(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202193106 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.04.27

(22) Дата подачи заявки
2019.06.12

(51) Int. Cl. ***G02B 1/00*** (2006.01)
G02B 5/20 (2006.01)
B82Y 30/00 (2011.01)
B82Y 40/00 (2011.01)
C01B 32/152 (2017.01)

(54) ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР НА ЭФФЕКТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ В ПРОСТРАНСТВАХ КВАНТОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

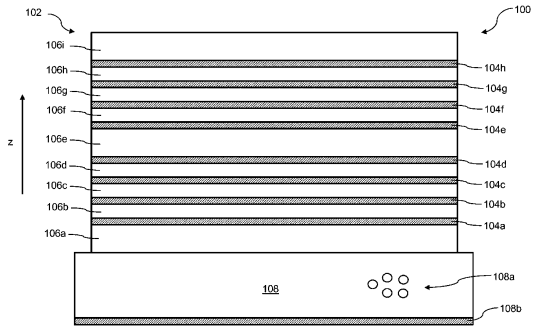
(86) **PCT/EP2019/065365**
(87) **WO 2020/249207 2020.12.17**

(71) Заявитель:
ФИЛДПОЙНТ (САЙПРЕС) ЛИМИТЕД (CY)

(72) Изобретатель:
Коруга Джюро (RS)

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(57) Оптический фильтр может содержать слоистую структуру, содержащую множество слоев, расположенных друг над другом в направлении по толщине слоистой структуры и включающих в себя множество нанофотонных слоев, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и по меньшей мере один подложечный слой, сформированный из оптически прозрачного материала, причем один из по меньшей мере одного подложечного слоя расположен между двумя из множества нанофотонных слоев в направлении по толщине слоистой структуры.



202193106 A1

202193106 A1

ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР НА ЭФФЕКТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ В ПРОСТРАНСТВАХ КВАНТОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Область техники, к которой относится изобретение

Различные варианты осуществления относятся в целом к оптическим фильтрам, а также к очкам и устройствам генерирования гиперсвета с оптическими фильтрами. Дополнительные варианты осуществления относятся к оптическим линзам, средствам внутреннего освещения, средствам наружного освещения, пленкам для портативных электронно-вычислительных машин (ЭВМ), мобильных телефонов, остеклению транспортных средств (легковых и грузовых), остеклению летательных аппаратов, окнам в целом, например, окнам зданий, а также к игрушкам, содержащим соответствующие оптические фильтры.

Уровень техники

За последние несколько лет существенно возросло значение фототерапии, в частности, но не исключительно – при лечении кожных болезней. В данной области общепризнано, что терапевтический эффект во многом зависит от характеристик применяемого в терапии света, при этом не только от диапазона длин световых волн, но и от пространственного распределение фотонов, зависящего, например, от момента импульса. Влияние этих характеристик на терапевтический эффект активно изучалось в последние годы. Примеры разработок в данной области включают в себя, помимо прочих, раскрытые в документах US 2008/286453 A1 и WO 2017/211420 A1.

С дополнительными аспектами, относящимися к настоящему раскрытию, можно ознакомиться в документах: US 5,640,705; Андреани, К.Л. (Andreani, C.L), «Экситонные поляритоны в объемных полупроводниках и в локализованных системах электронов и фотонов» (Exciton-Polaritons in Bulk Semiconductors and in Confined Electron and Photon Systems), стр. 37-82, 2014, в работах под редакцией Оффев, А. и др. (Auffeves. A et al), «Сильное взаимодействие света с веществом: от атомов до твердотельных систем» (Strong Light-matter coupling: From atoms to solid-state systems), World Scientific, ISBN 978-981-4460-34-7; Карузотто, И. (Carusotto, I.) и Чиути, К. (Ciuti, C.), «Жидкостные квантовые световоды» (Quantum fluids of light), arXiv:1205.6500v3, 17 октября 2012; Кастеллетто С. (Castelletto, S) и др.: «Карбидокремниевый однофотонный источник, работающий при комнатной температуре» (A silicon carbide room temperature single-photon source), журнал «Nature Materials», 13, 151-156, 2014; Дель Негро и др. (Del Negro et al.), «Перенос света через состояния на границе зоны квазикристаллов Фибоначчи» (Light

transport trough the band - edge states of Fibonacci quasicrystals), журнал «Physical Review Letters», 90(5):055501-1-4, 2003; Кавокин, А.В. и др., «Микрорезонаторы» (Microcavities), Издательство «Oxford University Press», Оксфорд, 2017; Лунис, Б. (Lounis, B.) и Мёрнер, В.Е. (Moerner, W. E.), «Одиночные фотоны в нужный момент из единичной молекулы при комнатной температуре» (Single photons on demand from a single molecule at room temperature», Журнал «Nature», 407: 491-493, 2000; Коруга, Дж. (Koruga, Dj), «Гиперполяризованный свет. Основы нанобиомедицинской фотоники» (Hyperpolarized light": Fundamentals of nanobiomedical photonics), издательство «Zepter Book World», Белград, 2018; Михлер, П. (Michler, P.) и др., «Квантовая корреляция между фотонами из единичной квантовой точки при комнатной температуре» (Quantum correlation among photons from a single quantum dot at room temperature), журнал «Nature», 406: 968-970, 2000; Моради, А. (Moradi A.), «Распространение электромагнитных волн в хаотических молекулах C_{60}» (Electromagnetic wave propagation in a random distribution of молекула C60s), Журнал «Physics of Plasmas», 21,104508, 2014; документах WO 9604958 A1; и WO 9604959 A1.

Эффективное преобразование света, испускаемого известными источниками света, применяемыми в фототерапии, в свет с заранее определенными характеристиками, например – заранее определенным пространственным распределением фотонов, зависящим от моментов импульса, имеет огромное значение для высокой эффективности фототерапии.

Сущность изобретения

В настоящем изобретении предложен оптический фильтр. Оптический фильтр может содержать слоистую структуру, содержащую множество слоев, расположенных друг над другом в направлении по толщине слоистой структуры и включающих в себя: множество нанофотонных слоев, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и по меньшей мере один подложечный слой, сформированный из оптически прозрачного материала, причем указанный по меньшей мере один подложечный слой расположен между двумя из множества нанофотонных слоев в направлении по толщине слоистой структуры.

Краткое описание чертежей

Аналогичные номера позиций на чертежах, как правило, обозначают одни и те же детали на разных видах. Чертежи могут не быть выполнены в масштабе, при этом основная цель состоит в том, чтобы проиллюстрировать принципы

изобретения. В нижеследующем описании различные варианты осуществления изобретения будут раскрыты на примерах следующих чертежей, где:

ФИГ. 1 – схематический чертеж, иллюстрирующий основные характеристики гиперсвета;

ФИГ. 2 изображает три вращательных состояния молекулы C_{60};

ФИГ. 3 схематически иллюстрирует различные механизмы взаимодействия света с молекулой C_{60} в качестве нульмерного резонатора;

ФИГ. 4a – график, иллюстрирующий энергетические спектры фотона, экситона и поляритона в зависимости от эффективной силы взаимодействия;

ФИГ. 4b – график, иллюстрирующий энергетические спектры фотона, экситона и поляритонов в зависимости от момента;

ФИГ. 5 – схематический чертеж, иллюстрирующий оптический фильтр по примеру осуществления настоящего раскрытия;

ФИГ. 6 иллюстрирует влияние двумерного резонатора по настоящему раскрытию на состояния поляризации падающего света с помощью сферы Пуанкаре;

ФИГ. 7 – схематический чертеж, иллюстрирующий оптический фильтр по другому примеру осуществления настоящего раскрытия;

ФИГ. 8 – схематический чертеж, иллюстрирующий оптический фильтр по еще одному примеру осуществления настоящего раскрытия;

ФИГ. 9a-9d – схематические чертежи, иллюстрирующие возможные варианты применения оптических фильтров по настоящему раскрытию;

ФИГ. 10 – схематический чертеж, иллюстрирующий пример терапевтической лампы, содержащей оптический фильтр по настоящему раскрытию;

ФИГ. 11-24 – графики характеристик фильтров по настоящему раскрытию; и

ФИГ. 25 – сводная таблица результатов измерений, выполненных с помощью оптических фильтров по настоящему раскрытию.

Осуществление изобретения

В нижеследующем разделе «Осуществление изобретения» характерные признаки и возможные варианты осуществления изобретения проиллюстрированы на примерах прилагаемых чертежей.

«Пример» в данном случае означает «служащий в качестве примера или иллюстрации». Никакой из раскрытых в настоящем документе вариантов осуществления и конструктивных решений, охарактеризованных как «пример», не

следует обязательно толковать как предпочтительный или обладающий преимуществом перед другими вариантами осуществления или конструктивными решениями.

В результате серьезных исследований, проведенных в последние несколько лет, было установлено, что терапевтический эффект фототерапии можно значительно повысить за счет применения света фотонов, пространственно-упорядоченных по моменту импульса. Свет данного типа далее по тексту описания именуется «гиперсвет». Характеристики гиперсвета будут кратко описаны ниже на примере ФИГ. 1.

ФИГ. 1 схематически иллюстрирует характеристики гиперсвета 10. На ФИГ. 1, фотоны исходят из центральной точки 12 и упорядочены по моменту импульса по соответствующим спиралям.

Спиральное расположение фотонов с разными моментами импульса схоже с расположением семян подсолнечника. Семена в подсолнечнике расположены по спиралям, при этом одна группа спиралей является левовращающей, а другая группа спиралей – правовращающей. Соотношение числа правовращающих спиралей и числа левовращающих спиралей подчиняется закону золотого сечения $\Phi=(1+\sqrt{5})/2 \approx 1.62$.

Число правовращающих спиралей и левовращающих спиралей, связанных с моментами импульса в гиперсвете на ФИГ. 1, также подчиняется закону золотого сечения. В частности, на ФИГ. 1 можно выявить 21 левовращающую и 34 правовращающих спирали, соотношение которых подчиняется закону золотого сечения Ф.

Гиперсвет может быть сгенерирован в результате резонансного излучения энергетических собственных состояний T_{1g}, T_{2g}, T_{1u} и T_{2u} C_{60}. Однако это подразумевает наличие некоторых ограничений с учетом энергии падающего света.

В настоящем раскрытии предложен альтернативный путь генерирования гиперсвета, в основе которого лежат поляритоны, т.е. пары «фотон – экситон», в резонаторе, образованном нанофотонным материалом с симметрией икосаэдра или додекаэдра. Он будет подробно разъяснен ниже, начиная с краткого описания характеристик нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра.

В качестве примера нанофотонного материала с симметрией икосаэдра рассмотрим фуллерены C_{60}. C_{60} состоит из 60 атомов углерода, упорядоченных с образованием 12 пятиугольников и 20 шестиугольников. C_{60} имеет две длины связи. Первая длина связи образована длиной грани между двумя соседними

шестиугольниками, а вторая длина связи – длиной грани между шестиугольником и соседним пятиугольником, при этом первая длина связи больше второй длины связи. Молекулы C_{60} имеют диаметр приблизительно 1 нанометр (нм) и вращаются в твердом теле со скоростью от 1.8 до $3 \cdot 10^{10}$ оборотов в секунду вокруг одной из 31 осей вращения, которые можно охарактеризовать с точки зрения их симметрии. В частности, в C_{60} можно выявить всего 6 осей C_5 вращения с симметрией 5-го порядка, всего 10 осей C_3 вращения с симметрией 3-го порядка и всего 15 осей C_2 вращения с симметрией 2-го порядка. Вращение молекулы C_{60} происходит попеременно и в случайном порядке вокруг указанных осей вращения.

ФИГ. 2 изображает три возможные ориентации молекул C_{60} относительно неподвижной группы осей C5, C3 и C2. Плоскость каждого чертежа ортогональна направлению [111]. Тонкие стержни указывают направления [110], ортогональные направлению [111]. Переход из состояния «a» в состояние «b» на ФИГ. 2 предусматривает поворот на 60° относительно направления [111], а переход из состояния «a» в состояние «c» на ФИГ. 2 – поворот на ~42° относительно направления [110].

Падающие фотоны могут взаимодействовать с молекулой C_{60} разными путями: (a) с наружной поверхностью молекул и (b) с внутренней поверхностью молекул. Вероятность взаимодействия падающих фотонов, проходящих через пятиугольники, с внутренней поверхностью равна нулю. Поэтому зоны пятиугольников можно рассматривать как «закрытые» для данного конкретного вида взаимодействия.

Вероятность взаимодействия фотонов, проходящих через шестиугольники, с внутренней поверхностью выше нуля. При этом вероятность данного конкретного взаимодействия зависит от динамического состояния конкретной молекулы C_{60}, обусловленного, помимо прочего, вышеуказанным беспорядочным вращением соответствующих молекул C_{60} вокруг вышеуказанных осей вращения, что означает изменение вероятности взаимодействия во времени. Данная вероятность может быть выражена с помощью эффективных площадей шестиугольников, примеры которых показаны на ФИГ. 3.

ФИГ. 3 схематически изображает молекулу C_{60}. В качестве примера, показан только один из 12 пятиугольников. Образец пятиугольника заштрихован на ФИГ. 3, при этом штриховка указывает, что падающий фотон a_{in}, проходящий через пятиугольник, не взаимодействует с внутренней поверхностью молекулы C_{60}, т.е. не взаимодействует с резонатором, образованным в пределах молекулы. На ФИГ. 3, a_{out} обозначает такой фотон, прошедший через молекулу C_{60}.

Аналогичным образом, на ФИГ. 3 показан только один из 20 шестиугольников. Из-за динамических характеристик молекулы C_{60}, речь о которых шла выше, шестиугольник может иметь разные эффективные площади, то есть, в зависимости от конкретного колебательного и/или вращательного состояния молекулы C_{60}, вероятность взаимодействия фотона с внутренней поверхностью молекулы C_{60} после его прохождения через шестиугольник может быть разной. Разные состояния шестиугольника обозначены на ФИГ. 3 разными штриховками. В частности, один шестиугольник показан в пяти разных состояниях b_1-b_5, причем в состоянии b_1 шестиугольник показан полностью открытым, что означает наивысшую вероятность взаимодействия падающего фотона, проходящего через данный шестиугольник, с внутренней поверхностью молекулы C_{60}, а в состоянии b_5 зона шестиугольника показана полностью закрытой, что соответствует нулевой вероятности взаимодействия. Состояния b_2, b_3 и b_4 являются промежуточными состояниями, соответствующими вероятностям взаимодействия от нуля до наивысшей вероятности, соответствующей состоянию b_1.

Кроме того, на ФИГ. 3 «B1» обозначает состояние молекулы в целом, в котором все шестиугольники находятся в состоянии b_1. Как сказано выше, пятиугольники всегда полностью закрыты. Поэтому пятиугольники изображены в виде полностью заштрихованных зон.

«B5» обозначает состояние молекулы в целом, в котором все шестиугольники находятся в состоянии b_5. Поэтому и пятиугольники, и шестиугольники изображены в виде полностью заштрихованных зон, тем самым указывая на то, что в данном состоянии молекулы ни один падающий фотон не будет взаимодействовать с резонатором внутри молекулы.

На ФИГ. 3 «b_{in}» обозначает фотон, проходящий через шестиугольник, т.е. входящий в резонатор внутри молекулы C_{60} и взаимодействующий с ее внутренней поверхностью, т.е. с резонатором. Фотон, покидающий молекулу C_{60} после указанного взаимодействия, обозначен «b_{out}».

Кроме того, «C_{in}» и «C_{out}» обозначают фотоны, проходящие через шестиугольники, т.е. поступающие в резонатор, но не взаимодействующие с резонатором.

На ФИГ. 3 указаны соответствующие размеры резонатора, внутренних и внешних оболочек из π-электронов, а также положения остовов атомов углерода.

12 пятиугольников составляют приблизительно 38% всей поверхности молекулы C_{60}. 20 шестиугольников составляют приблизительно 62% поверхности молекулы C_{60}. Как сказано выше, вышеуказанные эффективные площади

шестиугольников могут быть разными в зависимости от динамического состояния соответствующих молекул C_{60}. Поэтому фактическая вероятность взаимодействия падающего фотона с внутренней поверхностью молекулы C_{60} ниже.

Падающий фотон, взаимодействующий с внутренней поверхностью молекулы C_{60}, может образовывать связанную электронно-дырочную пару, т.е. экситон, или образовывать соединение с существующим экситоном с образованием поляритона. В ходе распада экситонов также возможно испускание фотона (рекомбинация с излучением), который также может образовывать соединение с другим существующим экситоном с образованием поляритона. В результате расчетов было установлено, что вероятность образования экситона составляет приблизительно 38%, а вероятность образования поляритона ниже. Расчеты и эксперименты с различными источниками света показали, что диапазон вероятностей образования поляритона составляет приблизительно 15-25%.

Взаимодействие падающих фотонов с резонаторами, образованными в молекулах C_{60}, с образованием поляритонов изменяет спектральные характеристики света, при этом пространственное распределение фотонов в зависимости от их моментов импульса принимает конфигурацию, изображенную на ФИГ. 1, т.е. таким образом происходит генерирование гиперсвета.

Энергетические спектры фотона, экситона и поляритона в зависимости от эффективной силы g взаимодействия представлены на ФИГ. 4a. Интенсивность (мощность) на ФИГ. 4a приведена в произвольных единицах, ω обозначает оптическую частоту, а g – эффективную силу взаимодействия. Значение ω/g=+1 соответствует условию резонанса Раби, при котором происходит образование так называемого «поляритона верхней ветви». Как видно из ФИГ. 4a, мощность поляритона верхней ветви выше, чем у несвязанных фотона и экситона. При ω/g=-1 происходит образование так называемого «поляритона нижней ветви», чья мощность ниже, чем у несвязанных фотона и экситона. Энергии поляритонов верхней ветви, поляритонов нижней ветви, фотонов и экситонов в зависимости от момента представлены на ФИГ. 4b. Дополнительные сведения см., например, в работе Кавокин, А.В. и др., «Микрорезонаторы», Oxford University Press, Оксфорд, 2017.

Эффективность преобразования падающего света в гиперсвет обусловлена, помимо прочего, скоростью излучательного распада экситона, зависящей от размера резонатора. Резонатор, ограниченный молекулой C_{60}, именуется «0-мерный резонатор», т.е. «нульмерный резонатор». Скорость

излучательного распада Γod для 0-мерного резонатора задается следующим уравнением:

$$\Gamma_{0D} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2n}{3}\frac{e^2}{m_0 c}\frac{\omega^2}{c^2} f.$$

В приведенном выше уравнении ε_0 обозначает коэффициент пропускания в вакууме, n – электронную плотность, e – элементарный заряд, m_0 – массу свободного электрона, ω – оптическую частоту, c – скорость света, а f – силу взаимодействия.

Более высокие скорости излучательного распада и, как следствие, более высокие скорости преобразования падающего света в гиперсвет могут быть достигнуты за счет двумерного резонатора. Двумерный резонатор может быть образован слоистой структурой 20 на ФИГ. 5.

Слоистая структура 20 на ФИГ. 5 может содержать множество слоев 22, 24, 26, расположенных друг над другом в направлении по толщине z слоистой структуры 20. Множество слоев включает в себя множество нанофотонных слоев 22 и 24, а также подложечный слой 26, расположенный между нанофотонными слоями 22, 24 в направлении z по толщине. Нанофотонные слои 22, 24 могут включать в себя или быть сформированы из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, например, из фуллеренов, в частности – фуллеренов на основе C_{60}. Толщина нанофотонных слоев 22, 24 может составлять 1-10 нм, необязательно 1 -5 нм, также необязательно 3-5 нм.

Подложечный слой 26 может быть сформирован из оптически прозрачного материала, например, SiO_2 и/или TiO_2. Толщина подложечного слоя 26 может составлять 1-15 нм, необязательно 5-10 нм, также необязательно 10-15 нм.

Подложечный слой 26 может по существу не содержать нанофотонный материал. Слоистая структура 20, включающая в себя подложечный слой этого типа, может быть очень проста в изготовлении и может иметь четко выраженную геометрию двумерного резонатора.

Так как каждый из нанофотонных слоев 22, 24 сформирован из нанофотонного материала, двумерный резонатор также может именоваться «комбинированный 0-мерный/двумерный резонатор» в настоящей заявке.

Скорость Γ_{2D} излучательного распада в двумерном резонаторе задается следующим уравнением:

$$\Gamma_{2D} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2\pi}{n}\frac{e^2}{m_0 c}\frac{f_{xy}}{S}.$$

В данном уравнении f_{xy} обозначает силу взаимодействия, а S – единицу площади, зависящую от размера молекулы C_{60}. Таким образом, скорость Γ_{2D} излучательного распада в двумерном резонаторе (двумерном резонаторе в составе 0-мерного/двумерного резонатора) можно выразить в виде скорости излучательного распада в 0-мерном резонаторе Γ_{0D}.

$$\Gamma_{2D} = \left(\frac{\lambda}{2\pi l}\right)^2 \Gamma_{0D}.$$

В данном уравнении I обозначает размер двумерного резонатора, который может быть определен как толщина подложечного слоя 26 на ФИГ. 5 или быть связан с ней.

Из данного уравнения ясно следует, что выбор малых по сравнению с длиной волны падающего света размеров резонатора, т.е. значения «I», позволяет значительно повысить скорость излучательного распада экситонов в двумерном резонаторе по сравнению со скоростью в 0-мерном резонаторе.

Воздействие комбинированного 0-мерного/двумерного резонатора на падающий свет можно описать с помощью сферы Пуанкаре. Сфера Пуанкаре – средство представления состояний поляризации электромагнитных волн, например, света. Каждое состояние поляризации соответствует точке сферы, при этом состояния полной поляризации находятся на поверхности, состояния частичной поляризации – в пределах сферы, а неполяризованное состояние – в центре. Состояния линейной поляризации находятся на экваторе сферы, круговой поляризации – на полюсах, а эллиптической поляризации – между ними. Состояния ортогональной поляризации находятся на поверхности сферы друг напротив друга.

Как видно из сферы Пуанкаре на ФИГ. 6, влияние резонатора на поляризованную часть падающего света может быть охарактеризовано траекторией P с кривизной, заданной углом пересечения **K** относительно меридианов сферы Пуанкаре. Траектория P является одним из 31-го возможного решения для поверхностных распределений динамических характеристик резонатора. Проекция 31-ой траектории на плоскость, перпендикулярную линии, соединяющей полюса, дает рисунок «семян подсолнечника», схожий с представленным на ФИГ. 1, который характерен для гиперсвета.

Понятие «двумерный резонатор» в настоящем документе означает конфигурацию, включающую в себя пространство, ограниченное слоями нанофотонного материала. Это означает, например, отсутствие необходимости в

отражающих зеркалах, как в известном резонаторе. При этом, учитывая то, что только некоторая часть падающих фотонов взаимодействует с резонатором с образованием поляритонов, может быть предпочтительно предусмотреть дополнительные подложечные слои сбоку от нанофотонных слоев 22 и/или 24, расположенные напротив подложечного слоя 26 в направлении по толщине z слоистой структуры 20. Соответствующим образом сформированная слоистая структура (фильтр) 30 изображена на ФИГ. 7.

Слоистая структура 30 на ФИГ. 7 включает в себя: первый нанофотонный слой 32 из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, например, C_{60}, второй нанофотонный слой 34 из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, например, C_{60}, первый подложечный слой 36 из оптически прозрачного материала, например, SiO_2 или TiO_2, второй подложечный слой 38 из оптически прозрачного материала, например, SiO_2 или TiO_2, расположенный сбоку от первого нанофотонного слоя 32 напротив первого подложечного слоя 36 в направлении по толщине z слоистой структуры 30, и третий подложечный слой 40 из оптически прозрачного материала, например, SiO_2 или TiO_2, расположенный сбоку от второго нанофотонного слоя 34 в направлении по толщине z слоистой структуры 30 напротив первого подложечного слоя 36.

Второй и третий подложечные слои 38 и 40 могут функционировать, с одной стороны, как защитные слои для защиты первого и второго нанофотонных слоев 32 и 34 от внешних воздействий. Кроме того, как сказано выше, второй и третий подложечные слои 38 и 40 могут работать как зеркала, отражающие часть фотонов ph, ph' обратно на первый подложечный слой 36 через первый нанофотонный слой 32 и второй нанофотонный слой 34 соответственно. Это позволяет обеспечить прохождение соответствующих фотонов ph, ph' через соответствующие нанофотонные слои 32 и 34 и, следовательно, через двумерный резонатор, множество раз, тем самым повышая вероятность взаимодействия этих фотонов с резонатором и, как следствие, эффективность преобразования падающего света в гиперсвет.

Как сказано выше, первый – третий подложечные слои 36, 38, 40 выполнены из оптически прозрачного материала. Они могут быть выполнены из одного и того же материала или из отличных друг от друга материалов. Например, второй и третий подложечные слои 38 и 40 могут быть выполнены из одного и того же материала, например, TiO_2, который может быть отличен от материала первого подложечного слоя 36, который может быть выполнен, например, из SiO_2.

Материалы подложечных слоев 36, 38, 40 могут быть выбраны в зависимости от спектральных характеристик падающего света для регулирования характеристик отражения в зависимости от рассматриваемых длин волн.

Далее на примере ФИГ. 8 будет раскрыт оптический фильтр 100, выполненный в соответствии с вышеуказанными принципами.

Оптический фильтр 100 может содержать слоистую структуру 102, включающую в себя множество слоев 104a-104h и 106a-106i, расположенных друг над другом в направлении по толщине z слоистой структуры 102. Множество слоев 104a-104h и 106a-106i может включать в себя множество нанофотонных слоев 104a-104h, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и множество подложечных слоев 106a-106i, сформированных из оптически прозрачного материала.

Как видно из ФИГ. 8, множество нанофотонных слоев 104a-104h и множество подложечных слоев 106a-106i могут быть расположены с чередованием в направлении по толщине z слоистой структуры 102. Как следствие, в данной структуре каждый из подложечных слоев 106b-106h, расположенный между соответствующими двумя соседними нанофотонными слоями 104a- 104h, образует совместно с соседними нанофотонными слоями структуру двумерного резонатора на ФИГ. 5. Кроме того, три следующих друг за другом подложечных слоя и расположенные между ними соответствующие нанофотонные слои соответствуют слоистой структуре на ФИГ. 7. Поэтому описание слоистых структур на ФИГ. 5 и ФИГ. 7 также применимы к оптическому фильтру 100 на ФИГ. 8.

Как сказано выше, нанофотонный материал может содержать молекулы фуллерена, в частности, молекулы фуллерена C_{60}.

Учитывая, что скорость излучательного распада экситонов в двумерном резонаторе задается уравнением

$$\Gamma_{2D} = \left(\frac{\lambda}{2\pi l}\right)^2 \Gamma_{0D},$$

может быть предпочтительно, чтобы размеры по меньшей мере одного из резонаторов были меньше рассматриваемых длин волн. Для длин волн в видимой области частот, по меньшей мере один из подложечных слоев 106a-106i может иметь толщину в диапазоне, выбранном из 5-30 нм, 5-15 нм и 5-10 нм.

В одном из примеров осуществления могут быть выбраны следующие толщины подложечных слоев 106a-106i: подложечный слой 106a (выполненный, например, из SiO_2): 50-100 нм, подложечный слой 106b (выполненный, например,

из TiO_2): 5-10 нм, подложечный слой 106c (выполненный, например, из SiO_2): 10-15 нм, подложечный слой 106d (выполненный, например, из TiO_2): 5-10 нм, подложечный слой 106e (выполненный, например, из SiO_2): 10-15 нм, подложечный слой 106f (выполненный, например, из TiO_2): 5-10 нм, подложечный слой 106g (выполненный, например, из SiO_2): 5-10 нм, подложечный слой 106h (выполненный, например, из TiO_2): 5-10 нм, и подложечный слой 106i (выполненный, например, из SiO_2): 50-100 нм. В данном случае, толщины крайних снаружи подложечных слоев 106a и 106i в направлении по толщине z слоистой структуры 102 могут быть значительно больше толщин остальных подложечных слоев 106b-106h. Подложечные слои 106a и 106i могут, таким образом, служить защитными слоями слоистой структуры 102.

Из данного примера можно понять, что в слоистой структуре оптического фильтра по настоящему раскрытию подложечные слои могут быть выполнены отличными друг от друга по толщине, например, для регулирования направления распространения света в слоистой структуре.

По меньшей мере один из подложечных слоев 106a-106i, или необязательно – множество их, или также необязательно – все подложечные слои 106a-106i, могут по существу не содержать нанофотонный материал для обеспечения четко выраженной геометрии резонатора с возможностью точного регулирования скорости распада экситонов для конкретной длины волны.

Кроме того, по меньшей мере один из нанофотонных слоев 104a-104h, или необязательно – множество их, или также необязательно – все нанофотонные слои 104a-104h, могут по существу не содержать оптически прозрачный материал подложечных слоев 106a-106i. В одном из примеров осуществления массовая доля нанофотонного материала в по меньшей мере одном из нанофотонных слоев 104a-104h, или необязательно – во множестве нанофотонных слоев 104a-104h, или также необязательно – во всех нанофотонных слоях 104a-104h, превышает 99%. Это позволяет обеспечить высокую эффективность преобразования падающего света в гиперсвет.

Подложечные слои 106a-106i могут быть выполнены из одного и того же оптически прозрачного материала. В качестве альтернативы, по меньшей мере два из множества подложечных слоев 106a-106i могут быть выполнены из отличных друг от друга материалов с отличными друг от друга показателями преломления. Как разъяснялось выше, это позволяет регулировать характеристики отражения слоистой структуры на соответствующих границах раздела между подложечными слоями для рассматриваемых длин волн.

Во избежание чрезмерного поглощения света в нанофотонных слоях 104a-

104h, они могут иметь толщины в диапазоне, выбранном из: 3-10 нм, 3-7 нм и 3-5 нм. В примере осуществления на ФИГ. 8 все нанофотонные слои 104a-104h могут иметь толщины в диапазоне 3-5 нм.

Раскрытые в настоящем документе слоистые структуры могут быть изготовлены, например, способами химического или физического осаждения из паровой фазы.

Фильтр 100 на ФИГ. 8 может также содержать несущую конструкцию 108, несущую слоистую структуру 102. Несущая конструкция 108 может быть выполнена из оптически прозрачного материала, например, полиметилметакрилата (ПММА), полимерного материала CR39 или стекла. Коэффициент пропускания несущей конструкции для видимого света может составлять по меньшей мере 70%.

Несмотря на то, что это не показано на ФИГ. 8, несущая конструкция 108 может содержать на своих противоположных сторонах слоистую структуру 102. Кроме того, несущая конструкция 108 может включать в себя нанофотонный материал 108a с симметрией икосаэдра или додекаэдра, например, C_{60}, распределенный в ней или осажденный в виде слоя 108b на ее поверхность. За счет этого несущая конструкция 108 также может способствовать генерированию гиперсвета, например, за счет резонансного излучения энергетических собственных состояний T_{1g}, T_{2g}, T_{1u} и T_{2u} C_{60}. Это позволяет повысить эффективность преобразования падающего света в гиперсвет. Диапазон массовой концентрации нанофотонного материала 108a в несущей конструкции 108 может составлять 0.001-0.050.

Несущая конструкция 108 не обязательно должна быть выполнена в виде плоского элемента, как в примере на ФИГ. 8; в качестве альтернативы, она может быть выполнена в виде криволинейного тела, например, линзы, в частности – очковой линзы. Пример очков 200 с парой линз 220 с раскрытыми выше оптическими фильтрами 100, представлен на ФИГ. 9a. Посредством очков на ФИГ. 9a происходит преобразование падающего света в гиперсвет, характеристики которого подчиняются закону золотого сечения, как разъяснялось на примере ФИГ. 1. Например, из US 2008/286453 A1 известно, что цикл синхронизации человеческого мозга подчиняется закону золотого сечения. Экспериментально установлено, что воздействие на глаза испытуемого светом, характеристики которого подчиняются закону золотого сечения, позволяет нормализовать работу мозга. Таким образом, ношение очков, например – таких, как на ФИГ.9a, может способствовать нормализации работы мозга и, тем самым, улучшению общего самочувствия.

На очки 200 на ФИГ. 9a может воздействовать солнечный свет. При этом, так как предлагаемый оптический фильтр выполнен с возможностью преобразования света любого типа (т.е. с любой длиной волны) в гиперсвет, гармонизация (нормализация) работы мозга также может быть достигнута с помощью искусственного освещения, создаваемого средством 300 освещения с оптическим фильтром 100 по настоящему раскрытию, как показано на ФИГ. 9b. В данном случае отсутствует необходимость в ношении очков для достижения вышеуказанного эффекта.

Схожий эффект может быть достигнут при применении света, испускаемого иными источниками искусственного освещения, например, дисплеем 400, например, портативной ЭВМ или игрушки 420. В одном из примеров осуществления, изображенном на ФИГ. 9c, оптический фильтр 100 может быть выполнен в виде защитной пленки 440 дисплея.

В другом примере осуществления оптический фильтр 100 может быть выполнен в виде окна 520 или на окне 520 здания 500 или в виде части указанного окна 520. Это обеспечивает возможность преобразования значительной части света (например, солнечного или искусственного света), поступающего в здание 500, в гиперсвет. Фильтры 100 по настоящему раскрытию могут найти применение в окнах любого типа, в том числе – в окнах автодорожных транспортных средств, летательных аппаратов и плавучих средств.

Фильтр 100 по настоящему раскрытию также может найти применение в терапевтической лампе 600, далее именуемой «устройство генерации гиперсвета» или «источник гиперсвета». Пример источника 600 гиперсвета представлен на ФИГ. 10. Источник 600 гиперсвета может включать в себя источник 602 света и раскрытый выше оптический фильтр 100. Источник 602 света может быть выполнен в виде источника с возможностью испускания видимого света, например, в виде галогеновой лампы.

Источник 600 гиперсвета может дополнительно содержать поляризатор 606, расположенный по ходу пути 604 луча света между источником 602 света и фильтром 100. Поляризатор 606 может быть выполнен в виде линейного поляризатора с возможностью преобразования света, испускаемого источником 602 света, в линейно поляризованный свет. Поляризатор 606 может быть выполнен в виде светорасщепляющего поляризатора, например, поляризатора Брюстера, как показано на ФИГ. 10.

С помощью источника 600 гиперсвета на ФИГ. 10, свет, испускаемый источником 602 света, может быть сначала преобразован в поляризованный свет

посредством поляризатора 606, а затем в гиперсвет посредством фильтра 100, т.е. в поляризованный гиперсвет, в области техники также именуемый «гиперполяризованный свет». Фотоны гиперполяризованного света упорядочены и по энергии, и по моменту импульса. Следует отметить, что поляризатор 606 может не быть обязательным в источнике 600 гиперсвета.

Взаимодействие света с фильтром по настоящему раскрытию не только влияет на пространственное распределение фотонов в зависимости от их моментов импульса, но и может изменять спектральные характеристики света. Результаты экспериментов, демонстрирующие данную особенность фильтров по настоящему раскрытию, в частности – фильтра на ФИГ. 8, будут разъяснены ниже на примерах Фиг. 11 - 25.

ФИГ. 11 изображает спектр света, испускаемого светоизлучающим диодом (СИД), после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 11 и именуется «СИД (ВОЗДУХ)». Кроме того, спектр света, испускаемого тем же СИД, после прохождения через подложку из ПММА, не содержащую нанофотонный материал, представлен в виде заштрихованной области на ФИГ. 11. Данный спектр именуется «СИД (ПММА)» на ФИГ. 11.

Как ясно видно из ФИГ. 11, в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм отсутствует существенная разница между двумя спектрами, то есть ПММА существенно не изменяет спектральные характеристики света, испускаемого СИД.

ФИГ. 12 изображает спектр света, испускаемого СИД, после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 12 и именуется «СИД (ВОЗДУХ)». Кроме того, спектр света, испускаемого тем же СИД, после прохождения через подложку из ПММА с раскрытым выше 0-мерным/двумерным резонатором (фильтром) представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «СИД (ПММА и двумерный резонатор)» на ФИГ. 12. Подложка из ПММА соответствует раскрытой выше несущей конструкции и может необязательно содержать распределенные в ней молекулы C_{60}.

Разница между спектрами на ФИГ. 12, т.е. между «СИД (ПММА и двумерный резонатор)» и «СИД (ВОЗДУХ)», представлена на ФИГ. 13 в виде заштрихованной области.

Из спектров на ФИГ. 12 и 13 ясно видно, что посредством двумерного резонатора происходит преобразование высоких частот в спектре СИД в частотные составляющие с более низкой энергией в видимой части спектра. Следовательно, влияние двумерного резонатора на спектр света значительно

отличается от влияния, оказываемого известным фильтром, который просто подавляет некоторые спектральные составляющие путем поглощения, тем самым снижая общую интенсивность света. А именно, поскольку фильтр по настоящему раскрытию выполнен с возможностью преобразования высокоэнергетического света в низкоэнергетический свет, влияние на общую интенсивность в видимой области отсутствует или значительно слабее по сравнению с известными оптическими фильтрами.

По этим причинам оптические фильтры по настоящему раскрытию могут найти применение в качестве фильтров в очках, так они выполнены с возможностью снижения интенсивности падающего света в области спектра, потенциально вредной для человеческих глаз, с одновременным сохранением высокой общей интенсивности.

ФИГ. 14 изображает спектр света, испускаемого СИД, после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 14 и именуется «СИД (ВОЗДУХ)». Спектр света, испускаемого тем же СИД, после прохождения через подложку из CR39, не содержащую нанофотонный материал, представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «СИД (CR39)» на ФИГ. 14. Материал CR39 (аллилдигликолькарбонат (АДК)) – это полимерная пластмасса, широко применяемая в изготовлении очковых линз. Подложка из CR39 соответствует раскрытой выше несущей конструкции и может необязательно содержать молекулы C_{60}, распределенные в ней или осажденные в виде тонкого слоя на одну из ее поверхностей.

Очевидно, что в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм отсутствует существенная разница между двумя спектрами, то есть подложка из CR39 существенно не изменяет спектральные характеристики света, испускаемого СИД.

ФИГ. 15 также изображает спектр света, испускаемого СИД, после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 15 и именуется «СИД (ВОЗДУХ)». Спектр света, испускаемого тем же СИД, после прохождения через подложку из CR39 с раскрытым выше двумерным резонатором (фильтром) представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «СИД (CR39 и двумерный резонатор)» на ФИГ. 15. Разница между спектрами на ФИГ. 15, т.е. между спектрами, именуемыми «СИД (CR39 и двумерный резонатор)» и «СИД (ВОЗДУХ)» на ФИГ. 15, представлена на ФИГ. 16 в виде заштрихованной области.

Указанные измерения подтверждают результаты, полученные с помощью оптического фильтра, содержащего подложку из ПММА, т.е. посредством

двумерного резонатора происходит преобразование мощности падающего света в высокоэнергетическом диапазоне длин волн 400-470 нм в свет с более низкой энергией в диапазоне длин волн от 470 до 770 нм.

Вышеуказанные результаты не зависят от того, какой именно источник света применяется. Речь об этом пойдет ниже в описании ФИГ. 17 – 22, представляющих результаты измерений, полученные при применении неонового света, испускаемого известными неоновыми лампами (трубками), применяемыми, например, в административных помещениях.

В частности, ФИГ. 17 изображает спектр неонового света после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 17 и именуется «НЕОН (ВОЗДУХ)». Спектр неонового света после прохождения через подложку из ПММА, не содержащую нанофотонный материал, представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «НЕОН (ПММА)» на ФИГ. 17.

Как ясно видно из ФИГ. 17, в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм отсутствует существенная разница между двумя спектрами, то есть подложка из ПММА существенно не изменяет спектральные характеристики неонового света.

ФИГ. 18 также изображает спектр неонового света после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 18 и именуется «НЕОН (ВОЗДУХ)». Спектр неонового света после прохождения через подложку из ПММА с раскрытым выше двумерным резонатором, т.е. оптическим фильтром, представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «НЕОН (ПММА и двумерный резонатор)» на ФИГ. 18. Разница между спектрами на ФИГ. 18, т.е. между «НЕОН (ПММА и двумерный резонатор)» и «НЕОН (ВОЗДУХ)», представлена на ФИГ. 19 в виде заштрихованной области.

ФИГ. 18 и 19 подтверждают результаты, полученные при применении света СИД, т.е. то, что фильтр снижает интенсивность высокоэнергетического света путем его преобразования в свет, энергия которого ниже.

ФИГ. 20 изображает спектр неонового света после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 20 и именуется «НЕОН (ВОЗДУХ)». Кроме того, спектр неонового света после прохождения через подложку из CR39, не содержащую нанофотонный материал, представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «НЕОН (CR39)» на ФИГ. 20.

Очевидно, что в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм отсутствует существенная разница между двумя спектрами, то есть подложка из CR39 существенно не изменяет спектральные характеристики неонового света.

ФИГ. 21 также изображает спектр неонового света после прохождения через воздух. Данный спектр представлен сплошной черной линией на ФИГ. 21 и именуется «НЕОН (ВОЗДУХ)». Кроме того, спектр неонового света после прохождения через подложку из CR39 с раскрытым выше двумерным резонатором (фильтром) представлен в виде заштрихованной области. Данный спектр именуется «НЕОН (CR39 и двумерный резонатор)» на ФИГ. 21. Разница между спектрами на ФИГ. 21, т.е. между «НЕОН (CR39 и двумерный резонатор)» и «НЕОН (ВОЗДУХ)», представлена на ФИГ. 22 в виде заштрихованной области.

Результаты измерений на ФИГ. 14 - 22 последовательно подтверждают то, что фильтры по настоящему раскрытию выполнены с возможностью преобразования высокоэнергетического света в свет, энергия которого ниже, в видимой области спектра, и то, что данный эффект не зависит от источника света. Это, в свою очередь, наглядно подтверждает высокую степень универсальности оптических фильтров по настоящему раскрытию.

Приведенные выше спектры свидетельствуют о том, что источники света, применявшиеся при измерениях, речь о которых шла выше, не содержат спектральные составляющие со значительными интенсивностями при длинах волн свыше 700 нм, т.е. в инфракрасном режиме. Поэтому для анализа влияния оптического фильтра по настоящему раскрытию на инфракрасный (ИК-) свет были выполнены дополнительные измерения с применением такого света в качестве падающего света.

Исходный спектр солнечного света в диапазоне 380-780 нм представлен на ФИГ. 23 в виде заштрихованной области (плотность потока 396.24 Вт/м^2 и координаты цветности в колориметрической системе Международной комиссии по освещенности (CIE 1931): x=0.3437, y=0.3590). Из данной фигуры видно, что, мощность в инфракрасном режиме значительнее по сравнению со светом СИД и неоновым светом.

На ФИГ. 24 и исходный спектр солнечного света (обозначенный сплошной черной линией), и спектр солнечного света, отфильтрованного оптическим фильтром по настоящему раскрытию (обозначенный заштрихованной областью) представлены в диапазоне длин волн 380-780 нм (плотность потока 153.61 Вт/м^2, координаты цветности в CIE 1931: x=0.3192, y=0.3934). Данные спектры свидетельствуют о том, что оптический фильтр по настоящему раскрытию подавляет и высокоэнергетические, и низкоэнергетические спектральные составляющие. Таким образом, спектр солнечного света приведен в соответствие с характеристиками спектральной чувствительности человеческого глаза (соответствие приблизительно на 97%).

Таблица на ФИГ. 25 содержит сводные результаты различных измерений с применением разных источников света (СИД, неоновый) и несущих конструкций из разных материалов (ПММА, CR39).

В частности, в строках таблицы на ФИГ. 25 приведены характеристики для различных спектров света. В число данных характеристик входят: освещенность E_v(люкс=лм/м^2), цветовая температура T_{cp} (K=Кельвин), преобладающая длина λ_d волны (нм), координаты цветности в цветовом пространстве CIE 1931, эффект или вероятность Pe(%) возбуждения при преобладающей длине λ_d волны и плотность SDE (Вт/м^2) потока в разных диапазонах длин волн. Кроме того, «C60 (@)» означает, что несущая конструкция содержит распределенные в ней молекулы C_{60}. «C60 (nf)» означает, что несущая конструкция содержит осажденный на нее слой C_{60}.

В строке A0 таблицы на ФИГ. 25 приведены сводные характеристики света, испускаемого СИД.

В строке A01 приведены сводные характеристики света СИД после прохождения через подложку из ПММА, не содержащую нанофотонный материал.

В строке A011 приведены сводные характеристики света СИД после прохождения через оптический фильтр по настоящему раскрытию, содержащий несущую конструкцию из ПММА с включенными в нее молекулами C_{60}.

В строке A02 приведены сводные характеристики света СИД после прохождения через подложку из CR39, не содержащую нанофотонный материал.

В строке A021 приведены сводные характеристики света СИД после прохождения через оптический фильтр по настоящему раскрытию, содержащий несущую конструкцию из CR39 с расположенной на ней пленкой C_{60}.

В строке B0 таблицы на ФИГ. 25 приведены сводные характеристики неонового света.

В строке B01 приведены сводные характеристики неонового света после прохождения через подложку из ПММА, не содержащую нанофотонный материал.

В строке B011 приведены сводные характеристики неонового света после прохождения через оптический фильтр по настоящему раскрытию, содержащий несущую конструкцию из ПММА с включенными в нее молекулами C_{60}.

В строке B02 приведены сводные характеристики неонового света после прохождения через подложку из CR39, не содержащую нанофотонный материал.

В строке B021 приведены сводные характеристики неонового света после прохождения через оптический фильтр по настоящему раскрытию, содержащий

несущую конструкцию из CR39 с расположенной на ней пленкой C_{60}.

Далее будут приведены несколько примеров по настоящему раскрытию.

Пример 1 – оптический фильтр, содержащий слоистую структуру, содержащую множество слоев, расположенных друг над другом в направлении по толщине слоистой структуры и включающих в себя: множество нанофотонных слоев, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и по меньшей мере один подложечный слой, сформированный из оптически прозрачного материала, причем один из по меньшей мере одного подложечного слоя расположен между двумя из множества нанофотонных слоев в направлении по толщине слоистой структуры.

В Примере 2 объект по Примеру 1 может необязательно дополнительно включать в себя то, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена.

В Примере 3 объект по Примеру 2 может необязательно дополнительно включать в себя то, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена C_{60}.

В Примере 4 объект по любому из Примеров 1 - 3 может необязательно дополнительно включать в себя то, что указанная по меньшей мере одна подложка имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 5-30 нм, 5-20 нм, 5-15 нм и 5-10 нм.

В Примере 5 оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 4 может необязательно дополнительно включать в себя то, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 3-10 нм, 3-7 нм и 3-5 нм.

В Примере 6 объект по любому из Примеров 1 - 5 может необязательно дополнительно включать в себя то, что указанный по меньшей мере один подложечный слой не содержит нанофотонный материал.

В Примере 7 объект по любому из Примеров 1 - 6 может необязательно дополнительно включать в себя то, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев не содержит оптически прозрачный материал, например, оптически прозрачный материал того типа, что входит в состав указанного по меньшей мере одного подложечного слоя. Множество нанофотонных слоев или даже все нанофотонные слои могут необязательно не содержать оптически прозрачный материал указанного по меньшей мере одного подложечного слоя.

В Примере 8 объект по любому из Примеров 1 - 7 может необязательно дополнительно включать в себя то, что слоистая структура содержит множество подложечных слоев.

В Примере 9 объект по Примеру 8 может необязательно дополнительно

включать в себя то, что множество подложечных слоев и множество нанофотонных слоев расположены с чередованием в направлении по толщине слоистой структуры.

В Примере 10 объект по Примеру 8 или 9 может необязательно дополнительно включать в себя то, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга показатели преломления.

В Примере 11 объект по любому из Примеров 8 - 10 может необязательно дополнительно включать в себя то, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга размеры в направлении по толщине слоистой структуры.

В Примере 12 объект по любому из Примеров 1 - 11 может необязательно дополнительно содержать несущую конструкцию, несущую слоистую структуру.

В Примере 13 объект по Примеру 12 может необязательно дополнительно включать в себя то, что несущая конструкция выполнена из оптически прозрачного материала и выполнена в виде несущего слоя, расположенного поверх слоистой структуры.

В Примере 14 объект по Примеру 13 может необязательно дополнительно включать в себя то, что несущая конструкция выполнена в виде линзы.

В Примере 15 объект по Примеру 13 или 14 может необязательно дополнительно включать в себя то, что несущая конструкция содержит нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра.

В Примере 16 предложены очки, содержащие оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15.

Пример 17 – терапевтическая лампа, содержащая источник света и оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15.

В Примере 18 терапевтическая лампа по Примеру 17 может необязательно дополнительно содержать поляризатор, расположенный на пути луча света между источником света и оптическим фильтром и выполненный с возможностью поляризации света, испускаемого источником света.

В Примере 19 терапевтическая лампа по Примеру 18 может необязательно дополнительно включать в себя то, что поляризатор выполнен в виде линейного поляризатора с возможностью преобразования падающего света в линейно поляризованный свет.

В Примере 20 объект по Примеру 19 может необязательно дополнительно включать в себя то, что поляризатор содержит поляризатор Брюстера или выполнен в виде него.

Пример 21 – средство освещения, содержащее оптический фильтр,

содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15. В число средств освещения могут входить средства внутреннего освещения, например, электрические лампы или неоновые трубки, и средства наружного освещения.

Пример 22 – дисплей, содержащий оптический фильтр, содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15. Дисплей может представлять собой дисплей ЭВМ, телевизора, мобильного телефона и т.п.

Пример 23 – защитная пленка дисплея, выполненная в виде оптического фильтра или содержащая оптический фильтр, содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15.

Пример 24 – окно, содержащее оптический фильтр, содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15. Окно может быть выполнено в виде окна здания, транспортного средства, летательного аппарата, плавучего средства и т.п.

Пример 25 – игрушка, содержащая оптический фильтр, содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15. Игрушка может быть выполнена в виде игровой ЭВМ.

Пример 26 – оптическая линза, содержащая оптический фильтр, содержащий нанофотонный материал с симметрией икосаэдра или додекаэдра, в частности – оптический фильтр по любому из Примеров 1 - 15. Оптическая линза может быть выполнена в виде очковой линзы.

Пример 27 характеризует применение оптического фильтра по любому из Примеров 1 - 15 для фильтрации света.

В Примере 28 объект по Примеру 27 может необязательно дополнительно включать в себя то, что свет представляет собой солнечный свет или искусственный свет.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Оптический фильтр на эффекте взаимодействия света с веществом в пространствах квантовых резонаторов, содержащий слоистую структуру, содержащую множество слоев, расположенных друг над другом в направлении по толщине слоистой структуры и включающих в себя:

множество нанофотонных слоев, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и

по меньшей мере один подложечный слой, сформированный из оптически прозрачного материала, причем один из по меньшей мере одного подложечного слоя расположен между двумя из множества нанофотонных слоев в направлении по толщине слоистой структуры.

2. Оптический фильтр по п. 1, отличающийся тем, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена.

3. Оптический фильтр по п. 2, отличающийся тем, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена C60.

4. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 3, отличающийся тем, что указанная по меньшей мере одна подложка имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 5-30 нм, 5-20 нм, 5-15 нм и 5-10 нм.

5. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 4, отличающийся тем, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 3-10 нм, 3-7 нм и 3-5 нм.

6. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 5, отличающийся тем, что указанный по меньшей мере один подложечный слой не содержит нанофотонный материал.

7. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 6, отличающийся тем, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев не содержит оптически прозрачный материал указанного по меньшей мере одного подложечного слоя.

8. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 7, отличающийся тем, что слоистая структура содержит множество подложечных слоев.

9. Оптический фильтр по п. 8, отличающийся тем, что множество подложечных слоев и множество нанофотонных слоев расположены с чередованием в направлении по толщине слоистой структуры.

10. Оптический фильтр по п. 8 или 9, отличающийся тем, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга показатели преломления.

11. Оптический фильтр по любому из п.п. 8 - 10, отличающийся тем, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга размеры в направлении по толщине слоистой структуры.

12. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 11, дополнительно содержащий несущую конструкцию, несущую слоистую структуру.

13. Оптический фильтр по п. 12, отличающийся тем, что несущая конструкция выполнена из оптически прозрачного материала и выполнена в виде несущего слоя, расположенного поверх слоистой структуры.

14. Оптический фильтр по п. 13, отличающийся тем, что несущая конструкция выполнена в виде линзы.

15. Оптический фильтр по п. 13 или 14, отличающийся тем, что несущая конструкция содержит нанофотонный материал.

16. Очки, содержащие оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

17. Терапевтическая лампа, содержащая источник света и оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

18. Терапевтическая лампа по п. 17, дополнительно содержащая поляризатор, расположенный на пути луча света между источником света и оптическим фильтром и выполненный с возможностью поляризации света, испускаемого источником света.

19. Терапевтическая лампа по п. 18, отличающаяся тем, что поляризатор

выполнен в виде линейного поляризатора с возможностью преобразования падающего света в линейно поляризованный свет.

20. Терапевтическая лампа по п. 19, отличающаяся тем, что поляризатор содержит поляризатор Брюстера или выполнен в виде него.

21. Средство освещения, содержащее оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

22. Дисплей, содержащий оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

23. Защитная пленка дисплея, выполненная в виде оптического фильтра или содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

24. Окно, содержащее оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

25. Игрушка, содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

26. Оптическая линза, содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 15.

27. Применение оптического фильтра по любому из п.п. 1 - 15 для фильтрации света.

28. Применение по п. 27, отличающееся тем, что свет представляет собой солнечный свет или искусственный свет.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Оптический фильтр на эффекте взаимодействия света с веществом в пространствах квантовых резонаторов, содержащий слоистую структуру, содержащую множество слоев, расположенных друг над другом в направлении по толщине слоистой структуры и включающих в себя:

множество нанофотонных слоев, сформированных из нанофотонного материала с симметрией икосаэдра или додекаэдра, и

по меньшей мере один подложечный слой, сформированный из оптически прозрачного материала, причем указанный по меньшей мере один подложечный слой не содержит нанофотонный материал,

причем один из по меньшей мере одного подложечного слоя расположен между двумя из множества нанофотонных слоев в направлении по толщине слоистой структуры так, что слоистая структура образует двумерный резонатор.

2. Оптический фильтр по п. 1, отличающийся тем, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена.

3. Оптический фильтр по п. 2, отличающийся тем, что нанофотонный материал содержит молекулы фуллерена C60.

4. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 3, отличающийся тем, что указанный по меньшей мере один подложечный слой имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 5-30 нм, 5-20 нм, 5-15 нм и 5-10 нм.

5. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 4, отличающийся тем, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев имеет толщину в диапазоне, выбранном из: 3-10 нм, 3-7 нм и 3-5 нм.

6. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 5, отличающийся тем, что по меньшей мере один из множества нанофотонных слоев не содержит оптически прозрачный материал указанного по меньшей мере одного подложечного слоя.

7. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 6, отличающийся тем, что слоистая структура содержит множество подложечных слоев.

8. Оптический фильтр по п. 7, отличающийся тем, что множество

подложечных слоев и множество нанофотонных слоев расположены с чередованием в направлении по толщине слоистой структуры.

9. Оптический фильтр по п. 7 или 8, отличающийся тем, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга показатели преломления.

10. Оптический фильтр по любому из п.п. 7 - 9, отличающийся тем, что по меньшей мере два из множества подложечных слоев имеют отличные друг от друга размеры в направлении по толщине слоистой структуры.

11. Оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 10, дополнительно содержащий несущую конструкцию, несущую слоистую структуру.

12. Оптический фильтр по п. 11, отличающийся тем, что несущая конструкция выполнена из оптически прозрачного материала и выполнена в виде несущего слоя, расположенного поверх слоистой структуры.

13. Оптический фильтр по п. 12, отличающийся тем, что несущая конструкция выполнена в виде линзы.

14. Оптический фильтр по п. 12 или 13, отличающийся тем, что несущая конструкция содержит нанофотонный материал.

15. Очки, содержащие оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

16. Терапевтическая лампа, содержащая источник света и оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

17. Терапевтическая лампа по п. 16, дополнительно содержащая поляризатор, расположенный на пути луча света между источником света и оптическим фильтром и выполненный с возможностью поляризации света, испускаемого источником света.

18. Терапевтическая лампа по п. 17, отличающаяся тем, что поляризатор выполнен в виде линейного поляризатора с возможностью преобразования падающего света в линейно поляризованный свет.

Формула изобретения, измененная согласно ст. 34 PCT

19. Терапевтическая лампа по п. 18, отличающаяся тем, что поляризатор содержит поляризатор Брюстера или выполнен в виде него.

20. Средство освещения, содержащее оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

21. Дисплей, содержащий оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

22. Защитная пленка дисплея, выполненная в виде оптического фильтра или содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

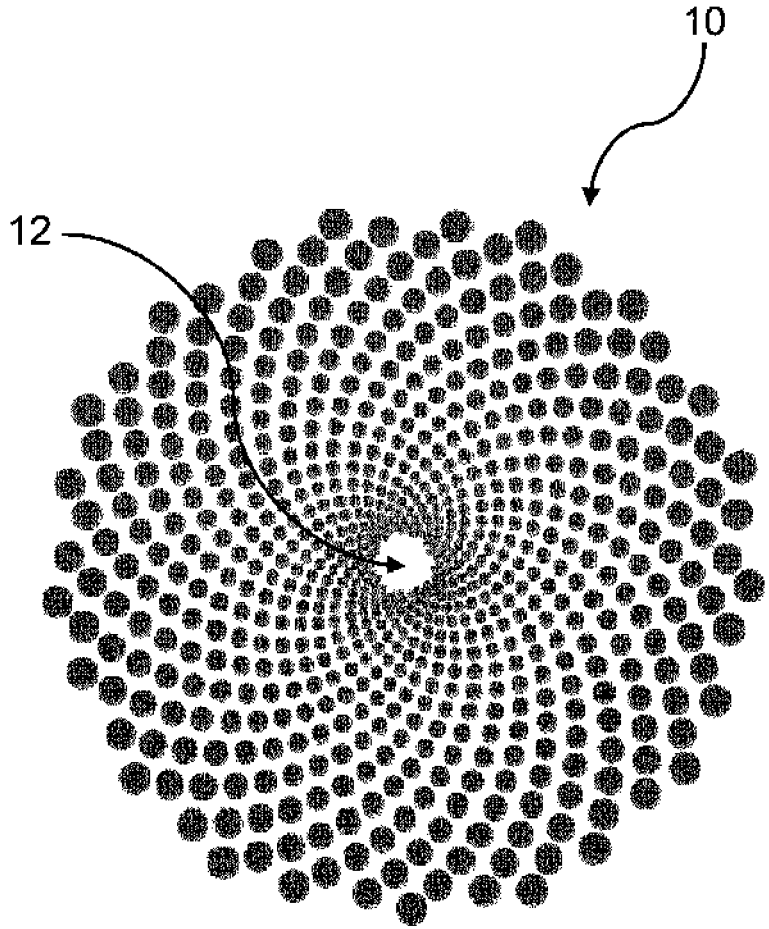
23. Окно, содержащее оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

24. Игрушка, содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

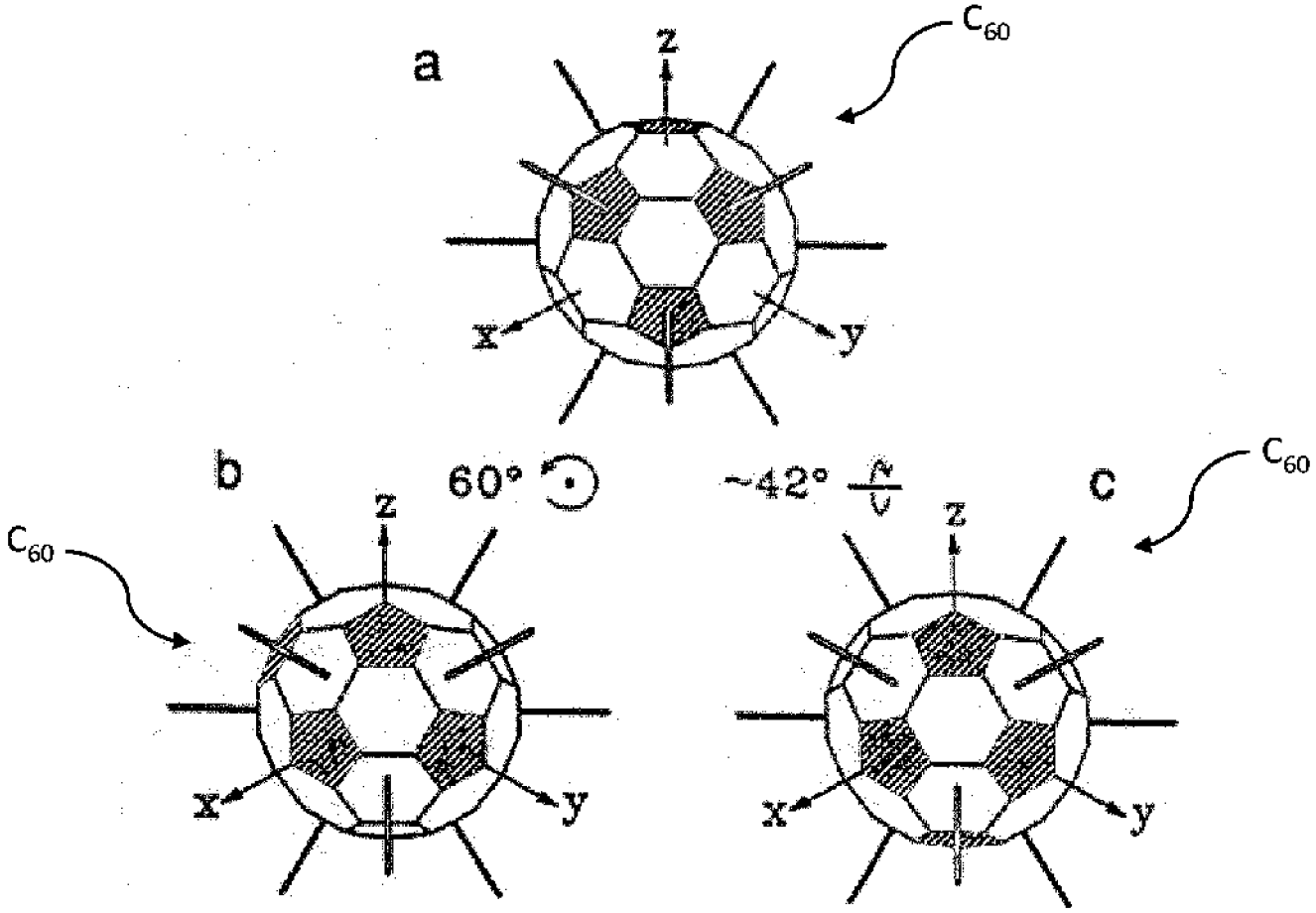
25. Оптическая линза, содержащая оптический фильтр по любому из п.п. 1 - 14.

26. Применение оптического фильтра по любому из п.п. 1 - 14 для фильтрации света.

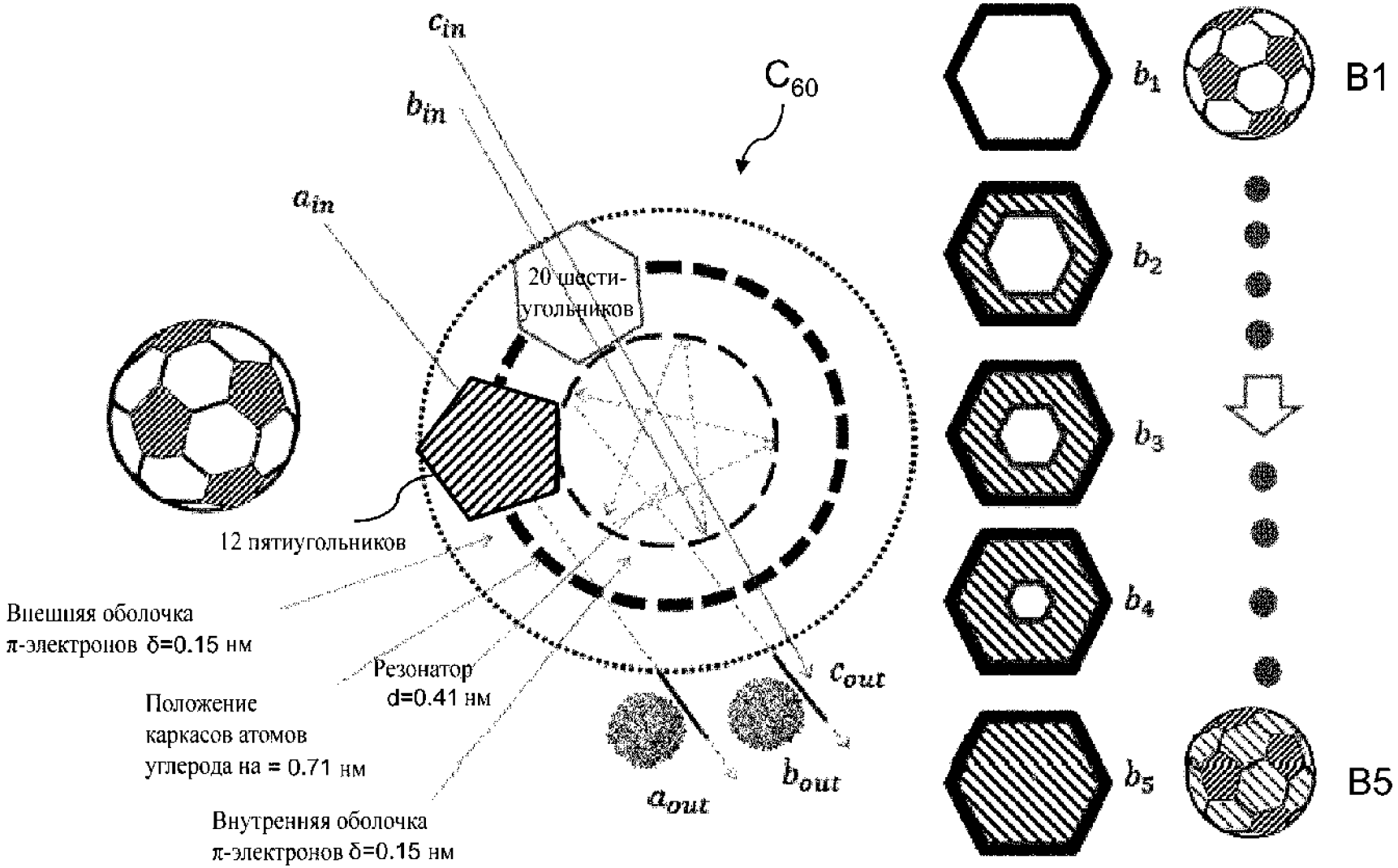
27. Применение по п. 26, отличающееся тем, что свет представляет собой солнечный свет или искусственный свет.



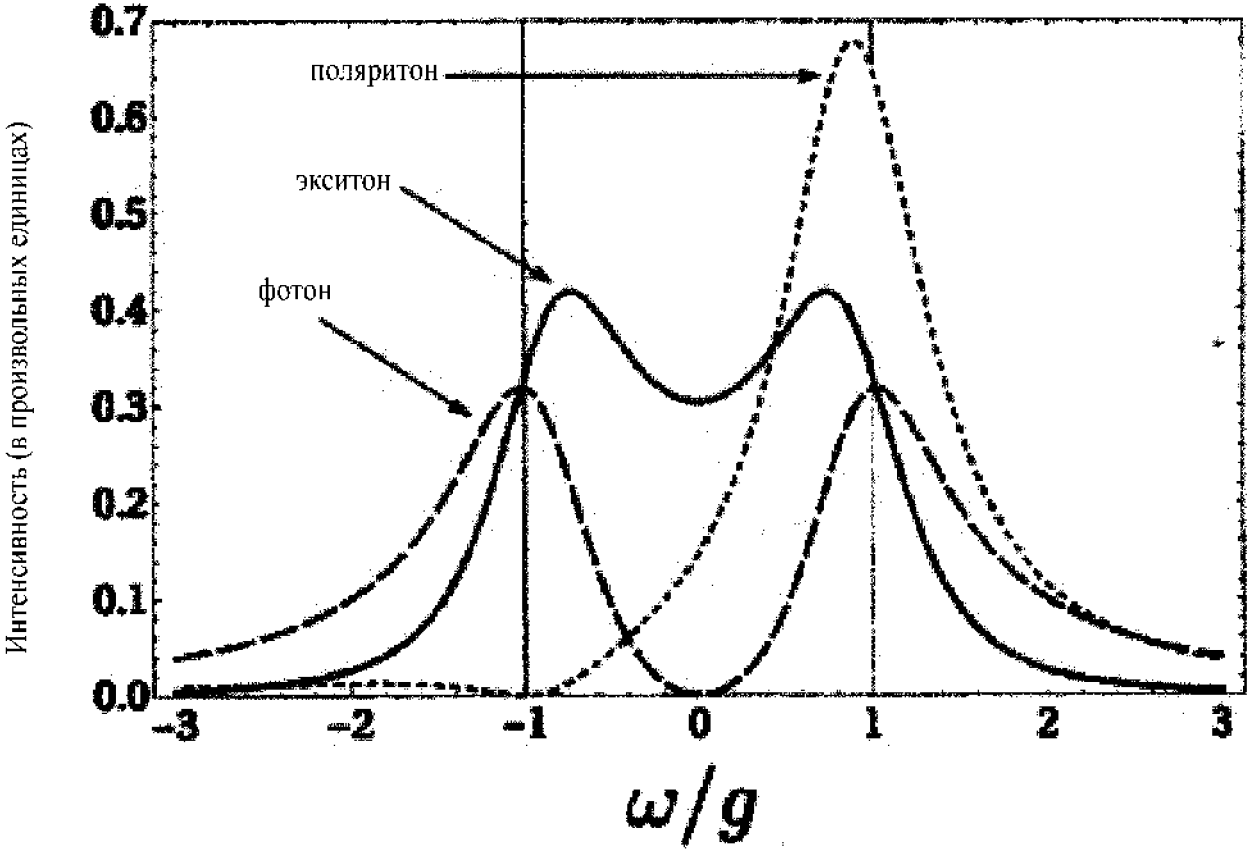
ФИГ. 1



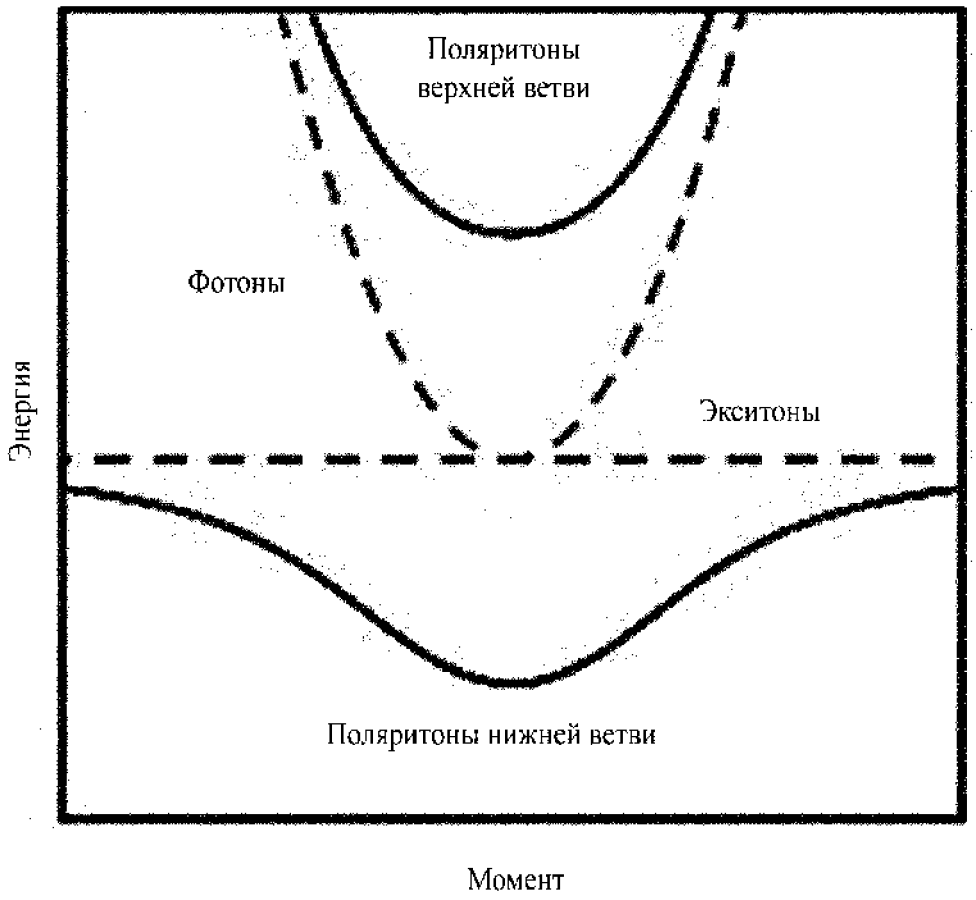
ФИГ. 2


c_{in}
b_{in}
a_{in}
C_{60}
20 шести-угольников
12 пятиугольников
Внешняя оболочка π-электронов δ=0.15 нм
Резонатор d=0.41 нм
Положение каркасов атомов углерода на = 0.71 нм
Внутренняя оболочка π-электронов δ=0.15 нм
c_{out}
b_{out}
a_{out}
b_1
b_2
b_3
b_4
b_5
B1
B5

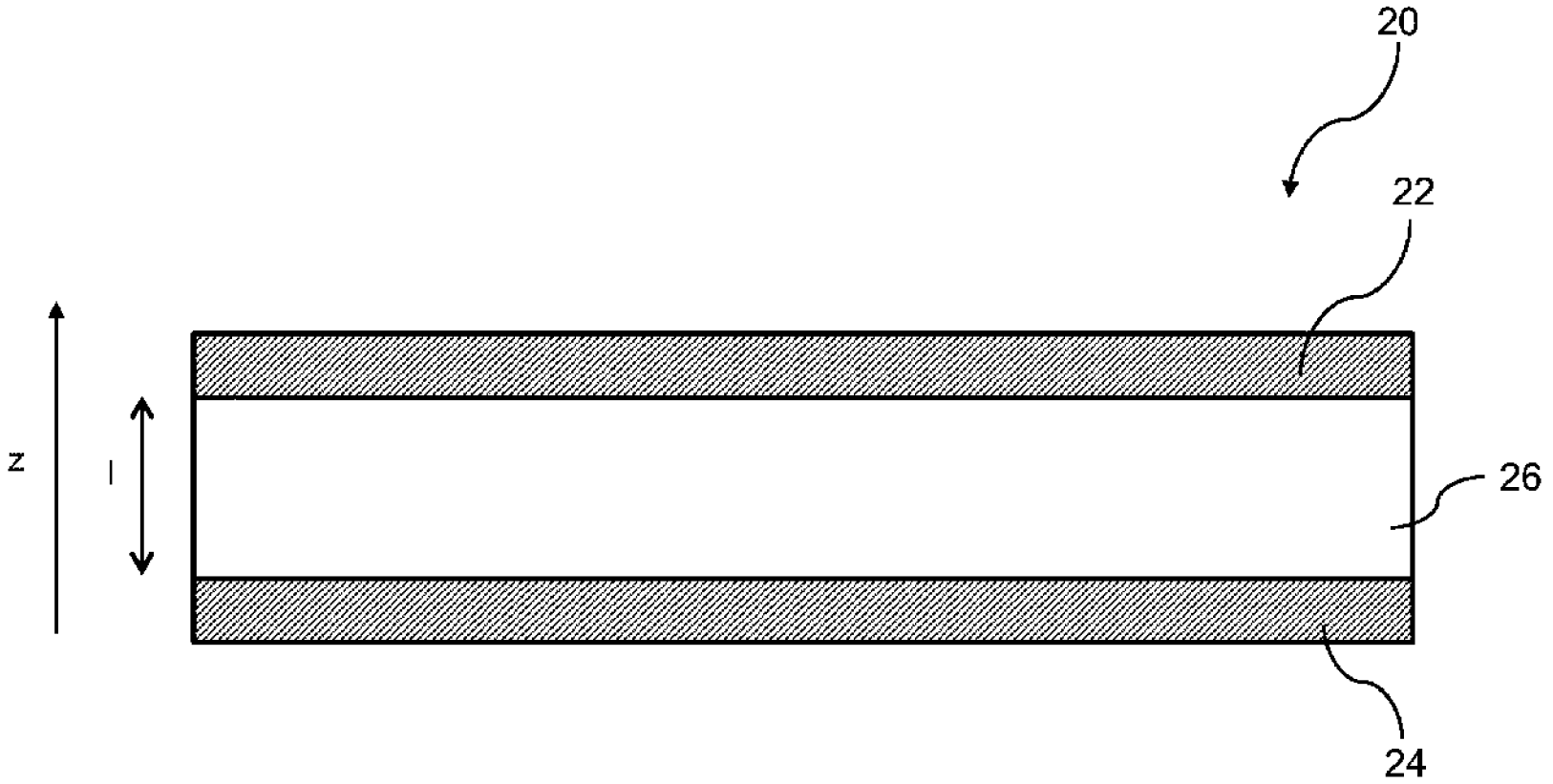
ФИГ. 3


Интенсивность (в произвольных единицах)
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
поляритон
экситон
фотон
-3
-2
-1
0
1
2
3
ω/g

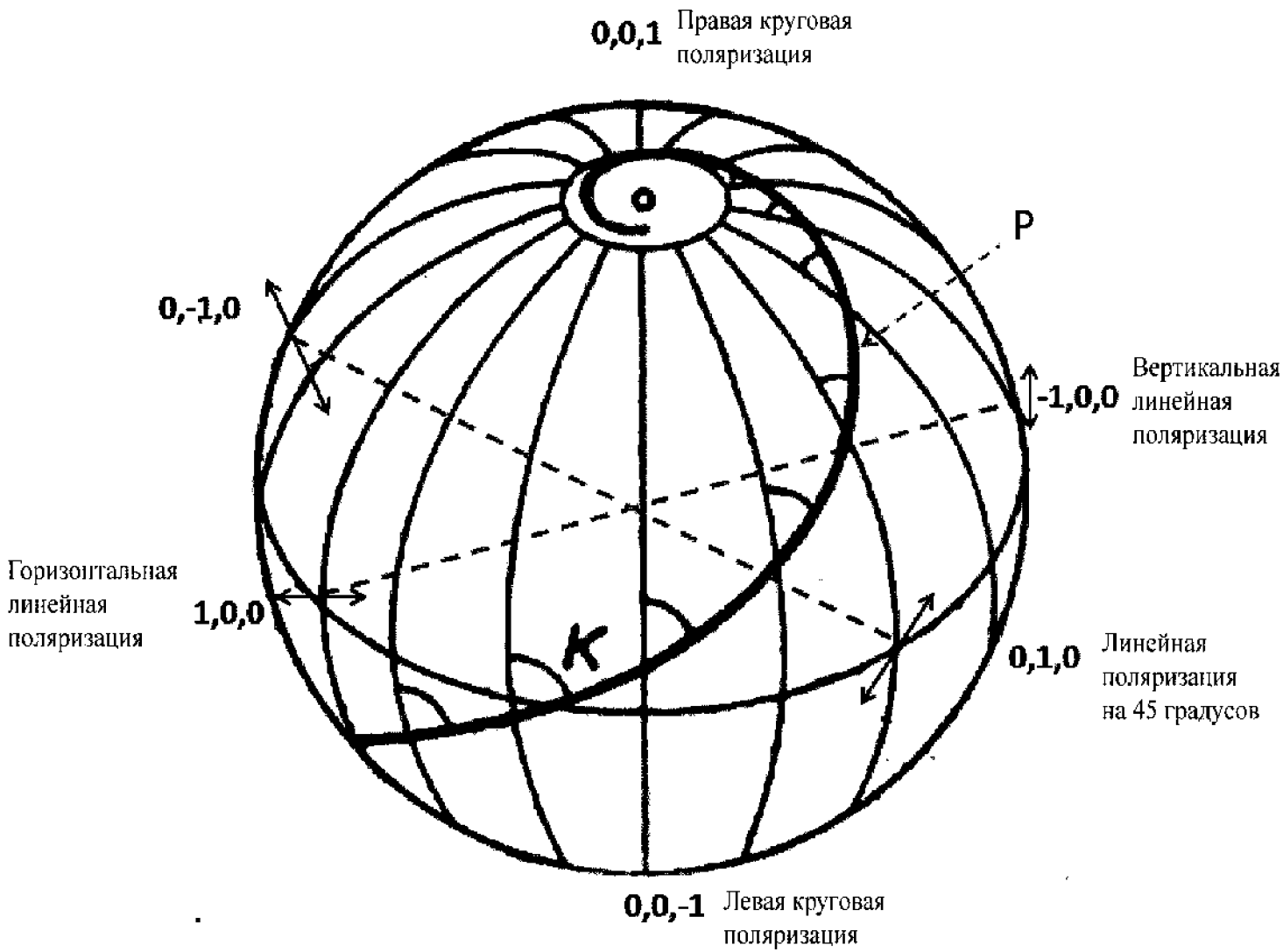
ФИГ. 4а


Поляритоны
верхней ветви
Фотоны
Экситоны
Энергия
Поляритоны нижней ветви
Момент

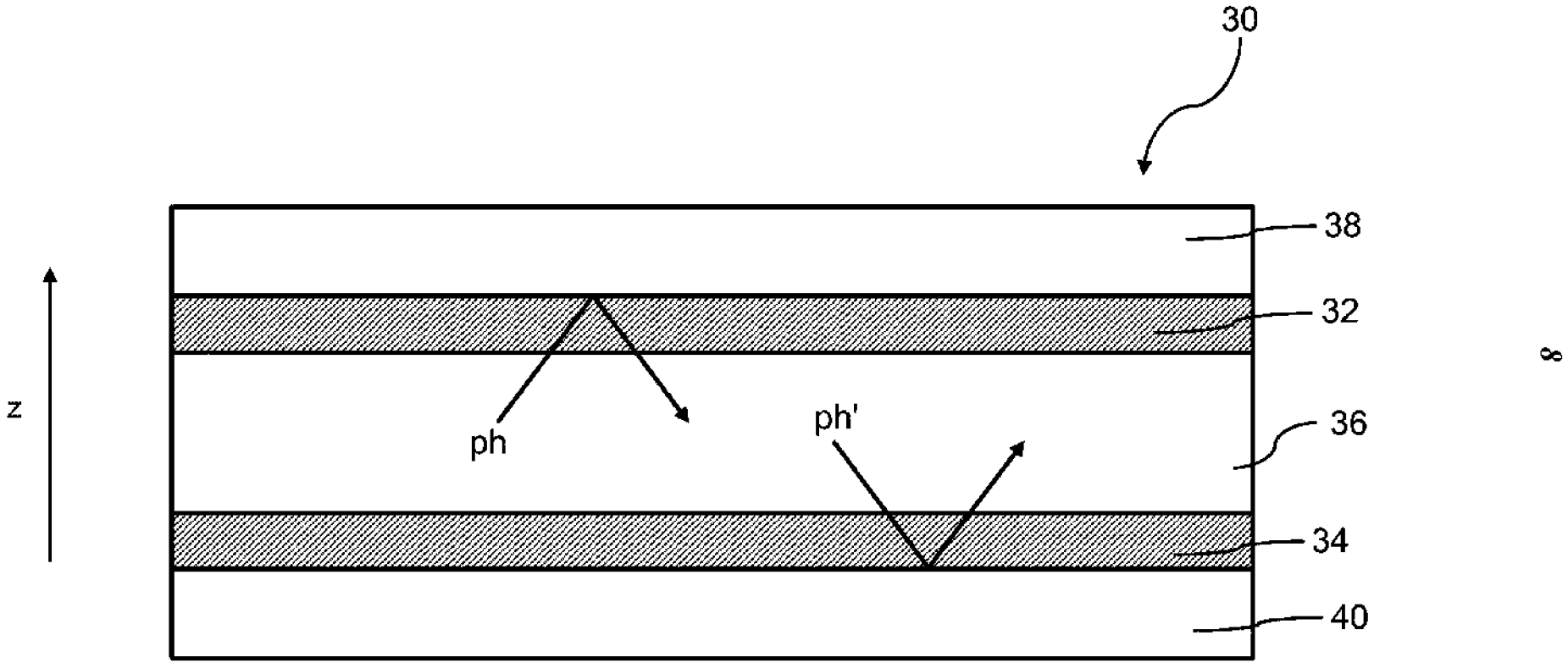
ФИГ. 4b



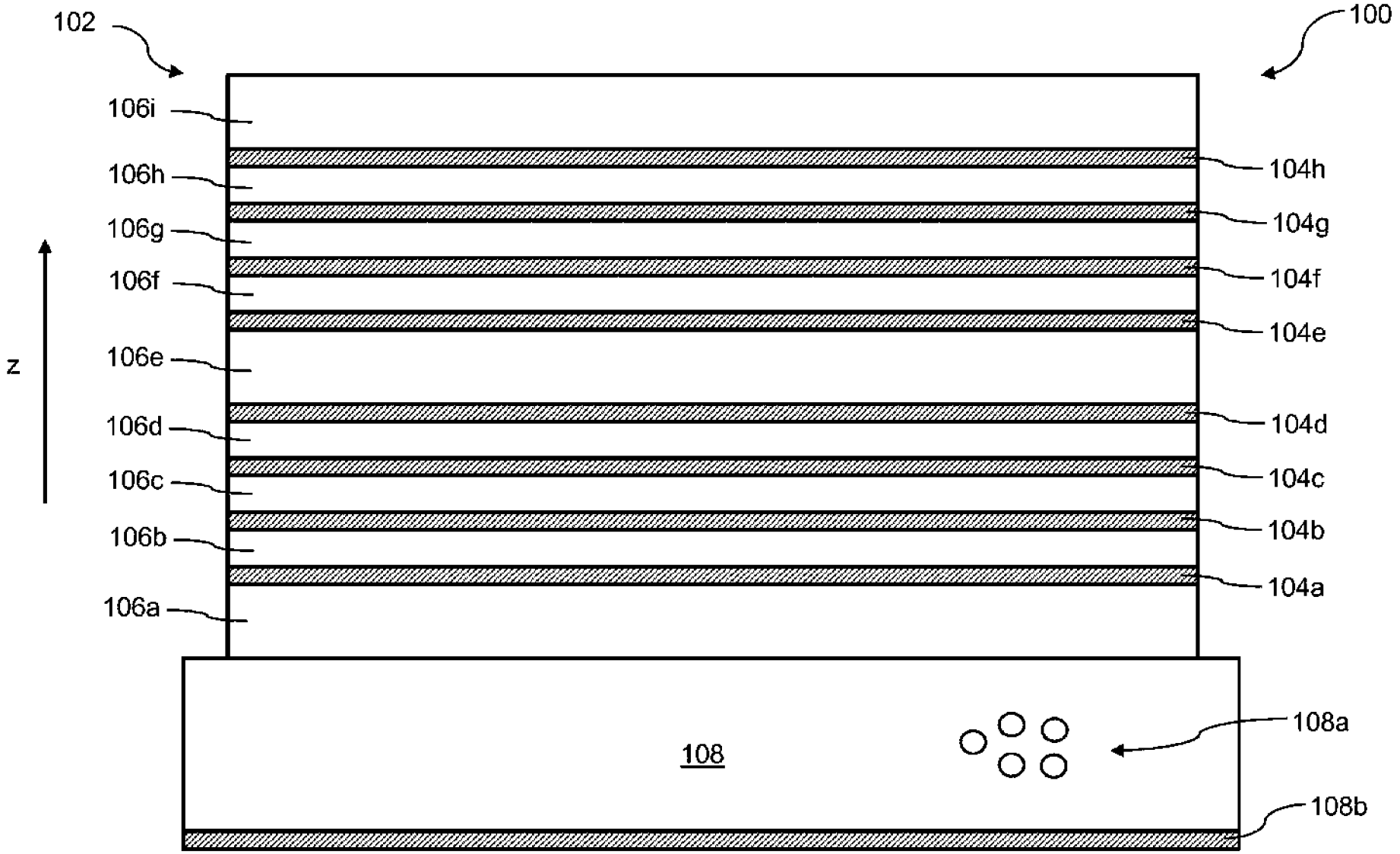
ФИГ. 5


0,0,1
Правая круговая поляризация
O
P
0,-1,0
-1,0,0
Вертикальная линейная поляризация
Горизонтальная линейная поляризация
1,0,0
K
0,1,0
Линейная поляризация на 45 градусов
0,0,-1
Левая круговая поляризация

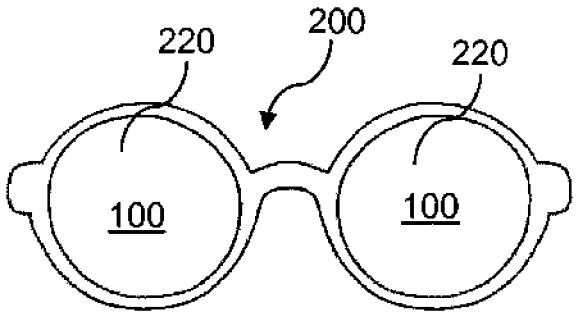
ФИГ. 6



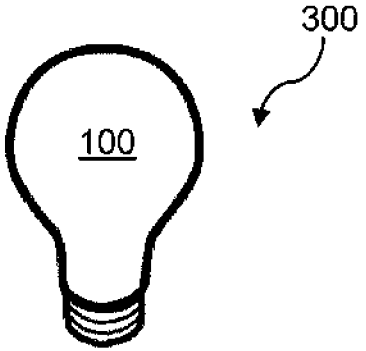
ФИГ. 7


102
100
106i
106h
106g
106f
106e
106d
106c
106b
106a
104h
104g
104f
104e
104d
104c
104b
104a
z
108
108a
108b

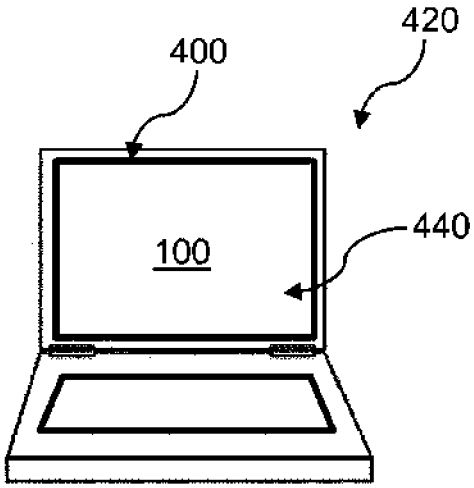
ФИГ. 8



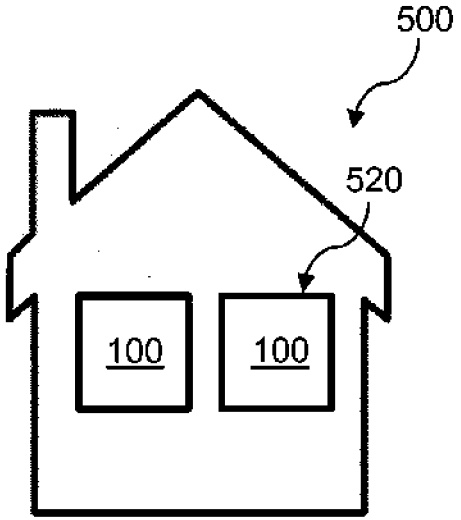
ФИГ. 9a



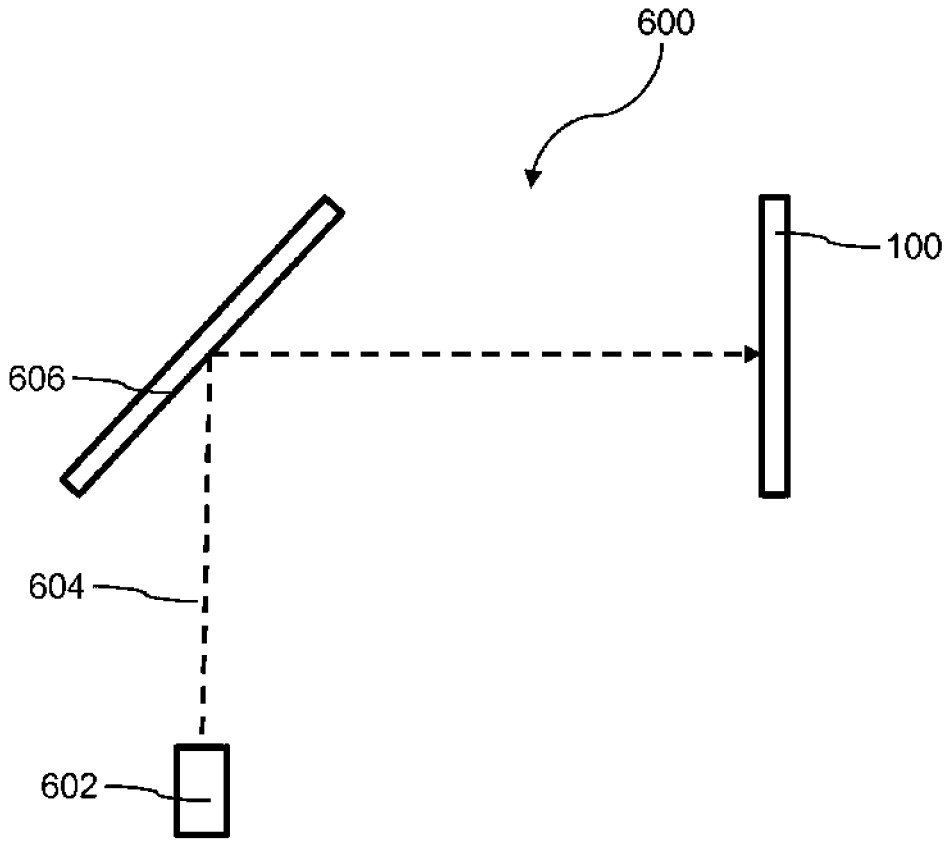
ФИГ. 9b



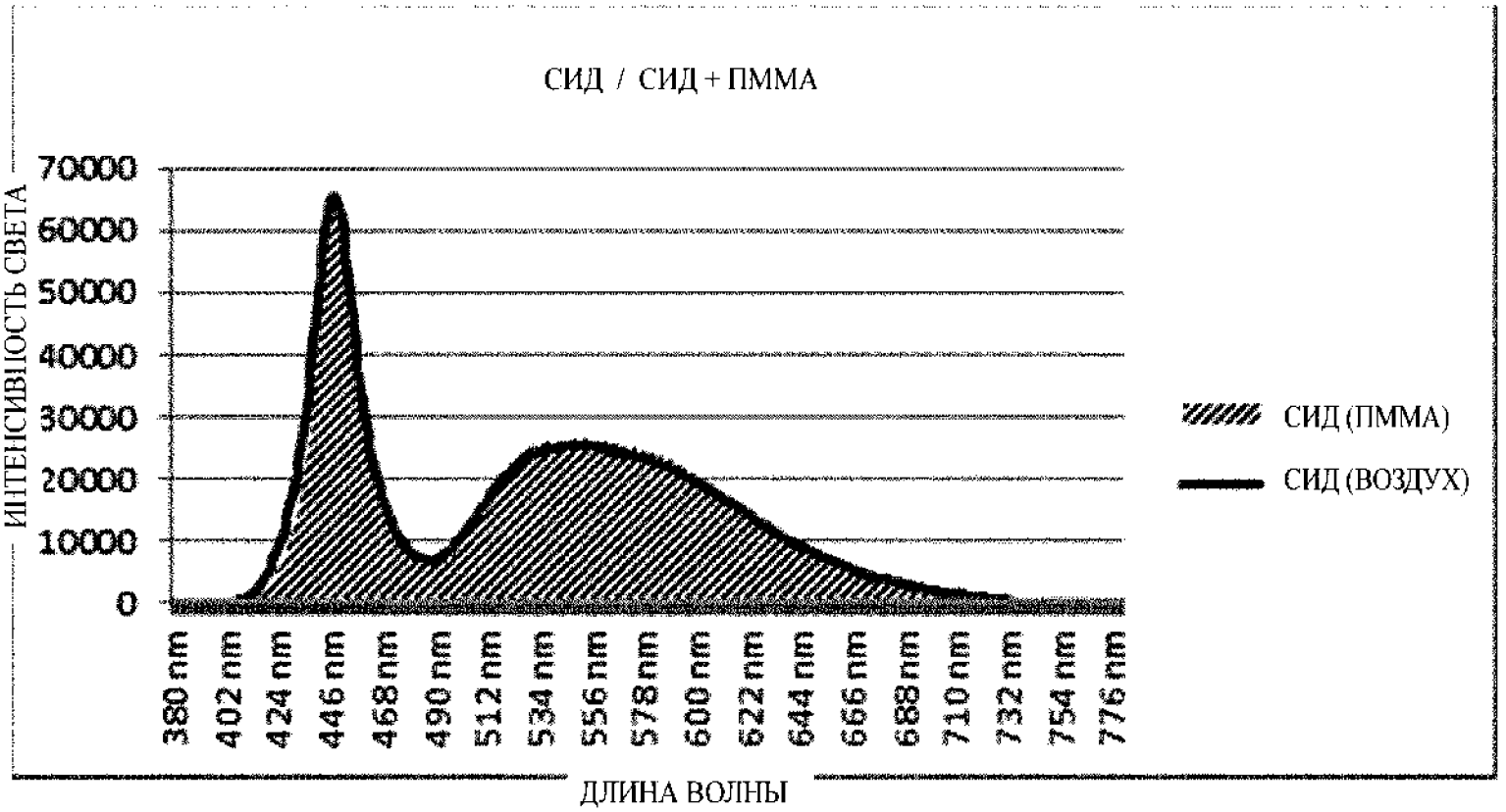
ФИГ. 9c



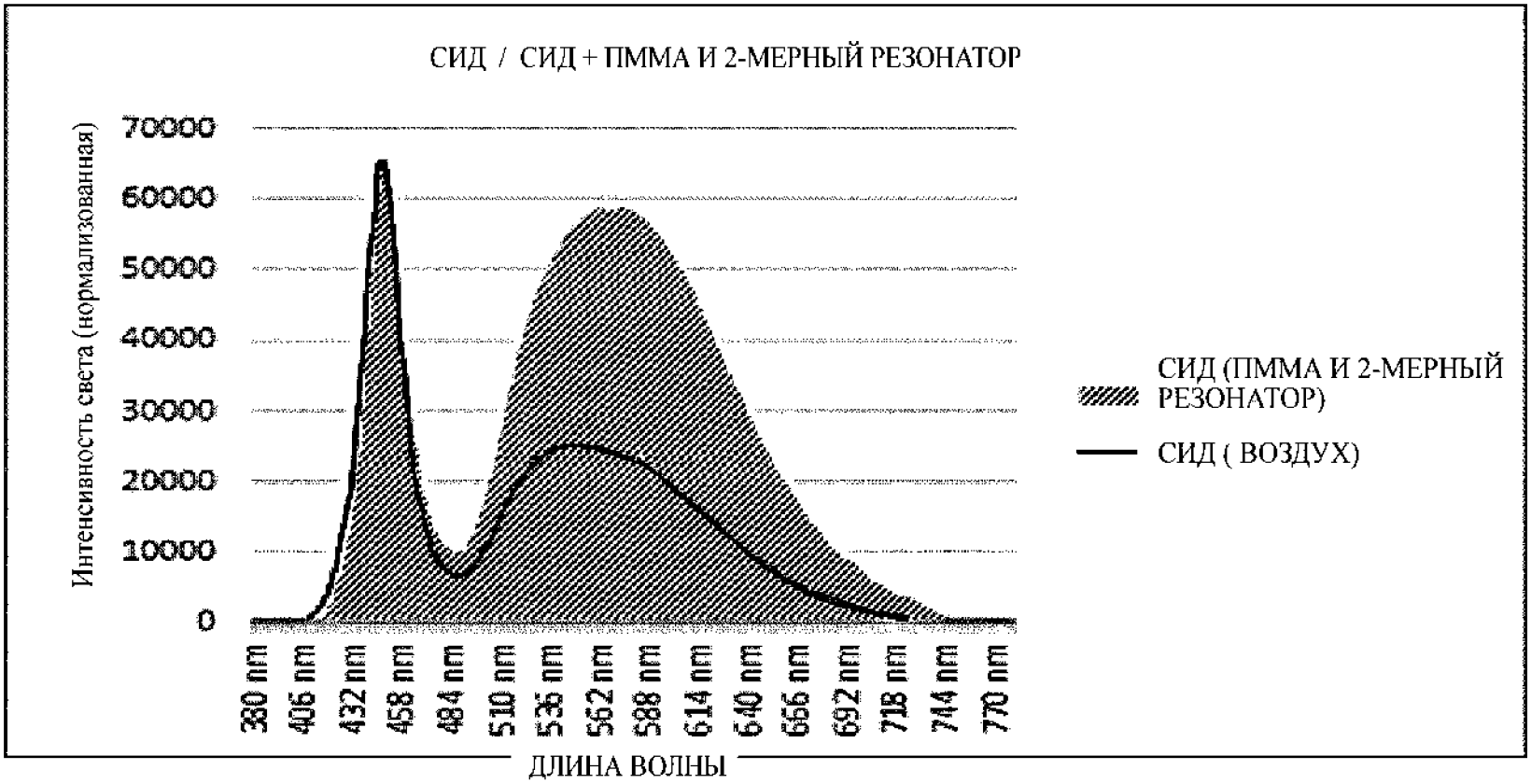
ФИГ. 9d



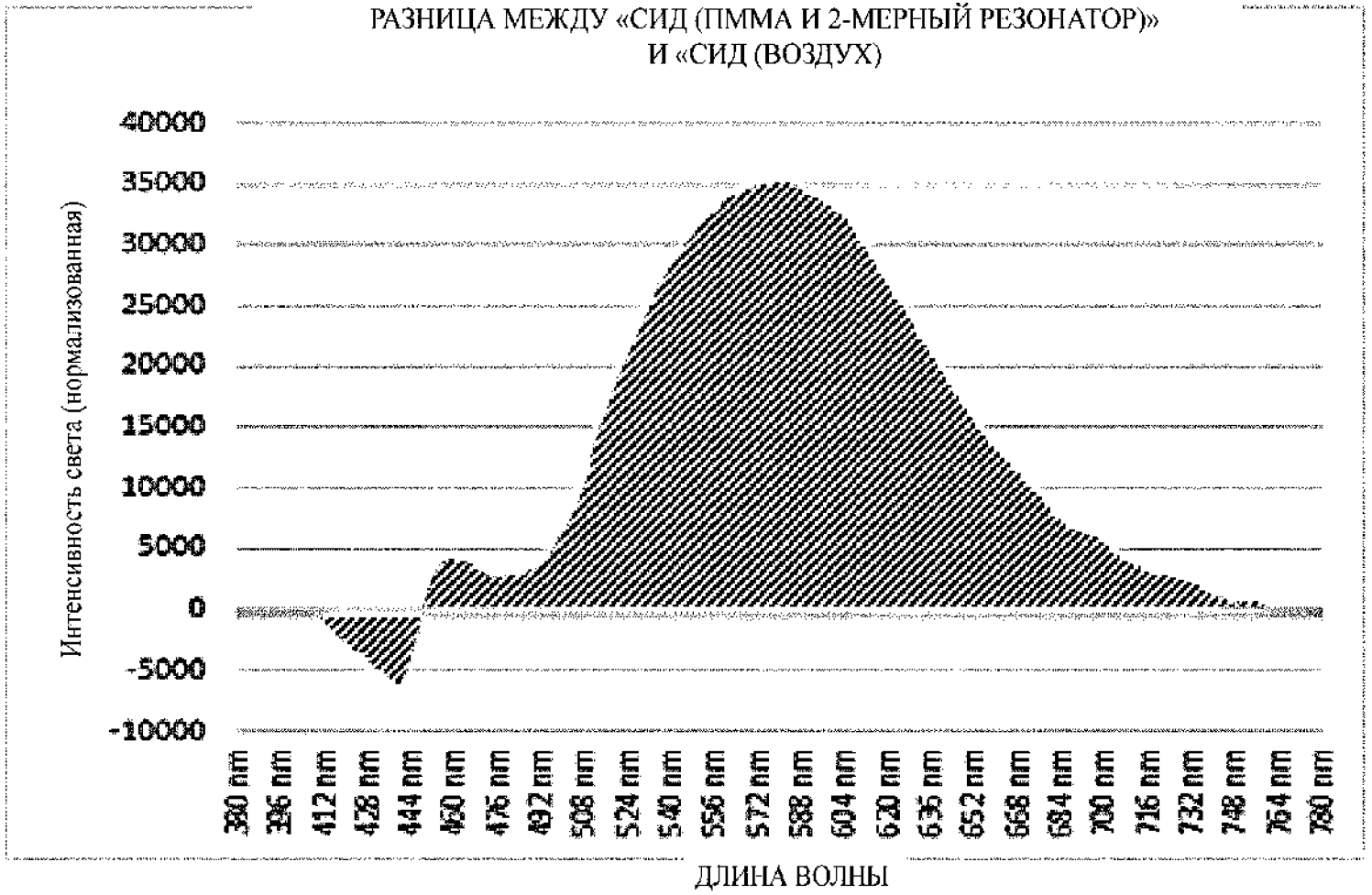
ФИГ. 10


СИД / СИД + ПММА
ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
402 nm
424 nm
446 nm
468 nm
490 nm
512 nm
534 nm
556 nm
578 nm
600 nm
622 nm
644 nm
666 nm
688 nm
710 nm
732 nm
754 nm
776 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
СИД (ПММА)
СИД (ВОЗДУХ)

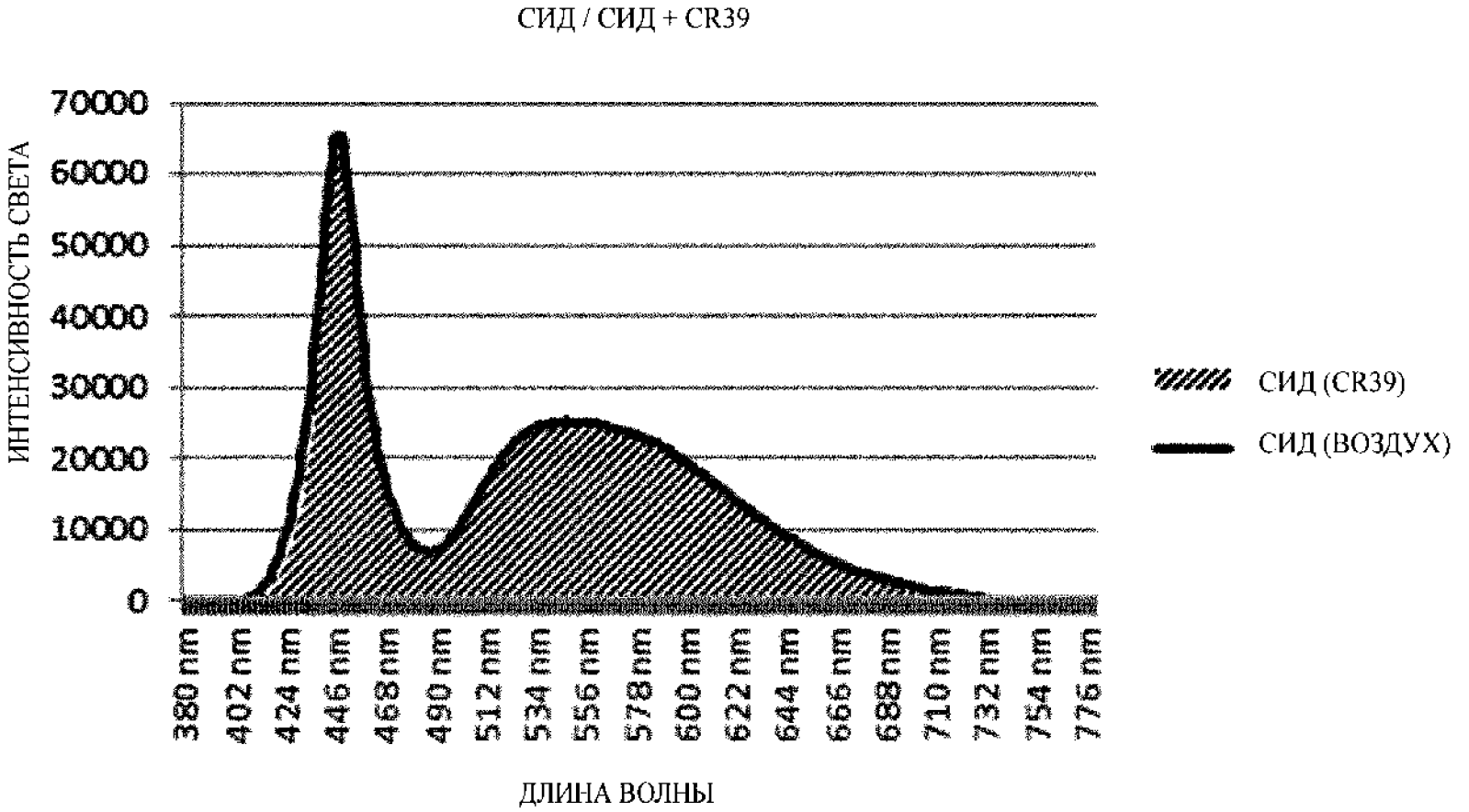
ФИГ. 11


СИД / СИД + ПММА И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР
Интенсивность света (нормализованная)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
406 nm
432 nm
458 nm
484 nm
510 nm
536 nm
562 nm
588 nm
614 nm
640 nm
666 nm
692 nm
718 nm
744 nm
770 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
СИД (ПММА И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)
СИД (ВОЗДУХ)

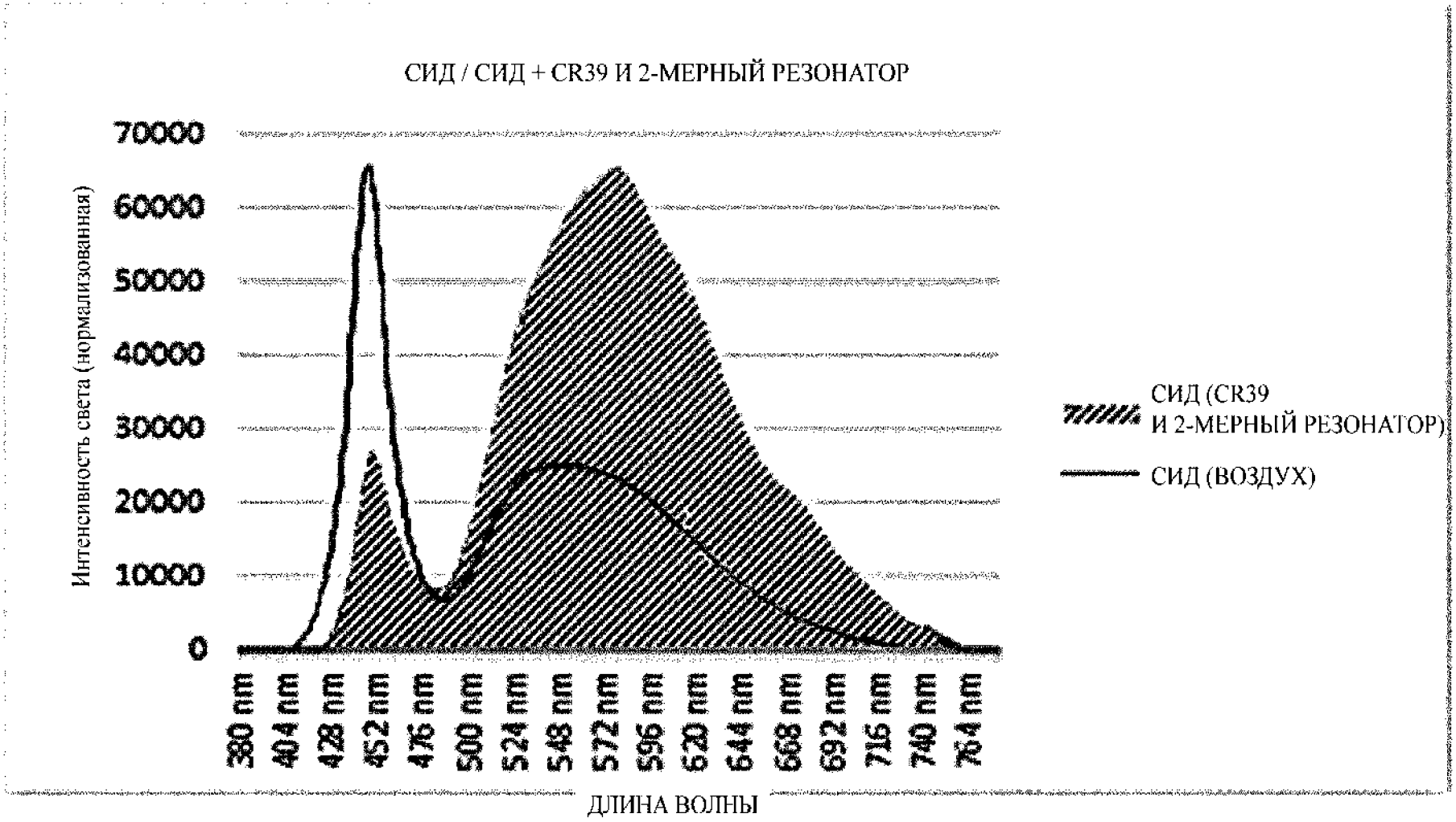
ФИГ. 12


РАЗНИЦА МЕЖДУ «СИД (ПММА И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)»
И «СИД (ВОЗДУХ)
Интенсивность света (нормализованная)
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
-5000
-10000
380 nm
396 nm
412 nm
428 nm
444 nm
460 nm
476 nm
492 nm
508 nm
524 nm
540 nm
556 nm
572 nm
588 nm
604 nm
620 nm
636 nm
652 nm
668 nm
684 nm
700 nm
716 nm
732 nm
748 nm
764 nm
780 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ

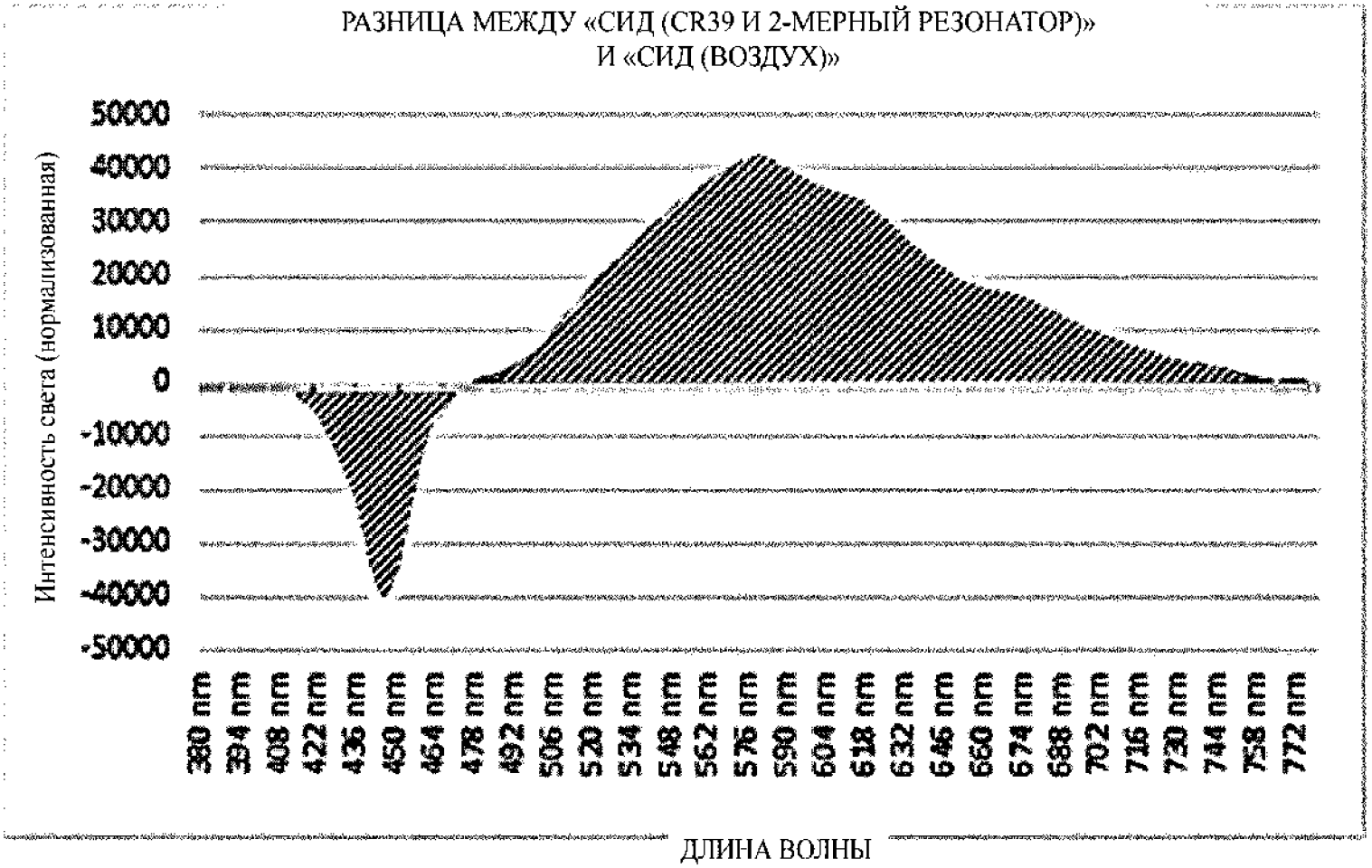
ФИГ. 13


СИД / СИД + CR39
ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
402 nm
424 nm
446 nm
468 nm
490 nm
512 nm
534 nm
556 nm
578 nm
600 nm
622 nm
644 nm
666 nm
688 nm
710 nm
732 nm
754 nm
776 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
СИД (CR39)
СИД (ВОЗДУХ)

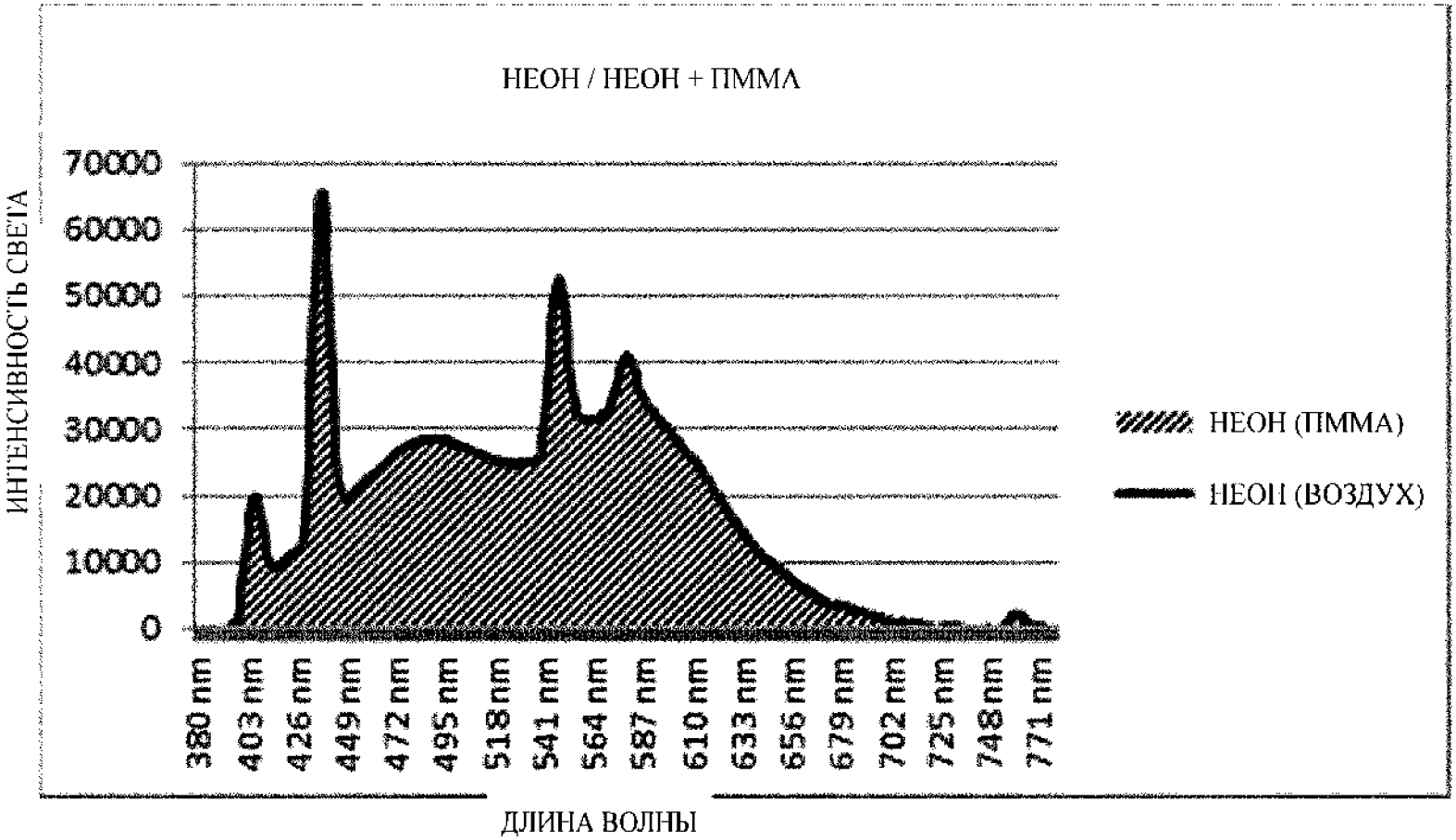
ФИГ. 14


СИД / СИД + CR39 И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР
Интенсивность света (нормализованная)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
404 nm
428 nm
452 nm
476 nm
500 nm
524 nm
548 nm
572 nm
596 nm
620 nm
644 nm
668 nm
692 nm
716 nm
740 nm
764 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
СИД (CR39
И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)
СИД (ВОЗДУХ)

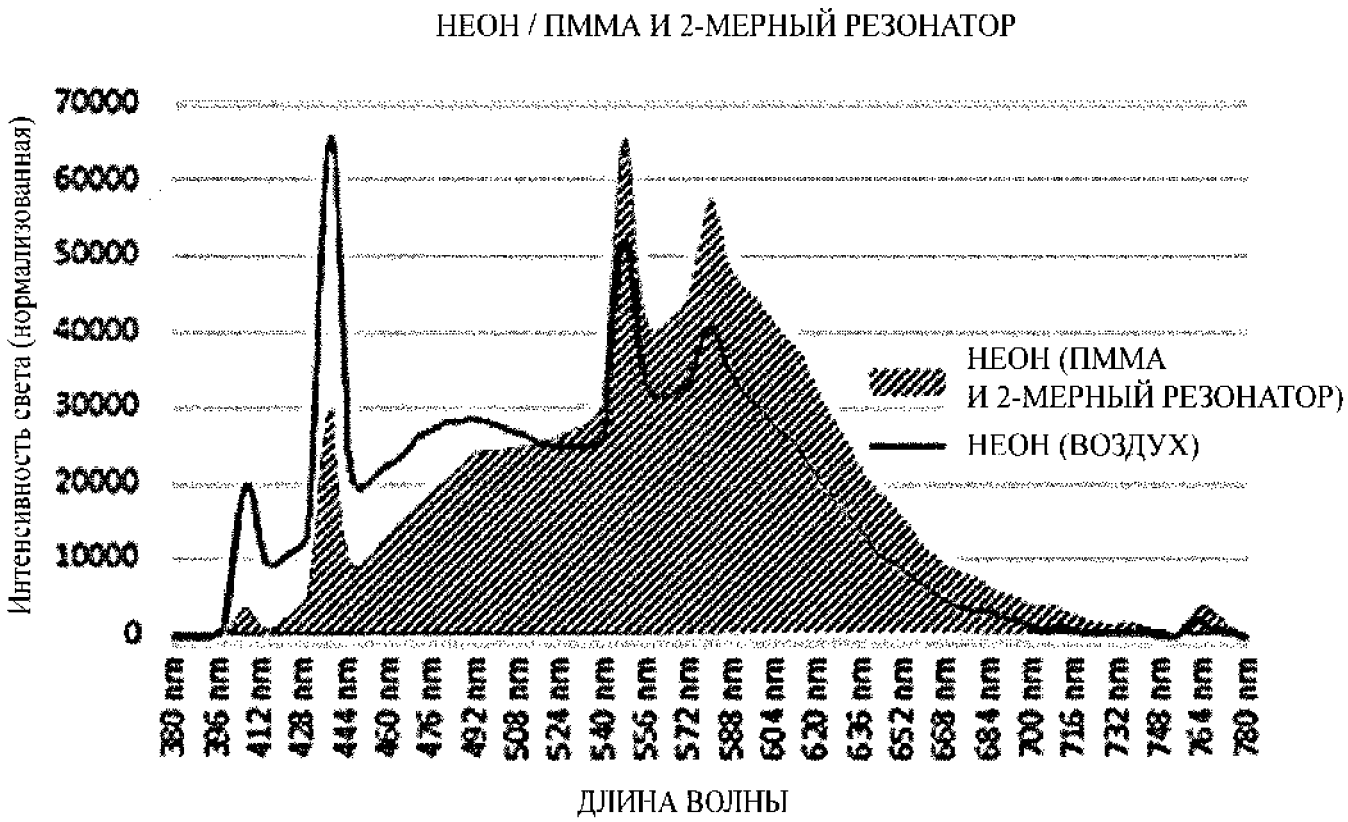
ФИГ. 15


РАЗНИЦА МЕЖДУ «СИД (CR39 И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)»
И «СИД (ВОЗДУХ)»
Интенсивность света (нормализованная)
50000
40000
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-40000
-50000
380 nm
394 nm
408 nm
422 nm
436 nm
450 nm
464 nm
478 nm
492 nm
506 nm
520 nm
534 nm
548 nm
562 nm
576 nm
590 nm
604 nm
618 nm
632 nm
646 nm
660 nm
674 nm
688 nm
702 nm
716 nm
730 nm
744 nm
758 nm
772 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ

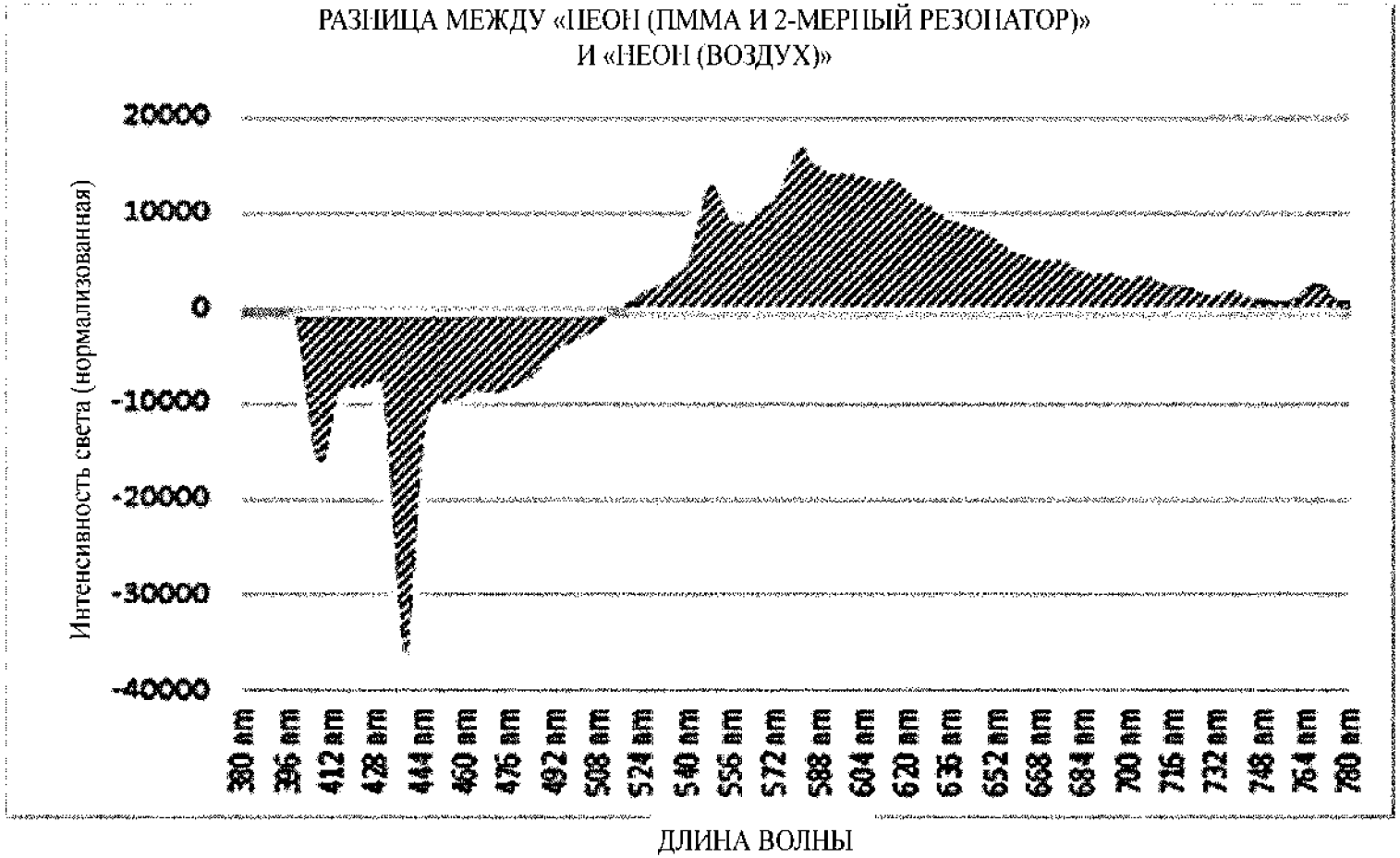
ФИГ. 16


НЕОН / НЕОН + ПММА
ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
403 nm
426 nm
449 nm
472 nm
495 nm
518 nm
541 nm
564 nm
587 nm
610 nm
633 nm
656 nm
679 nm
702 nm
725 nm
748 nm
771 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
НЕОН (ПММА)
НЕОН (ВОЗДУХ)

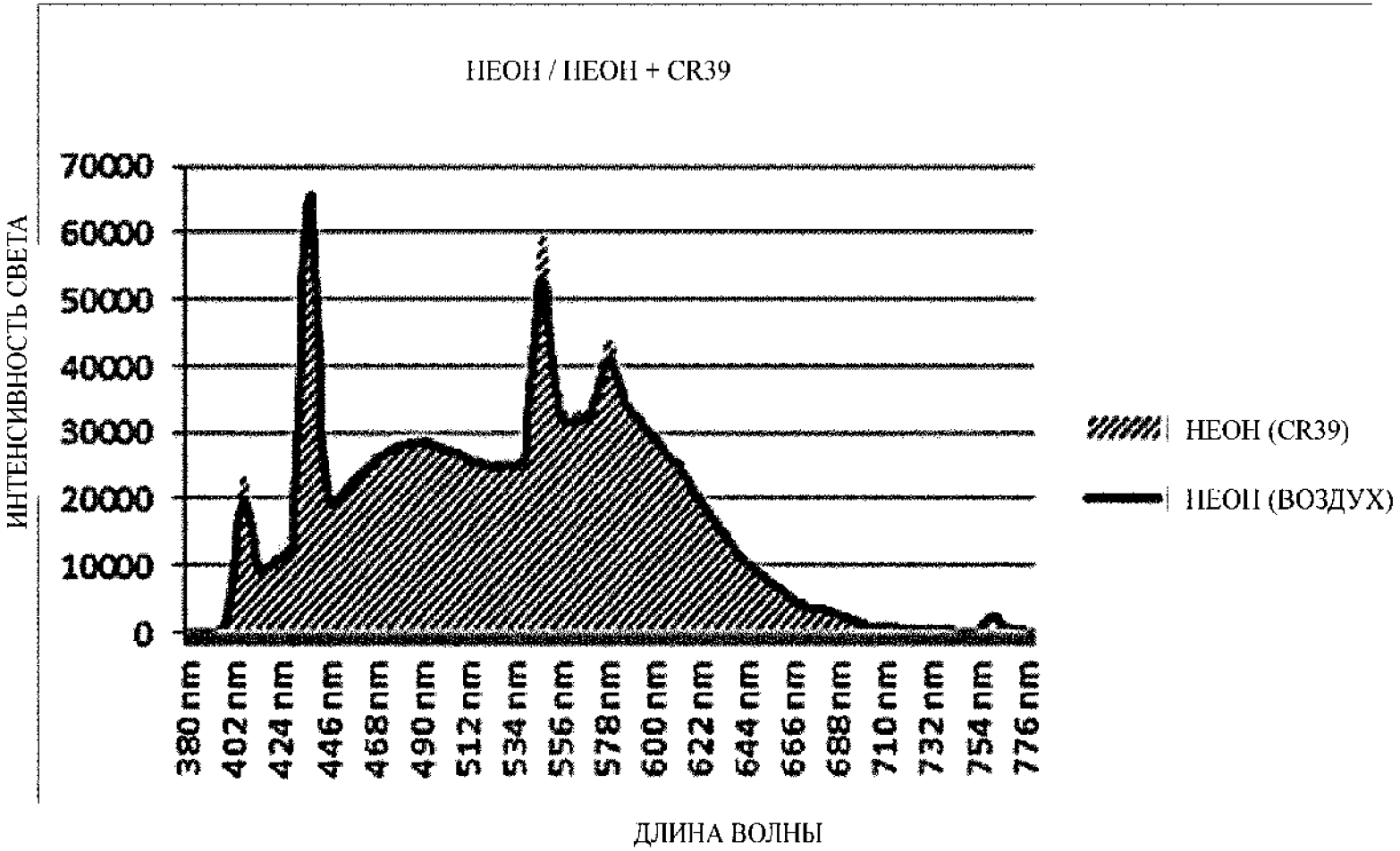
ФИГ. 17


НЕОН / ПММА И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР
Интенсивность света (нормализованная)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
НЕОН (ПММА
И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)
НЕОН (ВОЗДУХ)
380 nm
396 nm
412 nm
428 nm
444 nm
460 nm
476 nm
492 nm
508 nm
524 nm
540 nm
556 nm
572 nm
588 nm
604 nm
620 nm
636 nm
652 nm
668 nm
684 nm
700 nm
716 nm
732 nm
748 nm
764 nm
780 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ

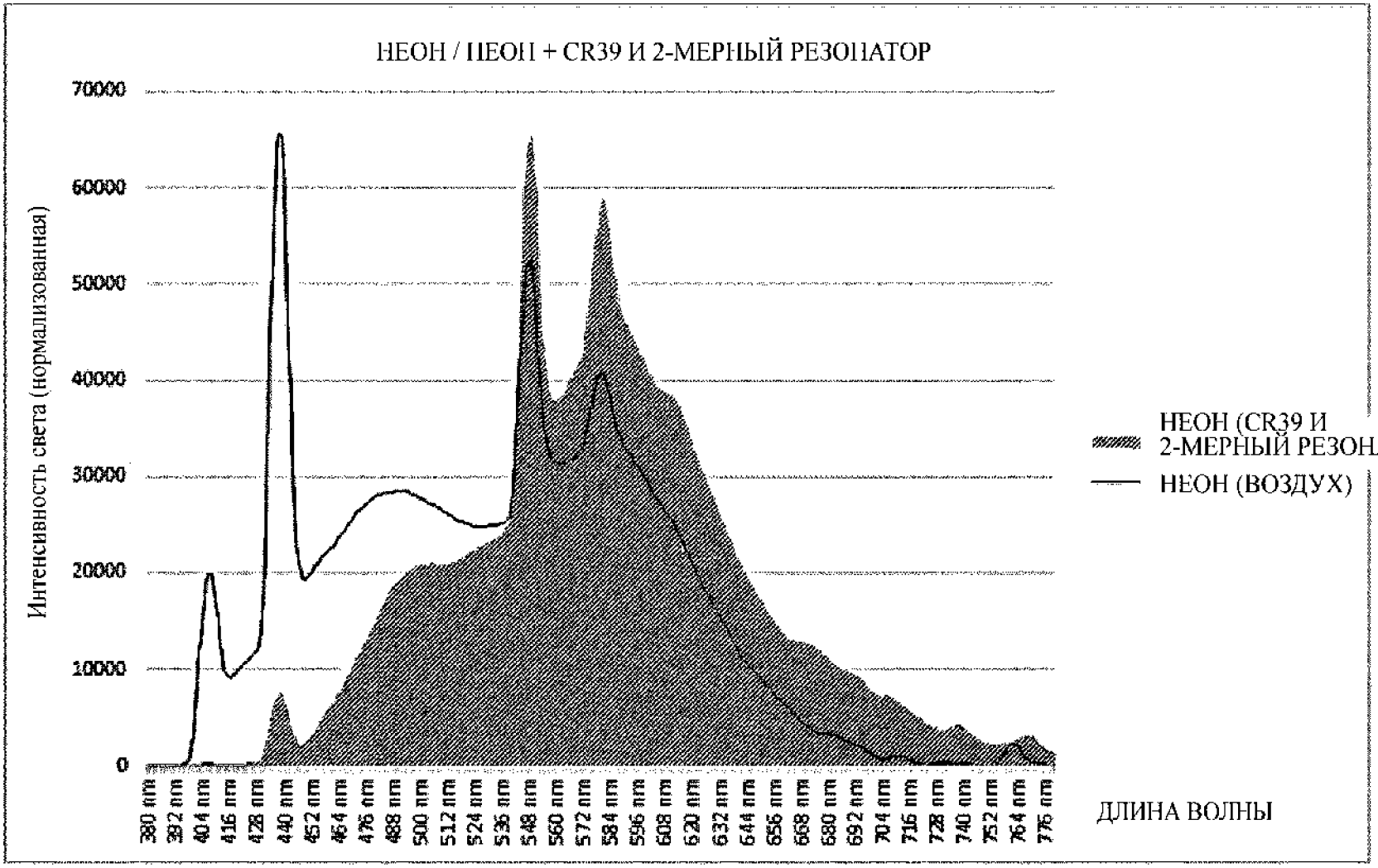
ФИГ. 18


РАЗНИЦА МЕЖДУ «НЕОН (ПММА И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)»
И «НЕОН (ВОЗДУХ)»
Интенсивность света (нормализованная)
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-40000
380 nm
396 nm
412 nm
428 nm
444 nm
460 nm
476 nm
492 nm
508 nm
524 nm
540 nm
556 nm
572 nm
588 nm
604 nm
620 nm
636 nm
652 nm
668 nm
684 nm
700 nm
716 nm
732 nm
748 nm
764 nm
780 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ

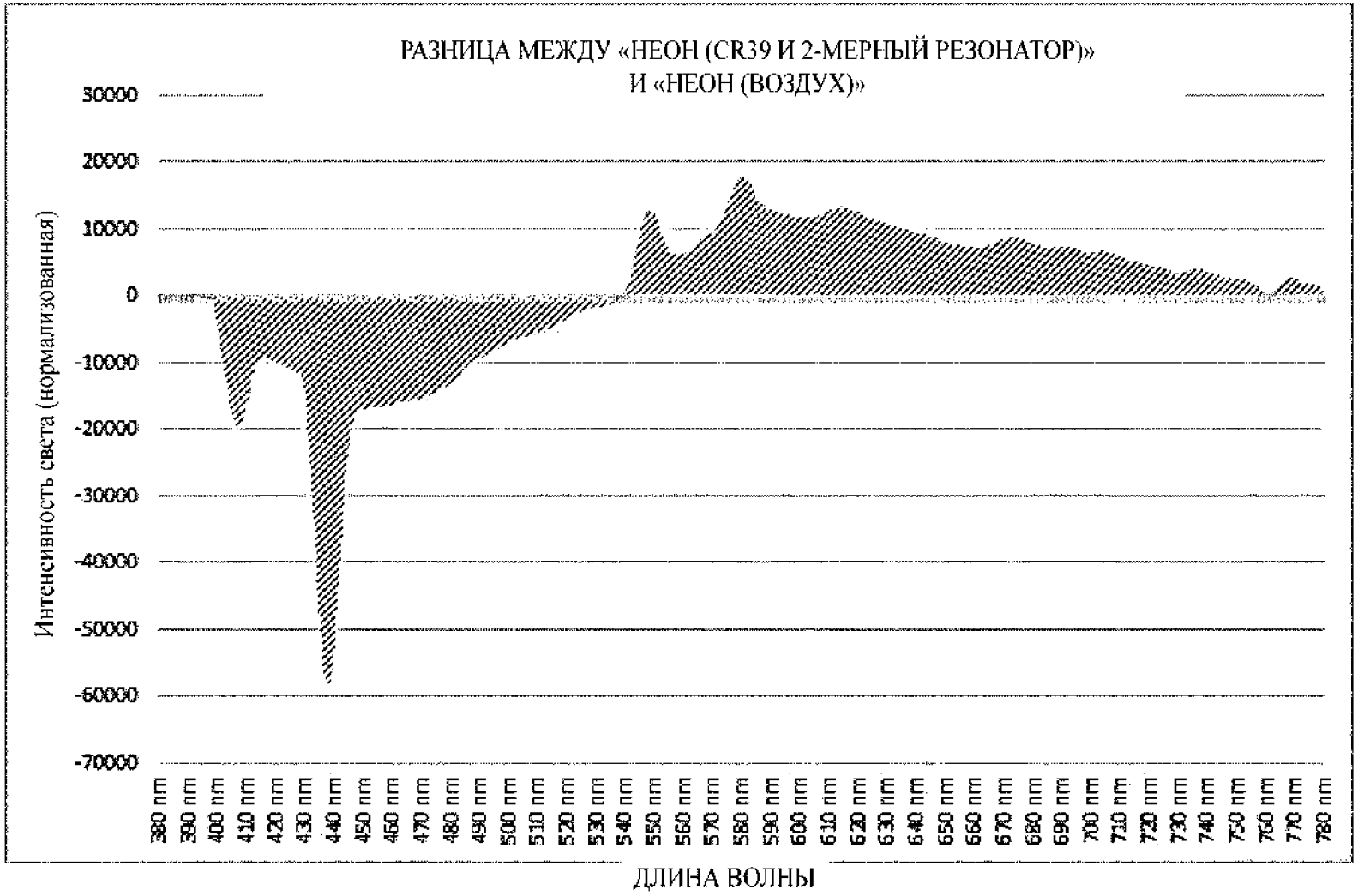
ФИГ. 19


НЕОН / НЕОН + CR39
ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
402 nm
424 nm
446 nm
468 nm
490 nm
512 nm
534 nm
556 nm
578 nm
600 nm
622 nm
644 nm
666 nm
688 nm
710 nm
732 nm
754 nm
776 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ
НЕОН (CR39)
НЕОН (ВОЗДУХ)

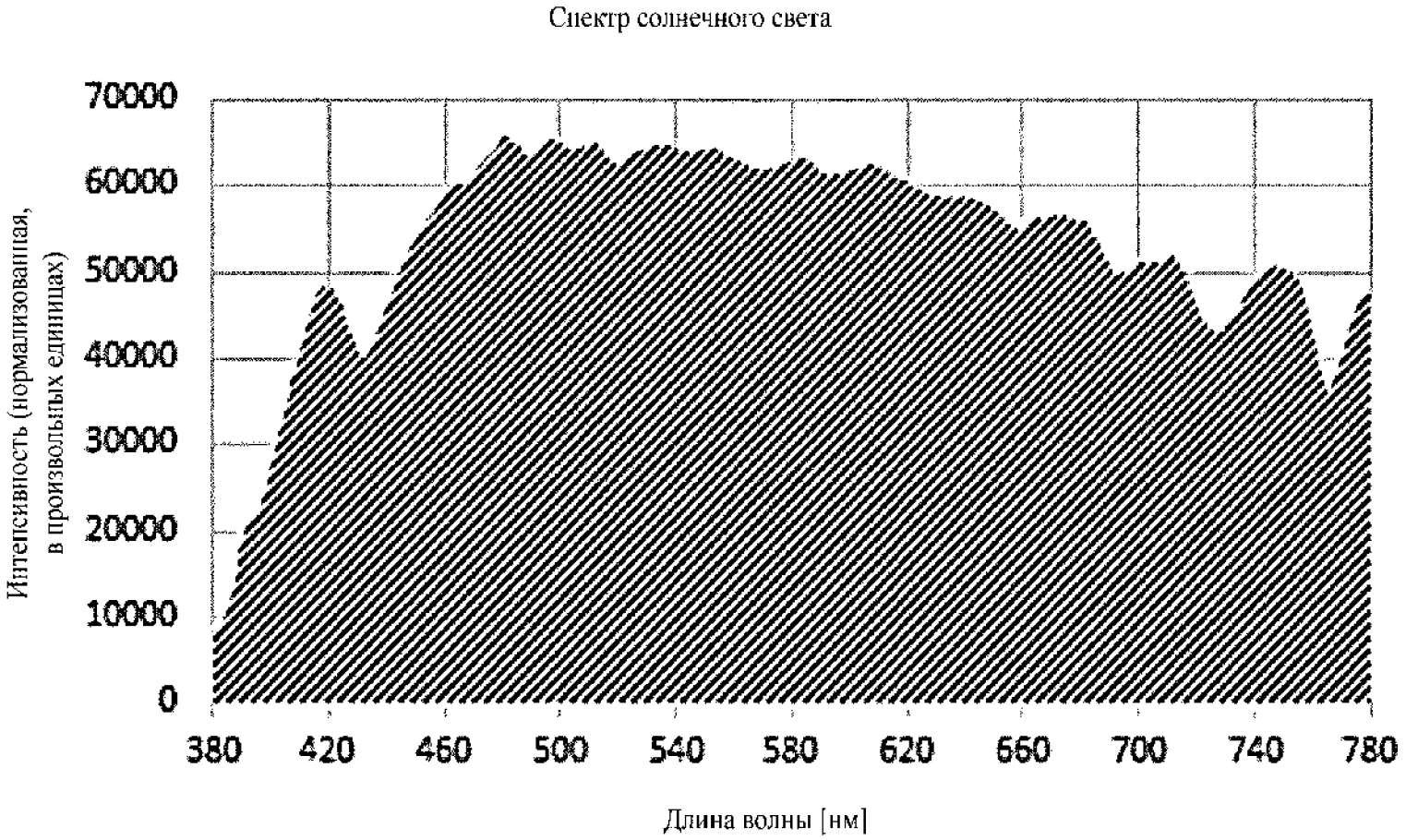
ФИГ. 20


НЕОН / НЕОН + CR39 И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР
Интенсивность света (нормализованная)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380 nm
392 nm
404 nm
416 nm
428 nm
440 nm
452 nm
464 nm
476 nm
488 nm
500 nm
512 nm
524 nm
536 nm
548 nm
560 nm
572 nm
584 nm
596 nm
608 nm
620 nm
632 nm
644 nm
656 nm
668 nm
680 nm
692 nm
704 nm
716 nm
728 nm
740 nm
752 nm
764 nm
776 nm
НЕОН (CR39 И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)
НЕОН (ВОЗДУХ)
ДЛИНА ВОЛНЫ

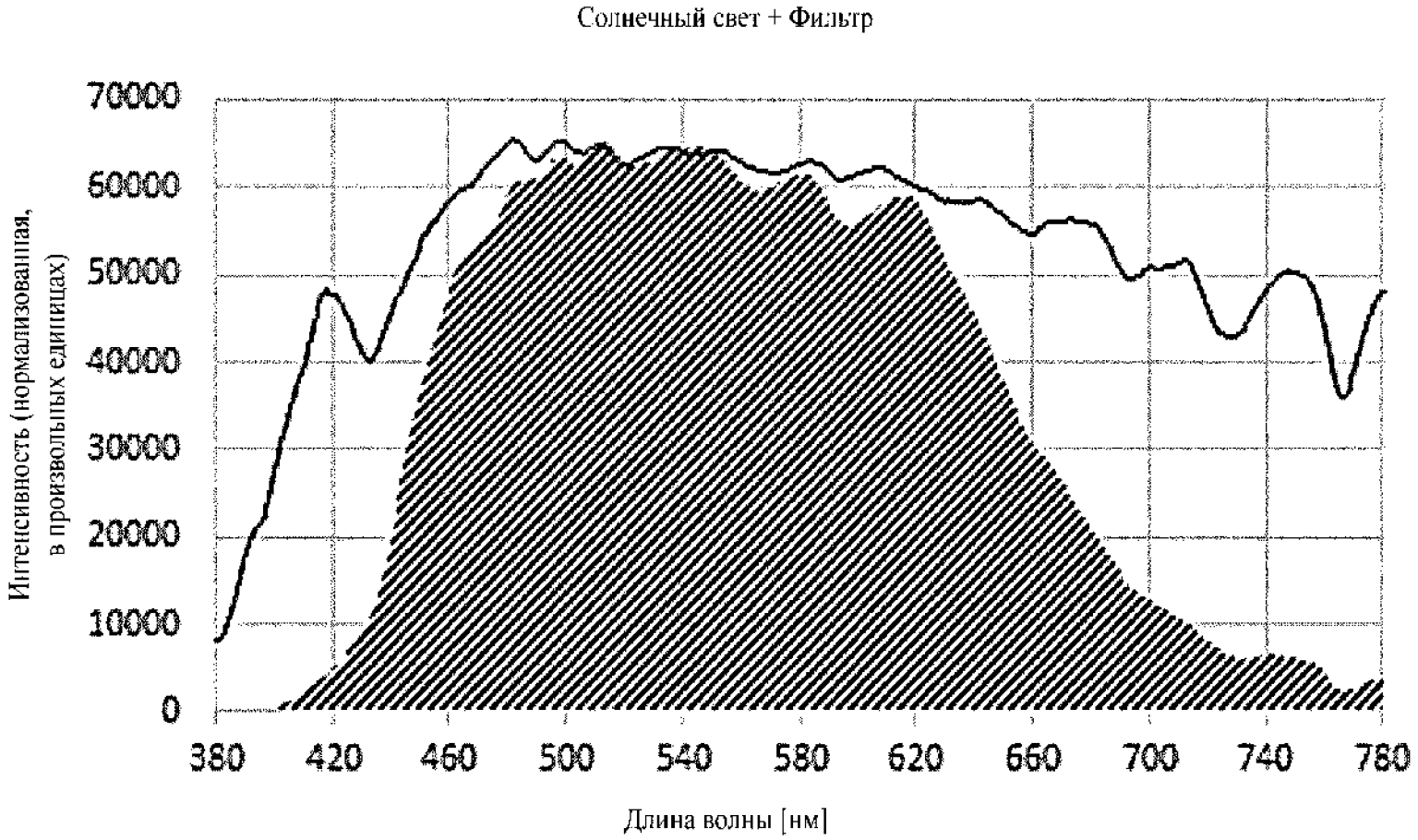
ФИГ. 21


РАЗНИЦА МЕЖДУ «НЕОН (CR39 И 2-МЕРНЫЙ РЕЗОНАТОР)»
И «НЕОН (ВОЗДУХ)»
Интенсивность света (нормализованная)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-40000
-50000
-60000
-70000
380 nm
390 nm
400 nm
410 nm
420 nm
430 nm
440 nm
450 nm
460 nm
470 nm
480 nm
490 nm
500 nm
510 nm
520 nm
530 nm
540 nm
550 nm
560 nm
570 nm
580 nm
590 nm
600 nm
610 nm
620 nm
630 nm
640 nm
650 nm
660 nm
670 nm
680 nm
690 nm
700 nm
710 nm
720 nm
730 nm
740 nm
750 nm
760 nm
770 nm
780 nm
ДЛИНА ВОЛНЫ

ФИГ. 22


Спектр солнечного света
Интенсивность (нормализованная, в произвольных единицах)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380
420
460
500
540
580
620
660
700
740
780
Длина волны [нм]

ФИГ. 23


Солнечный свет + Фильтр
Интенсивность (нормализованная, в произвольных единицах)
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
380
420
460
500
540
580
620
660
700
740
780
Длина волны [нм]

ФИГ. 24

	Источник света	E_v (люкс)	T_{cp} (люкс)	λ_d (нм)	CIE 1931	P_e (%)	SDE ($Вт/м^2$) 380-780 нм	SDE ($Вт/м^2$) 400-500 нм	SDE ($Вт/м^2$) 500-600 нм	SDE ($Вт/м^2$) 600-700 нм
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
A0	**Свет СИД**	2440.1	8285	476	*x=0.29* y=0.26	16.6	**8.30** 1.00	3.22	3.56	1.50
A01	**СИД/ПММА**	2380.4	7248	481	**x=0.30** *y=0.31*	12.0	**7.82** 0.94	2.74.	3.40	1.45
A011	**СИД / ПММА C_{60} (@)**	1201.1	4333	574	x=0.37 y=0.30	27.4	**3.42** 0.41	0.71	1.73	0.94
A02	**СИД/CR39**	2395.3	7387	480	x=0.30 y=0.30	12.7	**7.95** 0.96	2.78	3.46	1.38
A021	**СИД/CR39 C_{60} (nf)**	949.9	3618	575	x=0.42 y=0.45	618	**2.55** 0.30	0.26	1.37	0.85
B0	**Неоновый свет**	444.2	5842	529	x 0.32 y=0.35	4.7	**1.38** 1.00	0.49	0.65	0.24
B01	**НЕОН/ПММА**	434.6	5818	530	x=0.32 y=0.35	4.8	1.34 0.97	0.48	0.64	0.24
B011	**NEDN/ПММА C_{60} (@)**	259.4	3956	573	**x=0.39** y=0.43	49.2	**0.70** 0.50	0.13	037	0.19
B02	**НЕОН/CR39**	431.4	5830	532	*x=0.31* y=0.34	5.4	**1.32** 0.98	0.47	0.63	0.22
B021	**НЕОН/CR39 C_{60}**(of)	145.3	3539	575	*x=0.43* *y=0.47*	72.2	**0.38** 0.27	0.04	0.20	0.12

ФИГ. 25