



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02F 2/02 (2024.01); B82B 1/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023119699, 25.07.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.07.2023

Дата регистрации:
13.09.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.07.2023

(45) Опубликовано: 13.09.2024 Бюл. № 26

Адрес для переписки:

720000, Кыргызская Респ., г. Бишкек, ул.
Киевская, 44, КРСУ, отдел интеллектуальной
собственности, каб. 214, Карпушевич Светлана
Витальевна

(72) Автор(ы):

МОЛДОСАНОВ Камиль Абдикеримович
(KG),

КАЙРЫЕВ Нурланбек Жуганович (KG),

ЛЕЛЕВКИН Валерий Михайлович (KG),

Постников Андрей Викторович (RU),

Кропотов Григорий Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Кыргызско-Российский
Славянский университет (КРСУ) (KG)

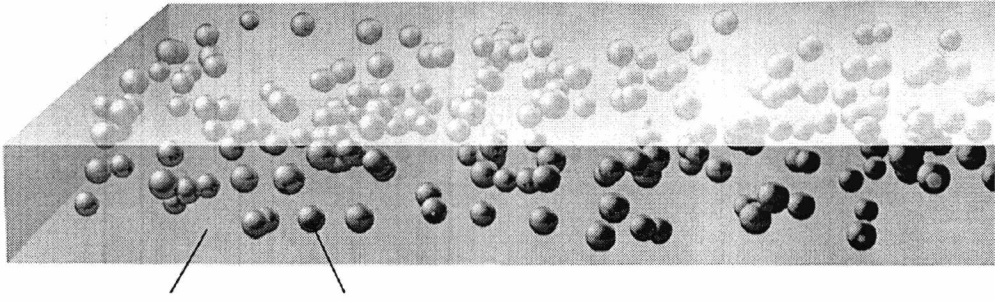
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: KG 1684 C1, 31.10.2014. US
20160027971 A1, 28.01.2016. WO 2012052947 A1,
26.04.2012. US 20140007921 A1, 09.01.2014. RU
2642119 C2, 24.01.2018. RU 2511070 C1,
10.04.2014.

(54) УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области техники, предназначенной для визуализации источников терагерцевого (ТГц) излучения, и может быть использовано при создании приборов для ранней диагностики рака кожи. Изобретение также может быть использовано при создании приборов для обнаружения предметов, скрытых под одеждой граждан, в аэропортах, на вокзалах, стадионах и других публичных местах. Предложено устройство преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение в виде матрицы, прозрачной в области преобразуемых частот ТГц диапазона и в области

регистрируемых частот ИК диапазона, которое содержит преобразователи в виде наночастиц из медно-никелевого сплава состава 47 масс. % С и 53 масс. % Ni, однородно распределенных в объеме матрицы, при этом наночастицы имеют размеры 0,9-2,6 нм, а матрица выполнена из полистирола. Технический результат - повышение чувствительности устройства преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение по ТГц мощности за счет снижения мощности, требуемой для нагрева преобразователей до порога срабатывания ИК камеры. 2 ил., 3 табл.



Фиг. 2

RU 2826603 C1

RU 2826603 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G02F 2/02 (2006.01)
B82B 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02F 2/02 (2024.01); B82B 1/00 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023119699, 25.07.2023**

(24) Effective date for property rights:
25.07.2023

Registration date:
13.09.2024

Priority:

(22) Date of filing: **25.07.2023**

(45) Date of publication: **13.09.2024** Bull. № 26

Mail address:

**720000, Kyrgyzskaya Resp., g. Bishkek, ul.
Kievskaya, 44, KRSU, otdel intellektualnoj
sobstvennosti, kab. 214, Karpushevich Svetlana
Vitalevna**

(72) Inventor(s):

**MOLDOSANOV Kamil Abdikerimovich (KG),
KAJRYEV Nurlanbek Zhutanovich (KG),
LELEVKIN Valerij Mikhajlovich (KG),
Postnikov Andrej Viktorovich (RU),
Kropotov Grigorij Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie
vyshego professionalnogo obrazovaniya
Kyrgyzsko-Rossijskij Slavyanskij universitet
(KRSU) (KG)**

(54) **DEVICE FOR CONVERTING TERAHERTZ RADIATION TO INFRARED RADIATION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to imaging of terahertz (THz) radiation sources and can be used in designing devices for early diagnosis of skin cancer. Invention can also be used to create devices for detecting objects hidden under the clothes of citizens, at airports, railway stations, stadiums and other public places. Disclosed is a device for converting terahertz radiation into infrared radiation in the form of a matrix which is transparent in the region of converted frequencies of the THz range and in the region of detected frequencies in the infrared range, which

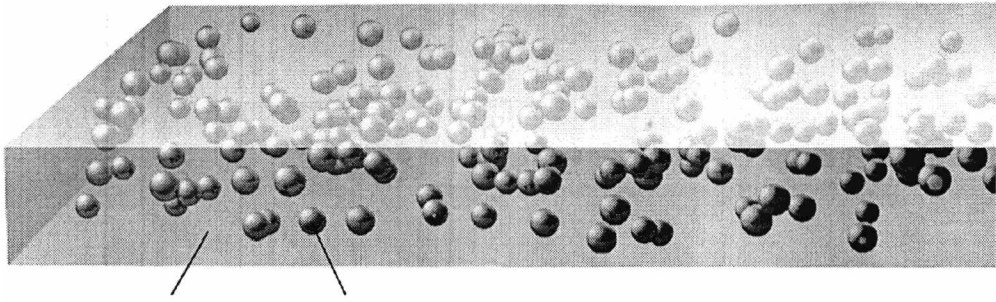
contains converters in the form of nanoparticles from a copper-nickel alloy of 47 wt.% of C and 53 wt.% of Ni, uniformly distributed in the volume of the matrix, wherein the nanoparticles have dimensions of 0.9–2.6 nm, and the matrix is made of polystyrene.

EFFECT: high sensitivity of the device for converting terahertz radiation into infrared radiation by THz power owing to reducing the power required to heat the transducers to the operation threshold of the infrared chamber.

1 cl, 2 dwg, 3 tbl

RU 2 826 603 C1

RU 2 826 603 C1



Фиг. 2

RU 2826603 C1

RU 2826603 C1

Изобретение относится к области техники, предназначенной для визуализации источников терагерцевого (ТГц) излучения, и может быть использовано при создании приборов для ранней диагностики рака кожи. Изобретение также может быть использовано при создании приборов для обнаружения предметов, скрытых под одеждой граждан, в аэропортах, на вокзалах, стадионах и других публичных местах. Устройство преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение эксплуатируется совместно с инфракрасной (ИК) камерой (ниже для удобства сравнения характеристик аналогов, прототипа и заявляемого изобретения их параметры приводятся по отношению к температурной чувствительности 12 мК конкретной ИК камеры [1]).

Известен терагерц-инфракрасный конвертер для визуализации источников терагерцевого излучения, состоящий из основания с преобразователями терагерцевого излучения в инфракрасное излучение (патент Российской Федерации RU 26421 19, опубл. 24.01.2018 [2]). В этом конвертере преобразователями являются наночастицы из золота диаметром 2,4-2,6 нм в основании - матрице из фторопласта-4 или кремния.

Недостатком известного терагерц-инфракрасного конвертера для визуализации источников терагерцевого излучения является недостаточно высокая чувствительность по ТГц мощности, обусловленная довольно большой мощностью, требуемой для нагрева наночастицы золота для того, чтобы нагретую наночастицу заметила ИК камера. Например, для наночастицы золота диаметром 2,5 нм со степенью черноты 0,5 в матрице из кремния она равна 15 нВт, а в матрице из фторопласта - 4-0,11 нВт. Другой недостаток известного терагерц-инфракрасного конвертера: для его реализации требуются наночастицы из золота, что повышает стоимость конвертера.

Известно устройство визуализации источников терагерцевого излучения, содержащее конвертер терагерцевого излучения в инфракрасное излучение (патент Российской Федерации RU 2511070, опубл. 10.04.2014 [3]). В этом конвертере используется желатиновая матрица, наполненная наночастицами из никеля - в качестве преобразователей терагерцевого излучения в инфракрасное излучение.

Недостатком известного устройства визуализации источников терагерцевого излучения является недостаточно высокая эффективность преобразования энергии ТГц излучения в теплоту. Этим и обусловлена довольно большая мощность ТГц излучения, требуемая для нагрева наночастицы никеля диаметром 2,4 нм в матрице из желатина для того, чтобы ее заметила ИК камера: 0,13 нВт. У никеля не оптимальное соотношение между повышенной плотностью состояний электронов на уровне Ферми [4] и большой средней длиной свободного пробега электронов l_{mfp} [5]. Поэтому хотя в никеле число электронов, поглощающих энергию ТГц излучения велико [4], интенсивность их рассеяния недостаточно высока. Соответственно, и эффективность преобразования ТГц излучения в теплоту не высока.

За прототип выбран терагерц-инфракрасный конвертер, состоящий из основания с преобразователями терагерцевого излучения в инфракрасное излучение (патент Кыргызской Республики KG 1684, опубл. 31.10.2014 [6]), в котором преобразователи выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава, причем содержание никеля в нем составляет 40-70 масс. %, и этот диапазон включает сплав 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni, который используется и в заявляемом изобретении в качестве материала для наночастиц, конвертирующих терагерцевое излучение в инфракрасное излучение. У сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni, хотя плотность состояний электронов на уровне Ферми в ≈ 3 раза ниже, чем у чистого никеля [4], зато l_{mfp} минимальна ($l_{mfp} \approx 0,85$ нм [5]) среди медно-никелевых сплавов и в ≈ 10 раз меньше, чем у никеля [5]. В итоге, эффективность преобразования у сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni в $\approx 3,3$ раза выше,

чем у чистого никеля, использованного во втором аналоге, известном устройстве визуализации источников терагерцового излучения [3]. В прототипе основание в виде матрицы выполнено из желатина или фторопласта-4; в сравнительной Таблице 1 приведены рассчитанные мощности нагрева для наночастицы из сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni диаметром 2 нм в матрицах из желатина и фторопласта-4.

Недостаток известного терагерц-инфракрасного конвертера, выбранного за прототип, состоит в том, что его чувствительность по ТГц мощности все еще недостаточно высока.

Техническая задача - повышение чувствительности устройства преобразования терагерцового излучения в инфракрасное излучение по ТГц мощности.

Поставленная задача решается за счет того, что устройство преобразования терагерцового излучения в инфракрасное излучение выполнено в виде матрицы, при этом матрица прозрачна в диапазоне преобразуемых частот (0,2-0,6 ТГц) и в области рабочих длин волн ИК камеры (0,5-2,5 мкм) и содержит равномерно распределенные в ней преобразователи визуализируемого терагерцового излучения в инфракрасное излучение в виде наночастиц диаметром 2 нм из сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni, при этом матрица выполнена из полистирола, что позволяет снизить мощность ТГц излучения, требуемую для нагрева преобразователей, по сравнению с мощностью у прототипа, - в 1,5 раза (в случае матрицы из желатина) и в 2 раза (в случае матрицы из фторопласта-4).

При этом подходе к решению поставленной задачи снижение мощности, требуемой для нагрева преобразователей, достигается сочетанием малой длины свободного пробега электронов в наночастицах и малой теплопроводности матрицы. Малое значение I_{mfp} у сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni позволяет снизить размер наночастицы и, следовательно, уменьшить объем, нагреваемый ТГц излучением до порога срабатывания ИК камеры. Диаметр наночастиц выбран равным ≈ 2 нм (в предположении, что точка возбуждения фермиевского электрона ТГц фотоном находится в центре наночастицы, а ее радиус немного превышает $I_{mfp} \approx 0,85$ нм). Расчеты мощности, требуемой, чтобы наночастица нагрелась до порога срабатывания ИК камеры, показывают, что у наночастицы из сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni диаметром 2 нм в матрице из полистирола величина мощности нагрева меньше, чем у аналогов и у прототипа (см. Таблицу 1). Следовательно, у заявляемого Устройства преобразования терагерцового излучения в инфракрасное излучение чувствительность по мощности регистрируемого ТГц излучения будет выше, чем у аналогов и у прототипа.

В сравнительной Таблице 2 приведены рассчитанные параметры наночастиц диаметром 2 нм из сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni в матрицах из разных материалов при практически значимой величине степени черноты наночастиц 0,5 и использовании ИК камеры типа Mirage 640 P-Series [1]. Таблица демонстрирует корреляцию мощности ТГц излучения, требуемой для нагрева наночастицы, чтобы ее заметила ИК камера, и удельной теплопроводности материала матрицы. Из таблицы видно, что матрица из полистирола обеспечивает наименьшую мощность ТГц излучения, требуемую для нагрева наночастицы, чтобы ИК камера зарегистрировала нагретую наночастицу. Достаточно малые времена нагрева и охлаждения наночастиц позволяют эксплуатировать Устройство преобразования терагерцового излучения в инфракрасное излучение в режиме реального времени.

Оценки показывают, что наночастица сплава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni диаметром 2 нм прозрачна при частотах $\leq 3,13 \cdot 10^{16}$ Гц (эта частота принадлежит ультрафиолетовому диапазону электромагнитного излучения). То есть излучение всего ТГц диапазона

(частоты 10^{11} - 10^{13} Гц) способно проникнуть в наночастицу и взаимодействует с фермиевскими электронами.

Широкополосность Устройства преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение определяется степенью широкополосности материала матрицы. В заявляемом изобретении в качестве материала матрицы выбран полистирол. Согласно [7], полистирол имеет два окна прозрачности (Фиг. 1): в ТГц диапазоне на частотах $\approx 0,2$ - $0,6$ ТГц (длины волн, соответственно, 1500-500 мкм) и в ИК диапазоне на длинах волн $\approx 0,3$ -3 мкм. Таким образом, полистирол приемлем для визуализации онкопатологий в коже на частотах 0,35-0,55 ТГц (длины волн, соответственно, 857-545 мкм), обеспечивающих наибольшую контрастность изображения границы раковой и здоровой ткани [8, 9] при использовании ИК камеры с рабочим диапазоном $\approx 0,3$ -3 мкм (в настоящее время производится ИК камера с рабочими длинами волн 1,5-5 мкм [1], частично перекрывающими окно прозрачности полистирола в ИК области; температурная чувствительность ИК камеры ≈ 12 мК на фоне 300 К [1]).

Устройство преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение показано на Фиг. 2. Оно состоит из матрицы 1 из полистирола, содержащей в своем объеме равномерно распределенные преобразователи 2 из сплава 47 масс. % С и 53 масс. % Ni диаметром 2 нм.

Устройство преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение работает следующим образом. ТГц излучение падает сверху на матрицу 1 и, проникнув в нее, достигает преобразователей 2. В преобразователях 2 фотоны ТГц поглощаются фермиевскими электронами, возбуждая их. Возбужденные электроны релаксируют - переходят обратно в основное, невозбужденное, состояние, пройдя путь, равный средней длине свободного пробега электронов l_{mfp} , путем рассеяния на других электронах и перераспределения между ними энергии, приобретенной электронами от ТГц фотонов, - переводят ее в теплоту. В результате диссипации энергии ТГц фотонов внутри наночастицы, она нагревается и становится наноисточником инфракрасного излучения для ИК камеры, которая эксплуатируется совместно с Устройством преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение (ИК камера устанавливается ниже матрицы заявляемого устройства) В итоге невидимое ТГц излучение становится наблюдаемым - с помощью ИК камеры. Согласно расчетам, при практически значимой величине степени черноты наночастиц 0,5 и при использовании ИК камеры типа Mirage 640 P-Series [1], наночастица нагревается до порога срабатывания ИК камеры при поглощаемой ТГц мощности 0,04 нВт (см. Таблицы 1 и 2).

Чтобы обеспечить эффективное выделение энергии ТГц фотонов внутри наночастицы, в заявляемом изобретении размеры наночастиц-преобразователей ограничены в диапазоне, границы которого немного превышают значения l_{mfp} и $3l_{mfp}$, где l_{mfp} - длина свободного пробега электронов в сплаве состава 47 масс. % Cu 53 масс. % Ni. При малой величине $l_{mfp} \approx 0,85$ нм это обеспечивает малый размер преобразователей. 0,9-2.6 нм, и малый нагреваемый их объем, что способствует понижению ТГц мощности, требуемой для нагрева наночастицы, и, следовательно, повышению чувствительности ТГц-ИК конвертера по ТГц мощности.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Infrared Cameras Inc. Mirage 640 P-series. <https://infraredcameras.coin/products/mirage-640-p-series>

2. Молдосанов К.А., Лелевкин В.М., Кайрыев Н.Ж., Постников А.В., Терагерц-инфракрасный конвертер для визуализации маточников терагерцевого излучения.

Патент Российской Федерации RT J 2642119, приоритет изобретения: 21 июня 2016 г.
http://www.fips.ni/fips_sen4/fips_servlet?DB=RURAT&rn=3897&DocNumber=2642119&TypeFile.html

3. Кавеев А.К., Молдосанов К.А., Лелевкин В.М., Козлов П.В., Кропотов Г.И.,
 5 Цыпишка Д.П., Устройство визуализации источников терагерцового излучения. Патент
 Российской Федерации RU 2511070. Извещение опублик. 10.04.2014. <http://www.freepatent.ru/patents/2511070>

4. Hüfner S., Wertheim G.K., Cohen R.L., and Wernick J.H. (1972) Density of states in CuNi
 alloys, Phys. Rev. Lett. 28(8), 488-490. doi:10.1103/PhysRevLett.28.488.

10 5. Andersson S. and Korenivski V. (2010) Exchange coupling and magnetoresistance in CoFe/
 NiCu/CoFe spin valves near the Curie point of the spacer. Journal of Applied Physics, 107(9),
 09D711. doi: 10.1063/1.3340509

6. Молдосанов К.А., Лелевкин В.М., Кайрыев Н.Ж., Кавеев А.К., Терагерц-
 инфракрасный конвертер, Патент Кыргызской Республики №1684 (2014). Извещение
 15 опублик. 31.10.2014 в Бюллетене «Интеллектуалдык менчик - Интеллектуальная
 собственность» №10 (187), С. 7-8, 2014. ISSN 1694-6871, г. Бишкек, 2014. <http://test.patent.kg/doc/im/2014/10.pdf>, <https://drive.google.com/file/d/1ROK9slfIJveZslkLXFwcADZNYcJpdFTrh/view>

7. Moldosanov K., Bykov A., Kairyev N., Khodzitsky M., Kropotov G., Lelevkin V., Meglinski
 20 I., Postnikov A., and Shakhmin A. (2023) Terahertz-to-infrared converters for imaging the human
 skin cancer: challenges and feasibility, Journal of Medical Imaging, 10(2), 023501. doi: 10.1117/
 1. JMI. 10.2.023501.

8. Wallace V.P., Fitzgerald A.J., Pickwell E., Pye R.J., Taday P.F., Flanagan N., Ha T. (2006)
 Terahertz pulsed spectroscopy of human basal cell carcinoma. Appl. Spectrosc. 60(10), 1127-
 25 1133. doi: 10.1366/000370206778664635

9. Pickwell E., Wallace V.P. (2006) Biomedical applications of terahertz technology. J. Phys.
 D: Appl. Phys. 39(17), R301-R310. doi: 10.1088/0022-3727/39/17/R01

30 Таблица 1. Сравнение мощностей нагрева наночастиц, преобразователей ТГц
 излучения в ИК излучение, у аналогов, прототипа и заявляемого изобретения.

Изобретение	Номер патента	Номер ссылки	Материал и диаметр наночастицы	Материал матрицы	Мощность нагрева наночастицы, нВт
Аналог 1	RU 2642119	[2]	Золото; 2,5 нм	Кремний	15
				Фторопласт-4	0,11
Аналог 2	RU 2511070	[3]	Никель; 2,4 нм	Желатин	0,13
Прототип	KG 1684	[6]	Сплав 47масс.%Cu- 53масс.%Ni; 2 нм	Желатин	0,06
				Фторопласт-4	0,08
Заявляемое изобретение			Сплав 47масс.%Cu- 53масс.%Ni; 2 нм	Полистирол	0,04

Таблица 2. Параметры наночастиц диаметром 2 нм из сплава 47масс.%Cu53масс.%Ni в матрицах из разных материалов (при степени черноты наночастиц 0,5 и использовании ИК камеры *Mirage 640 P-Series* [1])

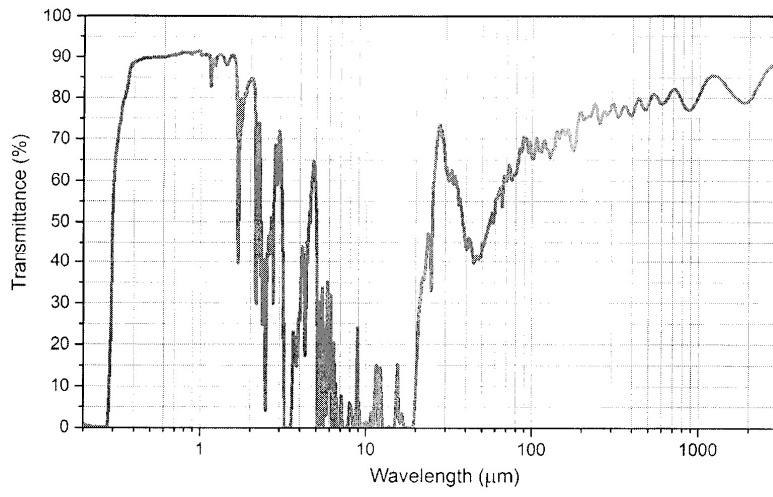
Параметры матрицы		Параметры наночастицы	
Материал	Теплопроводность, <i>Вт·м·К</i>	Время нагрева/охлаждения, <i>нс</i>	Мощность, требуемая для нагрева до порога срабатывания ИК камеры, <i>нВт</i>
Желатин	0,21	83/942	0,06
Полистирол	0,14	65/734	0,04
Фторопласт-4	0,26	61/690	0,08
Полипропилен	0,19	59/675	0,06
Поливинилхлорид	0,16	62/707	0,05

Таблица 3. Пример реализации *Устройства преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение*

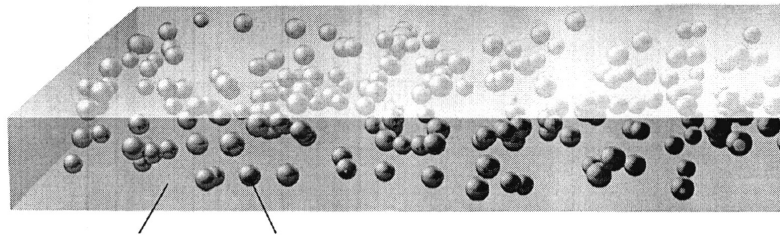
Материал матрицы	Материал и диаметр наночастиц
Полистирол толщиной 0,5 <i>мм</i>	Сплав 47масс.%Cu53масс.%Ni; 0,9–2,6 <i>нм</i>

(57) Формула изобретения

Устройство преобразования терагерцевого излучения в инфракрасное излучение в виде матрицы, прозрачной в области преобразуемых частот терагерцевого диапазона и в области регистрируемых частот инфракрасного диапазона, и содержащей преобразователи в виде наночастиц из медно-никелевого сплава состава 47 масс. % Cu и 53 масс. % Ni размерами 0,9-2,6 нм, равномерно распределенных в объеме матрицы, отличающееся тем, что матрица выполнена из полистирола.



Фиг. 1



Фиг. 2