

FULLERENES, NANOTUBES AND NANOCCLUSERS AS NONLINEAR OPTICAL LIMITERS

Belousov V.P., Belousova I.M., Danilov O.B., Grigorev V.A., Gavronskaya E.A.,
Kris'ko A.V., Mironova N.G., Murav'eva T.D., Scobelev A.G.*, Yur'ev M.S.,
Ponomarev A.N.⁽¹⁾

Institute for Laser Physics, 12 Birzhevaya line, 199034, St.Petersburg, Russia

⁽¹⁾ Astrin Ltd, 4 Srednii pr. V.O., 199003, St.Petersburg, Russia

Introduction

The intensive development of laser technics set a problem of recording equipment and human eyes protection from power laser radiation. Nonlinear optical limiters are designed for this problem solving. Nonlinear optical limiter – is the device which transmission decreases with increasing of input energy density or intensity. Fullerene-containing media, suspensions of carbon nano-particles and nano-clusters are perspective media for nonlinear optical limiters design.

Results and discussion

The processes of nonlinear optical limiting in fullerene-containing media (solutions and solid-state matrices), in suspensions of carbon nanoparticles and nanoclusters were investigated.

I. Fullerene-containing media

Experimental and theoretical investigations [1] showed that nonlinear optical limiting in fullerene-containing media is determined by two basic processes – reverse saturable absorption (RSA) and light induced scattering.

Обратное насыщаемое поглощение – reverse saturable absorption (RSA)

When fullerene molecule absorbs quantum of light it transforms to excited singlet or triplet state, which absorption cross section exceed the one of ground state

Light induced scattering by fine scale inhomogeneities

Incident fine-scale spatial profile laser beam inhomogeneities are transformed into the heating inhomogeneities, which result in the density and refractive index inhomogeneities and in light scattering by it.

Experimental and theoretical studies showed:

1. Light induced scattering is absent in solid-state fullerene-containing matrices. Nonlinear optical limiting in these media is defined by RSA.

2. With pulse duration decrease the contribution of light induced scattering to optical limiting decreases (when input energy density and medium parameters are fixed) and completely vanishes in picosecond region. Whereas the RSA efficiency practically does not depend on pulse duration.

3. Nonlinear optical limiting in fullerene-containing solutions exists in wide spectral range 0.3-1.315 nm .

Several variants of multi-stage schemes of optical limiters on the base of fullerene-containing systems C₆₀-CCl₄, C₆₀-toluene are designed.

II. Carbon particles suspensions

In recent years the suspensions of carbon particles have attracted much interest in the context of the problem of nonlinear limiting of laser radiation . Since carbon particles absorb light in a wide spectral range, suspensions of carbon particles are regarded as a promising candidate for creating a wide band absorbers with color-comfortable vision through it.

Experimental and theoretical investigations showed that nonlinear optical limiting in suspensions of carbon particles is determined by two basic processes:

-light induced scattering by vapour bubbles, which are formed around carbon particle, heated up to the temperature of explosive boiling of surrounding liquid

-light induced scattering by bubbles of carbon vapour, which are formed around carbon particle, heated up to the temperature of carbon sublimation

The main advantages of carbon suspensions in comparison with fullerene-containing media

-more wide spectral range of limiting

-the lack of coloring, i.e. the limiters on the base of carbon particles suspensions represent the “grey” nonlinear-optical filter.

The disadvantage of such limiters is the non-reversible sublimation under the action of intense laser radiation with input energy densities >1 J/cm², i.e. one cannot use them for the multiple (periodic) action of laser radiation.

III. Suspensions of fulleroid nanoclusters

* Fax: 7(812) 328-58-91 E-mail: spam80@jandex.ru

Taking into account the disadvantage of the carbon nanoparticles suspensions, we have proposed and investigated from the point of view of nonlinear-optical limiters the suspensions of the fulleroid-type carbon nanoclusters – astralenes (Russian Federation Patent # 200117530/28(018350) of June 18, 2001).

Nonlinear optical properties of astralenes suspensions were studied by Nd:YAG-laser (wave length $\lambda=532$ nm and $\lambda=353$ nm) and by photo dissociation iodine laser (wave length $\lambda=1315$ nm)

Preliminary investigations of mechanisms of nonlinear optical limiting by astralenes suspensions showed the existence of two basic mechanisms – light induced scattering (analogous to the one in carbon nanoparticles suspensions) and reverse saturable absorption (analogous to the one in fullerene-containing media). Taking into account the very high temperature of astralene sublimation (much higher than the one of carbon particle), one can suppose that the optical limiting in astralenes is produced only by phase transition liquid – vapor – unlike the carbon nanoparticles. This important factor provides the possibility to repeatedly use astralenes for periodic action of laser radiation.

Optical limiting schemes in focused beams are the most promising. Focusing helps to achieve the higher energy densities in the cell volume and therefore to reduce the limiting threshold. The cell with astralene suspension was placed in a focal

point of telescope system. Using such focusing scheme demonstrates possibility of energy attenuation by a factor of 400.

On the base suspension of astralene there was developed multistage limiter of laser radiation with dynamic range of limiting 10^3 from 10 J/cm² to 10 mJ/cm², with response time 10^{-9} sec and initial transmission $\sim 50\%$, with color comfort and with working band from 0.3 to 1.315 μ m.

Conclusions

Astralene suspensions have more advantageous set of limiting parameters (wide spectral range, absence of limiter color, i.e. color-comfortable vision through limiter, efficiency of limiting, possibility to use astralenes for periodic action of laser radiation) in comparison with fullerene-containing media and suspensions of carbon particles.

References

1. Belousova I.M., Grigorev V.A., Danilov O.B., Kalintsev A.G., Kris'ko A.V., Mironova N.G., Yur'ev M.S. Role of Light-Induced Scattering in the Optical Limitation of Laser Radiation on the Basis of Fullerene-Containing Media. Optics and Spectroscopy 2001; 90 (2):341-351

ФУЛЛЕРЕНЫ, НАНОТРУБКИ И НАНОКЛАСТЕРЫ В КАЧЕСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ

Белоусов В.П., Белоусова И.М., Данилов О.Б., Григорьев В.А., Гавронская Е.А., Крисько А.В., Миронова Н.Г., Муравьева Т.Д., Скобелев А.Г.*¹, Юрьев М.С., Пономарев А.Н.⁽¹⁾

Россия, Санкт-Петербург, 199034, Биржевая линия 12, Институт Лазерной Физики

⁽¹⁾ Россия, Санкт-Петербург, 199003, Средний пр. В.О. 41, АОЗТ «Астрин»

Введение

Бурное развитие лазерной техники поставило задачу защиты регистрирующей аппаратуры и органов зрения от случайного попадания мощного лазерного излучения. Для решения этой задачи необходимо создание нелинейных оптических ограничителей - защитных устройств, пропускание которых быстро уменьшается с увеличением попадающего на них излучения, ограничивая проходящее излучение до безопасного уровня. Фуллереносодержащие среды, суспензии углеродных наночастиц и нанокластеров являются перспективными средами для создания нелинейных ограничителей лазерного излучения.

Результаты и обсуждение

Были исследованы процессы нелинейного оптического ограничения в фуллереносодержащих средах (растворах и твердотельных матрицах), суспензиях углеродных наночастиц и фуллероидных нанокластерах.

1. Фуллереносодержащие среды

Экспериментальные и теоретические исследования показали, что нелинейное оптическое ограничение в фуллереносодержащих средах определяется двумя основными процессами обратным насыщаемым поглощением и фотоиндуцированным рассеянием [1]:

Обратное насыщаемое поглощение – reverse saturable absorption (RSA)

При поглощении кванта света молекула переходит в возбужденное синглетное или триплетное состояние, сечение поглощения которого превышает сечение поглощения с основного состояния

Светоиндуцированное рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях

Неоднородности пространственного профиля лазерного пучка трансформируются в неоднородности нагрева, что, в свою очередь, приводит к возникновению мелкомасштабных

неоднородностей плотности и показателя преломления и к рассеянию световых волн на этих неоднородностях.

Экспериментально и теоретически было показано:

1. Светоиндуцированное рассеяние отсутствует в твердотельных фуллереносодержащих матрицах, и нелинейное оптическое ограничение в данных средах определяется только RSA.

2. С уменьшением длительности импульса (при фиксированной плотности падающей энергии и параметрах среды) вклад светоиндуцированного рассеяния в нелинейное оптическое ограничение ослабевает, и полностью исчезает в пикосекундном диапазоне, тогда как эффективность RSA остается практически постоянной.

3. Нелинейное оптическое ограничение в фуллереносодержащих растворах присутствует в широком спектральном диапазоне 0.3 – 1.315 мкм.

Разработаны различные варианты многопроходных схем оптических ограничителей на основе C₆₀-толуол, C₆₀-CCl₄.

2. Суспензии углеродных наночастиц

В последнее время возрос интерес к созданию оптических ограничителей на суспензиях углеродных наночастиц. Причина состоит в том, что углеродные частицы поглощают свет в широком спектральном диапазоне и на их базе могут быть созданы широкополосные ограничители лазерной энергии, не имеющие окраски.

Экспериментальные и теоретические исследования показали, что нелинейное оптическое ограничение в суспензиях углеродных наночастиц определяется двумя основными процессами

- светоиндуцированное рассеяние на пузырьках пара жидкости, образовавшихся вокруг частицы, нагретой до температуры взрывного вскипания;

- светоиндуцированное рассеяние на пузырьках углеродного пара, образовавшихся вокруг

частицы, нагретой до температуры сублимации углерода;

Основные преимущества суспензий углеродных частиц перед фуллеренсодержащими средами:

- более широкий спектральный диапазон ограничения
- отсутствие окрашенности, то есть ограничители на суспензиях углеродных частиц представляют собой “серый” нелинейно-оптический фильтр.

Недостатком ограничителей на углеродных наночастицах является их необратимая сублимация при воздействии интенсивного лазерного излучения при плотности входной энергии больше 1 Дж/см^2 , то есть невозможность использования при многократном (периодическом) воздействии лазерного излучения.

2. Суспензии фуллероидных нанокластеров

Учитывая недостаток суспензий углеродных наночастиц, нами были предложены и исследованы в качестве нелинейно-оптических ограничителей суспензии фуллероидных нанокластеров – астраленов. (патент #200117530/28 (018350) от 18 июня 2001 г).

Изучение оптического ограничения суспензии астраленов проводилось на Nd:YAG-лазере на длине волны $\lambda=532 \text{ нм}$, 353 нм , а также фотодиссоционном йодном лазере на длине волны $\lambda=1315 \text{ нм}$. Предварительные исследования механизма ограничения суспензиями фуллероидных нанокластеров – астраленов показало наличие двух механизмов нелинейного оптического ограничения – светоиндуцированного рассеяния, аналогичного вышеописанному для углеродных суспензий и обратного насыщаемого поглощения, аналогичного вышеописанному для фуллеренсодержащих сред.

Учитывая, что астралены обладают сверхвысокой температурой сублимации (существенно большей, чем углеродные

наночастицы) возможно предположить, что оптическое ограничение на астраленах связано только с одним фазовым переходом жидкость – пар, в отличие от углеродных наночастиц. Этот важный фактор позволяет многократно использовать астралены в режиме оптического ограничения при высоких плотностях энергии.

Наиболее эффективными являются схемы оптического ограничения в сфокусированных пучках. За счет фокусировки достигается большая плотность энергии в объеме кюветы, что снижает порог рассеяния. Схема фокусировки представляла собой однократный телескоп, в фокусе которого помещалась кювета с исследуемой суспензией. Использование схемы с фокусировкой демонстрирует возможность 400 кратного ослабления энергии.

На основе суспензии астраленов был разработан многопроходовой ограничитель лазерного излучения с динамическим диапазоном ограничения 10^3 от 10 Дж/см^2 до 10 мДж/см^2 , быстродействием 10^{-9} , начальным пропусканием более 50 %, спектральным диапазоном работы 0.3-1.315 мкм, цветовым комфортом видения.

Выводы

По ряду параметров (широкополосность, неокрашенность среды – «комфорт видения», эффективность ограничения, возможность многократного использования) суспензии астраленов показали себя более перспективными по сравнению с фуллеренсодержащими средами и суспензиями углеродных наночастиц.

Литература

1. Белоусова И.М. Григорьев В.А. Данилов О.Б., Калинин А.Г., Крисько А.В., Миронова Н.Г., Юрьев М.С. Роль светоиндуцированного рассеяния в оптическом ограничении лазерного излучения на основе фуллеренсодержащих сред. Оптика и спектроскопия 2001; 90 (2):341-351

* Fax: 7(812) 328-58-91 E-mail: spam80@jandex.ru