоянии до поверхности мишени $r = 1$ и 7 мм. Условия эксперимента, методика и техника регистрации излучения лазерной плазмы более подробно представлены в работах [9,10].

На рис. 1 представлены зависимости усредненных по времени заселенностей возбужденных состояний атомов — продуктов деструкции поликристаллов CuInS_2 и меди (при использовании чистой металлической мишени). Используя метод наибольшей правдоподобности [11], через точки на графиках проведено несколько прямых, которые распределяются на несколько близких направлений и отражают закон сохранения энергии: чем выше температура электронов, тем на более низком энергетическом уровне находится атом. Средняя температура электронов для лазерной плазмы поликристалла находится в диапазоне $T_e = 0.55-0.77$ eV, а для плазмы на основе чистых металлов она составляет $T_e(\text{Cu}) = 0.4-1.8$ eV и $T_e(\text{In}) = 0.58-2.4$ eV. Температура электронов в лазерной плазме меди более низкая, чем для плазмы индия, что может быть связано с более эффективной передачей энергии в глубину медной мишени вследствие ее более высокой теплопроводности. Малая величина $T_e(\text{CuInS}_2)$ и узкий диапазон ее разброса связаны, вероятно, с пористой структурой поликристаллической мишени.

На рис. 2 приведены временные зависимости температуры электронов в лазерной плазме меди и плотности электронов в лазерной плазме

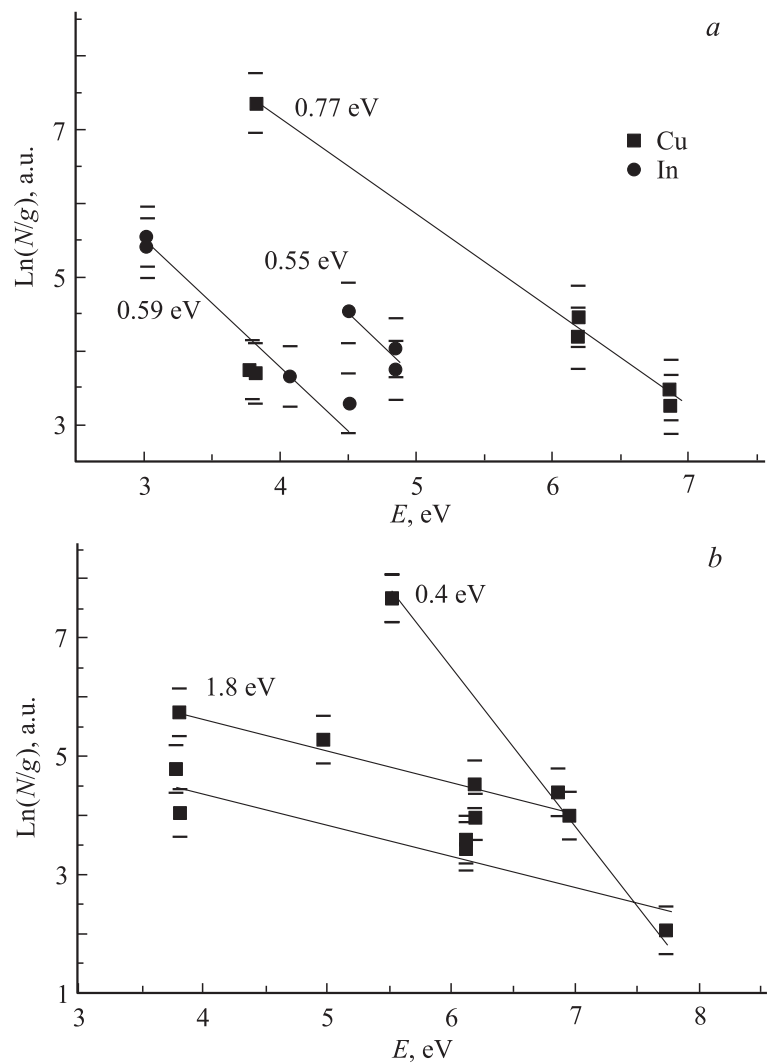


Рис. 1. Распределение заселенности возбужденных состояний атомов в лазерной плазме на основе поликристалла CuInS_2 (a) и чистой меди (b) ($r = 7$ mm).

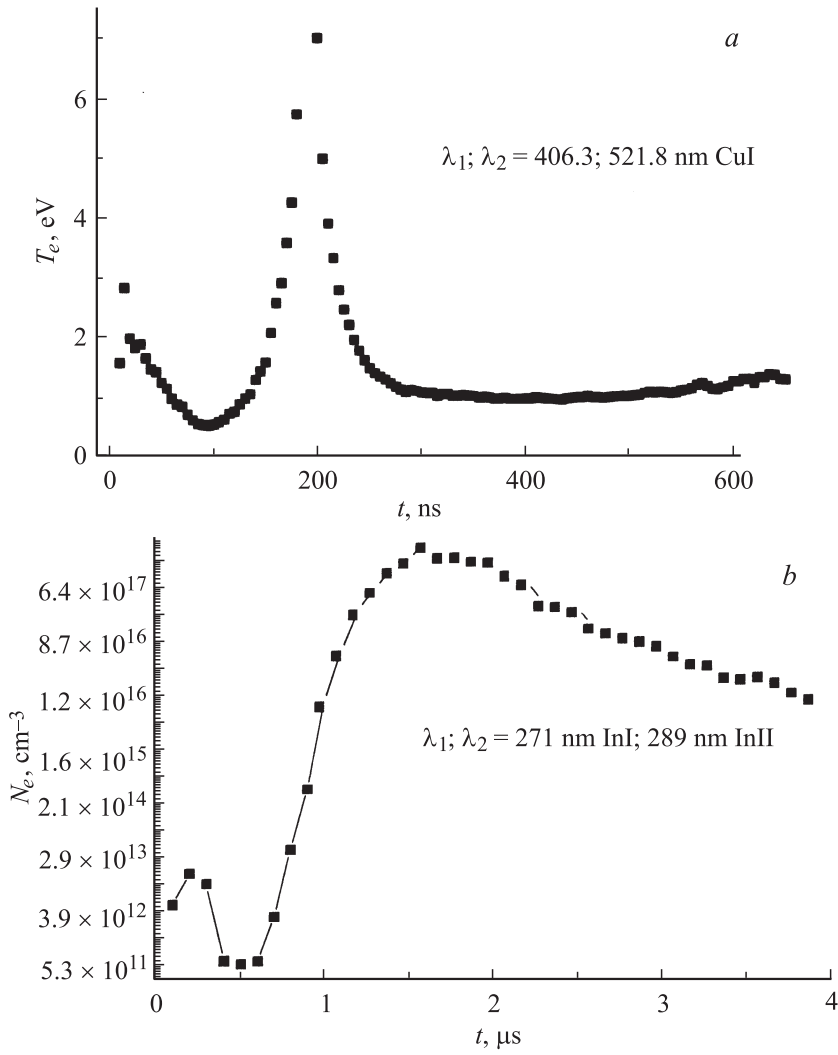


Рис. 2. Динамика изменения температуры электронов в лазерной плазме на основе меди ($r = 1$ mm) (a) и концентрации электронов в лазерной плазме индия ($r = 7$ mm) (b).

индия. В зависимости $T_e(t)$ для лазерной плазмы меди наблюдается несколько максимумов, где величина T_e достигает 3 и 7 eV. Для лазерного факела из меди наблюдалась инверсия заселенности при $t = 300\text{--}500$ ns, а для плазмы индия при $t = 2\text{--}5$ μs . Оценки величины плотности электронов, выполненные на основании средних значений T_e (из рис. 1), показали, что: $n_e(\text{In}) = 9.4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ($r = 1$ mm) и $1.9 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ($r = 7$ mm); $n_e(\text{Cu}) = 4.4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ($r = 7$ mm) и $n_e(\text{CuInS}_2) = 2.2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ($r = 1$ mm). Для зависимости $n_e(t)$ в лазерной плазме индия (рис. 2, b) первый максимум плотности электронов находится между быстрым фронтом и основной частью ионов. Другой максимум появляется сразу же за основным максимумом излучения ионов, а сама величина $n_e(\text{In})$ изменяется в диапазоне $10^{11}\text{--}10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Таким образом, исследование параметров лазерной плазмы поликристалла CuInS₂ меди и индия оптико-спектроскопической методикой с временным и пространственным разрешением показало: средняя температура электронов лазерной плазмы на основе соединения CuInS₂ является достаточно однородной и находится в диапазоне 0.55–0.77 eV, а для лазерной плазмы чистых металлов при $r = 7$ mm $T_e(\text{Cu}) = 0.4\text{--}1.8$ eV и $T_e(\text{In}) = 0.58\text{--}2.4$ eV, величина плотности электронов для лазерной плазмы поликристалла составляет $2.2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (при $r = 1$ mm), что в два раза меньше, чем для плазмы ядра лазерного факела меди, и в 4.3 раза меньше, чем для плазмы индия; величина $n_e(\text{In})$ (при $r = 7$ mm) на протяжении времени 4 μs изменяется в диапазоне $10^{11}\text{--}10^{18} \text{ cm}^{-3}$; полученные результаты могут быть использованы для оптимизации лазерного напыления тонких пленок из поликристаллической мишени на основе соединения CuInS₂.

Выражаем благодарность ст.н.с. А.И. Дашенко за помощь в проведении исследования характеристик оптического излучения лазерной плазмы.

Список литературы

- [1] Shuaibov A.K., Shimon L.L., Dashchenko A.J., Chuchman M.P. // Uzhhorod University Scientific Herald. Ser. Phys. 2000. Issue. 8. Part 2. P. 348–352.
- [2] Шуайбов А.К., Шимон Л.Л., Дашенко А.И., Шевера И.В., Чучман М.П. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 1. С. 85–88.
- [3] Шуайбов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. // ТВТ. 2001. Т. 39. № 3. С. 357–362.

- [4] Шуаибов А.К., Дащенко А.И., Шевера И.В. // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 7. С. 658–663.
- [5] Shuaibov A.K., Shimon L.L., Dashchenko A.J., Kacher I.E., Chuchman M.P. // Journal of Physical Studies. 2002. V. 6. N 2. P. 168–171.
- [6] Nakabayashi T., Miyazawa T., Hashimoto K.J. // Solar Energy Materials and Solar Cells. 1997. V. 49. P. 375–381.
- [7] Sano H., Hirasawa H., Nakamura S., Kondo K., Sato K. // Jap. Journ. Appl. Phys. 1998. V. 37. N 1. P. 1760–1763.
- [8] Кужушкин С.А., Осипов А.В. // УФН. 1998. Т. 168. № 10. С. 1083–1116.
- [9] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Чучман М.П. // Укр. физ. журн. 2001. Т. 46. № 11. С. 1144–1147.
- [10] Качер И.Э., Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // ПТЭ. 2001. № 5. С. 152–153.
- [11] Корн Г., Корн Т. // Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1977. 832 с.