

Генерация третьей гармоники пикосекундного излучения Nd:YAG-лазера в коллоидных растворах платины и меди

Р.А.Ганеев*, А.И.Рясянский**, Т.Усманов*

Исследована генерация третьей гармоники лазерного излучения в коллоидных растворах платины и меди. Измеренные значения $\chi^{(3)}$ этих растворов на длине волны 1064 нм оказались равными $2 \cdot 10^{-14}$ и 10^{-14} ед. СГСЭ, а эффективности преобразования в третью гармонику излучения Nd:YAG-лазера составили соответственно $7 \cdot 10^{-7}$ и $3 \cdot 10^{-7}$.

Ключевые слова: генерация третьей гармоники, коллоидные растворы, пикосекундное излучение.

Интерес к коллоидным растворам связан с возможностью их практического и научного применения (оптическое ограничение, оптоэлектроника и т. д.). Возможность использования подобных сред в оптоэлектронике обусловлена их большим и малоинерционным нелинейно-оптическим откликом на внешнее воздействие. Агрегация микрочастиц коллоидных металлов ведет к увеличению нелинейно-оптического отклика, в частности к существенному увеличению интенсивности вырожденного четырехфотонного рассеяния [1]. Последнее обусловлено ростом амплитуды локальных полей во фрактальных кластерах с высокой поляризуемостью. Нелинейно-оптические характеристики коллоидных растворов металлов исследовались в ряде работ (см., напр., [2–4]). Отметим, однако, отсутствие работ по преобразованию частоты лазерного излучения в подобных средах.

Ниже представлены результаты исследования генерации третьей гармоники (ГТГ) излучения пикосекундного Nd:YAG-лазера в коллоидных растворах платины и меди. Определены нелинейные восприимчивости и эффективности преобразования данного процесса в этих средах.

Длительность импульса излучения Nd:YAG-лазера ($\lambda = 1064$ нм) составляла 35 пс, энергия импульса была равна 2 мДж. Излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 25 см в кювету с коллоидными раствором толщиной 5 мм и регистрировалось калиброванным фотодиодом ФД24К и цифровым вольтметром В4-17. Преобразованное излучение ($\lambda = 354.7$ нм) отфильтровывалось фильтром УФС-2 от излучения накачки и направлялось в дифракционный спектрограф ДФС-452. На его выходе устанавливался ФЭУ-106, сигнал с которого поступал на цифровой вольтметр В4-17. Для измерения абсолютных значений эффективности преобразования в коллоидных растворах калибровка используемой аппаратуры производилась по ГТГ в кристалле KDP.

Методика приготовления коллоидных растворов была следующей. Исходным веществом для приготовления

стандартного коллоидного раствора являлась металлическая платина, 0.1 г которой при нагревании растворялась в нескольких миллилитрах смеси азотной и соляной кислот. Сухой остаток (после выпаривания раствора) вновь растворялся в 20 мл разбавленной (1:1) соляной кислоты. В результате 1 мл раствора содержал 1 мг платины.

Для того чтобы приготовить стандартный раствор коллоидной меди, 4 г CuSO_4 растворялись в одном литре дистиллированной воды. В этом случае 1 мл раствора содержал 1 мг меди. Согласно электронно-микроскопическому анализу, размеры кластеров металлов варьировались (в зависимости от степени агрегации металла) от 10 до 60 нм.

На рис.1 показана зависимость сигнала третьей гармоники (ГТГ) от интенсивности накачки для коллоидной платины. Наклон зависимости $I_{3\omega}(I_\omega)$ составил 2.8 во всем интервале исследованных интенсивностей, что близко к теоретически ожидаемому результату (3.0). Эксперименты проводились при интенсивностях ниже порога оптического пробоя коллоидных растворов ($I_b = 4 \cdot 10^{11}$ Вт/см²). Максимальные эффективности преобразования излучения накачки в ГТГ для коллоидной платины и меди составили соответственно $7 \cdot 10^{-7}$ и $3 \cdot 10^{-7}$.

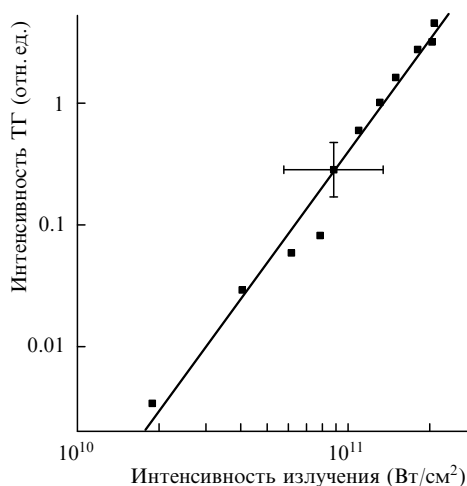


Рис.1. Зависимость сигнала ГТГ от интенсивности излучения накачки для коллоидной платины.

*НПО «Академприбор», Узбекистан, 700143 Ташкент, Академгородок; эл. почта: ganeev@acpr.silk.org

**Самаркандский государственный университет им. А. Навои, Узбекистан, 703004 Самарканд, Университетский б-р, 15

Попытка получить преобразование излучения накачки в ТГ в ряде других коллоидных растворов (коллоидном серебре и коллоидном золоте) успехом не увенчалась.

Для получения фазового синхронизма при ГТГ в случае взаимодействия плоских волн необходимо выполнение условия $\Delta k = k_3 - 3k_1 = 0$ (здесь k_3 и k_1 – волновые векторы излучения гармоники и накачки). Наши экспериментальные условия отвечали этому случаю. Конфокальный параметр излучения при фокусировке линзой с фокусным расстоянием $F = 25$ см составлял 23 мм при длине нелинейной среды 5 мм, т. е. процесс преобразования осуществлялся в условиях взаимодействия плоских волн.

Как известно, реализация условия $\Delta k = 0$ возможна лишь тогда, когда частота генерируемой гармоники попадает в область аномальной дисперсии среды [5]. В области же $\lambda = 354.7$ нм как коллоидная платина, так и коллоидная медь обладают нормальной дисперсией. Данный вывод сделан на основе исследования спектров поглощения этих сред. Оптические характеристики агрегированных металлов определяются зависимостью скорости изменения частоты плазменных колебаний и их длинноволнового крыла от степени агрегации [6].

Этот параметр, введенный в работе [4], основан на ряде теоретических и экспериментальных исследований изменений спектрального поглощения коллоидных металлов вблизи плазменного резонанса при изменении степени агрегации. Уширение спектров поглощения агрегированных коллоидов обуславливается взаимодействием мультиполей, наведенных электромагнитным полем в металлических кластерах [7].

Таким образом, наблюдавшийся нами процесс имел место в условиях, далеких от фазового синхронизма. Нелинейная восприимчивость, ответственная за ГТГ, определяется в этом случае выражением [8]

$$\left| \chi^{(3)} \right|^2 = \frac{\lambda_1^2 n_3 n_1^3 c^2 \eta}{256 \sqrt{3} (\ln^3 2) \pi^5 L^2 I_\omega^2} \left[\frac{\sin(\Delta k L / 2)}{\Delta k L / 2} \right]^{-2}, \quad (1)$$

где λ_1 и I_ω – длина волны и интенсивность излучения накачки; n_1 , n_3 – показатели преломления среды на длинах волн излучения накачки и ТГ; c – скорость света; η – эффективность преобразования; L – длина нелинейной среды; $\Delta k = 6\pi(n_3 - n_1)/\lambda_1$ – разность волновых векторов излучения гармоники и накачки.

Нелинейные восприимчивости коллоидных растворов Pt и Cu, определенные из выражения (1) с учетом

наших экспериментальных условий, составили $2 \cdot 10^{-14}$ и 10^{-14} ед. СГСЭ соответственно.

Мы провели оценки влияния высокочастотного эффекта Керра на изменение фазовых характеристик процесса ГТГ в этих средах. Нелинейный показатель преломления n_2 коллоидных растворов был измерен по стандартной методике [9] и составил на длине волны $\lambda = 1064$ нм для коллоидной платины и коллоидной меди $1.1 \cdot 10^{-14}$ и $4.2 \cdot 10^{-14}$ ед. СГСЭ соответственно. Согласно проведенным расчетам, такая нелинейная добавка к показателю преломления не должна при используемых интенсивностях существенно влиять на кубическую зависимость $I_{3\omega}(I_\omega)$.

Отметим, что ранее подобное отклонение наблюдалось нами в легированных фуллеренами (C_{70}) полиимидных пленках, обладающих существенно большими нелинейными добавками к показателю преломления. Аналогичное отклонение наблюдалось также в случае жесткой фокусировки в газовых средах [10, 11], когда высокочастотный эффект Керра приводил к расстройке фазового синхронизма и снижению скорости роста интенсивности ТГ с увеличением интенсивности накачки. Отметим, что возможна и обратная ситуация, когда для сред с положительным n_2 при росте интенсивности накачки фазовый параметр $\sin^2(\Delta k L / 2) / (\Delta k L / 2)^2$ увеличивается вследствие волновой расстройки. Подобная картина может приводить и к созданию оптимальных условий фазового согласования при ГТГ [11].

1. Бутенко А.В., Шалаев В.М., Штокман М.И. *ЖЭТФ*, **94**, № 1, 107 (1988).
2. Данилова Ю.Э., Драчев В.П., Перминов С.В., Сафонов В.П. *Изв.РАН.Сер.физич.*, **60**, № 3, 18 (1996).
3. Карпов С.В., Попов А.К., Слабко В.В. *Изв.РАН.Сер.физич.*, **60**, № 6, 43 (1996).
4. Mehendale S.C., Mishra S.R., Bindra K.S., Langhate M., Dhami T.S., Rustagi K.C. *Optics Comms*, **133**, 273 (1997).
5. Reintjes J.F. *Nonlinear optical parametric processes in liquids and gases* (N.Y., Academic Press, 1984).
6. Карпов С.В., Басько А.А., Кошелев С.В., Попов А.К., Слабко В.В. *Коллоид.ж.*, **59**, 765 (1997).
7. Маркель В.А., Муратов Л.С., Штокман М.И. *ЖЭТФ*, **98**, 819 (1990).
8. Кулагин И.А., Усманов Т. *Квантовая электроника*, **25**, 1121 (1998).
9. Sheik-Bahae M., Said A.A., Wei T., Hagan D.J., van Stryland E.W. *IEEE J. Quantum Electron.*, **26**, 760 (1990).
10. Zych L.J., Young J.F. *IEEE J. Quantum Electron.*, **14**, 147 (1978).
11. Ganeev R.A., Kulagin I.A., Begishev I.A., Redkorechev V.I., Usmanov T. *Nonlinear Optics*, **16**, 109 (1996).