



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H05K 7/20481 (2024.01); H01L 23/373 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023131902, 30.11.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.11.2023Дата регистрации:
28.08.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.11.2023

(45) Опубликовано: 28.08.2024 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

199034, Санкт-Петербург, Университетская
наб., 7/9, СПбГУ, Главное Управление защиты
и использования интеллектуальной
собственности, Матвееву А.А., Матвеевой Т.И.

(72) Автор(ы):

Иголкин Сергей Николаевич (RU),
Жеребчевский Владимир Иосифович (RU),
Феофилов Григорий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

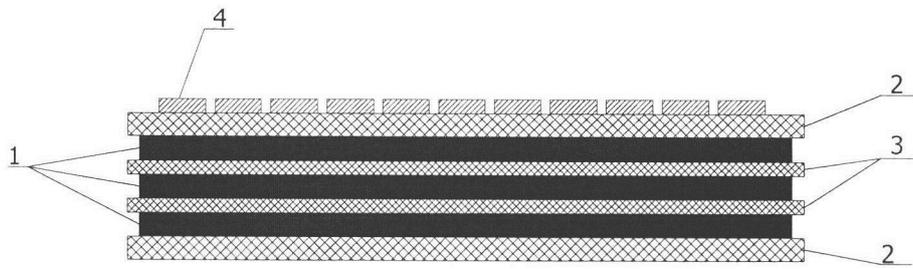
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
государственный университет" (СПбГУ)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2806879 C1, 08.11.2023.ЖЕРЕБЧЕВСКИЙ В.И., ИГОЛКИН С.Н.,
КРЫМОВ Е.Б., МАЛЬЦЕВ Н.А. и др.
"СВЕРХЛЕГКИЕ СТРУКТУРЫ
ПОДДЕРЖКИ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ
СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ
ВЕРШИННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ", ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА
ЭКСПЕРИМЕНТА, 2014, номер 3, с. 126-130.
RU 2396168 C2, 10.08.2010. RU 79268 U1,
27.12.2008. CN 203661492 U, 18.06.2014. CN
(см. прод.)

(54) Устройство для монтажа чипов микроэлектроники с кондуктивным охлаждением

(57) Реферат:

Изобретение относится к области детекторов ионизирующих излучений и предназначено для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных кремниевых сенсоров, регистрирующих заряженные частицы. Предлагаемое устройство выполнено из углеродсодержащих материалов и состоит из чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги, обеспечивающих как эффективный отвод тепла на периферию

устройства от большого числа пиксельных сенсоров и систем микроэлектроники детекторов, так и высокую радиационную прозрачность для заряженных частиц, однородную по всей площади устройства. Благодаря этому существенно расширяется область применения пиксельных детекторов, в том числе в области медицинской техники, для создания протонного томографа. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):
106937510 А, 07.07.2017.

RU 2825727 C1

RU 2825727 C1

Область техники

Изобретение относится к области детекторов ионизирующих излучений и предназначено для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных кремниевых сенсоров, регистрирующих заряженные частицы.

5 Описание предшествующего уровня техники

Развитие современных технологий микроэлектроники неотрывно связано с проблемами миниатюризации систем охлаждения и монтажа, обладающих в то же время термомеханической устойчивостью. Особенно существенные требования возникают при конструировании радиационно-прозрачных детектирующих систем для
10 регистрации треков заряженных частиц. Проблема неискаженного детектирования треков заряженных частиц в современных экспериментах по физике высоких энергий, а также особенно в разрабатываемых в настоящее время ряда приложений для медицинской техники, состоит в необходимости минимизации многократного кулоновского рассеяния на пути пролетающих частиц. Это означает жесткие
15 ограничения как на количество вещества в чувствительной области детекторов, так и на применения в устройствах для монтажа и охлаждения пиксельных сенсоров и систем микроэлектроники детекторов элементов таблицы Менделеева с атомным номером $A > 12$.

Мировые достижения в предшествующем уровне техники для
20 радиационнопрозрачных систем монтажа и охлаждения кремниевых детекторов связаны с разработками для эксперимента ALICE на Большом адронном коллайдере (БАК), в которых участвовали непосредственно авторы из СПбГУ. В качестве характеристики радиационной прозрачности вещества в физике высоких энергий и в ядерной физике используется единица радиационной длины. Для атомов определенного вещества
25 радиационная длина X_0 есть расстояние, после прохождения которого, интенсивность гамма-излучения и потока электронов высокой энергии ослабляется (в e раз). Общепринятым в научной и технической литературе для удобства восприятия является использование относительных значение радиационных длин X/X_0 для конкретных оценок радиационной прозрачности любого устройства. Самая высокая радиационная
30 прозрачность среди всех экспериментов БАК, на уровне порядка 1,1% X/X_0 на детекторный слой, была достигнута ранее за счет применения углекомпозитных конструкций [1, 2].

Известно устройство [1] для монтажа кремниевых сенсоров эксперимента ALICE, изготовленное в виде жесткой подложки с линейными размерами порядка $2 \times 7 \text{ см}^2$,
35 состоящее из однонаправленных углекомпозитных волокон с высоким модулем упругости (волокна фирмы Thornel K1100x и Mitsubichi K13D2u) и с коэффициентом теплопроводности в пределах 800-1000 Вт/(м·К) вдоль волокна. Вклад в радиационную прозрачность кремниевых сенсоров ALICE со стороны разработанных углекомпозитных структур для монтажа и охлаждения составил не более 0,2%. Общим признаком с
40 заявленным устройством является наличие в конструкции жесткой подложки, выполненной из теплопроводящих углекомпозитных волокон, пропитанных эпоксидным связующим, и со смонтированными на подложке чипами микроэлектроники. Однако известное устройство [1] может быть использовано для монтажа ограниченного числа микро-детекторных чипов или пиксельных кремниевых сенсоров расположенных рядом,
45 поскольку при большом их числе порядка 3 и выше указанного порядка наблюдается деформация подложки, которая связана с использованием однонаправленных углекомпозитных высокомодульных волокон.

Сложность изготовления устройств с использованием высокомодульных волокон

заключается в самой их природе, а именно в большой анизотропии механических и физических свойств волокон. Жесткие подложки для монтажа сенсоров, состоящие всего из нескольких слоев волокна, как правило, имеют деформации, вызванные различными коэффициентами теплового расширения угольного волокна и эпоксидного связующего. Дополнительно, деформации могут возникать при даже незначительной разнице в направлении укладки одного слоя углекомпозиата относительно второго.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является устройство [2] для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных кремниевых сенсоров ALICE. Известное устройство включает в себя базовый слой в виде подложки, так называемой «холодной пластины», которая выполнена из однонаправленных углеродных волокон с высокой теплопроводностью и двух слоев флиса с каждой стороны пластины. Эта базовая подложка служит для монтажа пиксельных сенсоров и для кондуктивного отвода тепла от этих сенсоров на интегрированные в подложку полиимидные трубки жидкостной системы охлаждения. Подложка имеет жесткость только в одном направлении вдоль волокна и гибкая поперек волокон, поэтому для обеспечения жесткости конструкции в целом дополнительно используется композитная ферма скрепленная с подложкой. Известное устройство [2] сочетает в себе высокую эффективность охлаждения при плотности энерговыделения до 0.3 Вт/см^2 и термомеханическую стабильность при использовании минимального количества материала. Это обеспечивает рекордную на сегодняшний день для трековых детекторов частиц радиационную прозрачность на уровне $0,3\% X/X_0$ для слоя пиксельных сенсоров и подложки. Известное устройство [2] принято в качестве прототипа заявляемого изобретения.

Общими признаками с заявленным устройством является наличие подложки, которая выполнена из теплопроводящих углеродных волокон, пропитанных эпоксидным связующим с двумя слоями угольного флиса с каждой стороны подложки, смонтированными на подложке пиксельными сенсорами. Детектор - пиксельный чип ALPIDE, имеет размеры $30 \times 15 \text{ мм}^2$ и толщину менее 50 микрон. Плотность тепловой мощности чипа ALPIDE составляет менее 35 мВт/см^2 . В известной конструкции [2] девять таких пиксельных чипов расположены в ряд на подложке длиной 270 мм. Кроме углеродных волокон и полиимидных трубок жидкостной системы охлаждения, конструкция холодной пластины включает в себя дополнительные слои из графитовой бумаги и угольного флиса. Оба этих дополнительных слоя использованы для интегрирования в подложку полиимидных трубок жидкостного охлаждения.

Недостатками прототипа являются неоднородность радиационной прозрачности в чувствительной области пиксельных сенсоров за счет использования в устройстве полиимидных трубок с жидким теплоносителем, а также ограничения по использованию в подложке однонаправленных высокомодульных угольных волокон, что приводит к деформации подложки. Для нивелирования последних в устройстве [2] используется углекомпозитная ферма, жестко соединенная с подложкой.

Техническим результатом заявленного изобретения является повышение эффективного отвода тепла на периферию устройства от пиксельных сенсоров и систем микроэлектроники с обеспечением повышения их радиационной прозрачности и однородности по всей площади устройства, что позволяет существенно расширить функциональные возможности и области применения пиксельных сенсоров, в том числе, для практического применения в области медицинской диагностики, а также получения с высокой степенью разрешения медицинских изображений.

Указанный технический результат достигается тем, что заявленное устройство

включает в себя жесткую подложку для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных кремниевых сенсоров, состоящую из чередующихся слоев материалов с однородными свойствами: угольного флиса и графитовой бумаги. В соответствии с заявленным изобретением, каждый теплопроводящий слой выполнен из однородной графитовой бумаги, обладающей высокой продольной теплопроводностью, что

обеспечивает кондуктивную передачу тепла от сенсоров к теплообменнику расположенному на расстоянии на периферии. В зависимости от производителя, слои графитовой бумаги могут иметь на сегодняшний момент следующие параметры:

плотность: 2.1 г/см^3 , теплопроводность $900\text{-}1750 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Согласно тестам, выполненным ранее [2], указанная теплопроводность на нижнем уровне порядка $900 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ вдоль волокна для однонаправленных углекомпозитных волокон Thornel K1100x и Mitsubishi K13D2u, вполне достаточна для отвода тепловой мощности от микроэлектроники на уровне менее 0.1 Вт/см^2 . Очевидно, что указанная верхняя граница, $1750 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коммерчески доступная для применения сегодня, может быть сдвинута в будущем на более высокие конкретные значения, что позволит повысить эффективность теплоотвода для случая других конкретных задач.

Каждый слой угольного флиса, пропитанный эпоксидным связующим, дает после полимеризации вклад в жесткость конструкции подложки. Указанный технический результат достигается за счет того, что качество поверхности жесткой подложки обеспечивает монтаж пиксельных кремниевых сенсоров и чипов систем микроэлектроники детекторов, при этом устройство обладает высокой однородностью материала во всей чувствительной области пиксельных сенсоров. В заявленном устройстве указанный технический результат достигается за счет того, что механическая стабильность устройства для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных кремниевых сенсоров, при рекордно высоком и однородном уровне радиационной прозрачности по всей площади, занятой детектирующими пиксельными сенсорами ($X/X_0 \sim 0.14\%$), обеспечивается за счет применения угольного флиса чередующимися со слоями графитовой бумаги. Применение графитовой бумаги вместо однонаправленных угольных волокон в итоге исключает деформации жесткой подложки.

Сущность изобретения

Сущность заявленного устройства поясняется Фиг. 1-4.

На Фиг. 1 представлена схема заявленного устройства для монтажа и кондуктивного охлаждения пиксельных сенсоров и систем микроэлектроники детекторов (показан вид сбоку). Устройство содержит следующие слои: 1 - листы графитовой бумаги толщиной $25\text{-}100$ микрон; материала с высокой теплопроводностью ($900\text{-}1750 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$); 2 - внешние слои угольного флиса толщиной $10\text{-}35$ микрон; 3 - внутренние слои угольного флиса толщиной $10\text{-}20$ микрон. При этом, в соответствии с заявленным изобретением, число чередующихся слоев подложки пропорционально величине теплового потока (Вт/см^2) от смонтированных на поверхности подложки пиксельных сенсоров, помимо этого, на Фиг. 1 представлены схематично пиксельные сенсоры - 4, смонтированные на поверхности данной жесткой подложки, составленной их чередующихся слоев флиса и графитовой бумаги.

При изготовлении заявленного устройства, слои флиса, пропитанные эпоксидным связующим, выступающие наружу по отношению к слоям графитовой бумаги согласно схеме Фиг. 1, в результате холодного процесса полимеризации связующего оказываются соединенными между собой в сплошной контур, что предотвращает возможное расслоение устройства. При этом графитовая бумага, не отличающаяся высокими

механическими характеристиками, оказывается заключенной в жесткую оболочку.

Изобретение реализуется следующим образом (Фиг. 1). Тепловой поток от пиксельных сенсоров - 4, смонтированных на поверхности жесткой подложки, распространяется через тонкие слои флиса к графитовой бумаге, обладающей высокой продольной теплопроводностью и далее отводится на периферию устройства на теплообменник (на Фиг. 1 теплообменник не указан, так как для него может использоваться любая общеизвестная схема).

Заявленное устройство было изготовлено и апробировано в лабораторных условиях заявителя, Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ).

Конкретные примеры реализации приведены ниже.

Пример 1

В качестве примера конкретной реализации представленного устройства был изготовлен образец с размерами $290 \times 200 \times 0.26 \text{ мм}^3$ (что близко к формату бумаги А4). Образец устройства выполнен в соответствии со схемой Фиг. 1 и состоит из чередующихся слоев угольного флиса и 3-х слоев графитовой бумаги. При этом использованная для образца графитовая бумага имеет толщину 50 микрон и обладает с теплопроводностью $1350 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, что обеспечивает однородную по направлениям кондуктивную теплопередачу на периферию устройства. Два наружных слоя содержат угольный флис плотностью $8 \text{ г}/\text{м}^2$ и толщиной 20 мкм, а два внутренних слоя имеют меньшую плотность ($1,5 \text{ г}/\text{м}^2$) и толщину 10 мкм и располагаются между слоями графитовой бумаги в сочетании с полимерным связующим низкой вязкости, включающим смолу и отвердитель. Таким образом, в отличие от известного устройства [2], где теплоотвод идет через однонаправленные высокомодульные угольные волокна, функция кондуктивного отвода тепла в образце устройства выполняется графитовой бумагой с изотропными свойствами.

Образец позволяет разместить на поверхности, например, не менее 100 пиксельных сенсоров с размерами $15 \times 30 \text{ мм}^2$.

Применение в образце флиса и графитовой бумаги вместо однонаправленных угольных волокон в итоге исключает деформации жесткой подложки толщиной всего в 260 мкм, что подтверждается результатом данного конкретного примера. На Фиг. 2 приводится в фотография изотопленного образца устройства. Черный цвет поверхности устройства определяется графитовой бумагой. Желтый контур на периферии образован слоями флиса, которые соединены между собой в сплошной контур согласно формуле изобретения.

Пример 2

Для целей тестирования теплопроводности, в качестве примера конкретной реализации представленного устройства был изготовлен макет, включающий образец жесткой подложки с размерами $100 \times 18 \times 0,31 \text{ мм}^3$, состоящий в соответствии со схемой Фиг. 1 из чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги, смонтированным на поверхности тепловым имитатором пиксельного сенсора, температурными датчиками и теплообменником. Схема макета показана на Фиг. 3. Здесь 1 - теплообменник в термическом контакте с подложкой, 2 - откалиброванные термодатчики, 3 - жесткая подложка ($100 \times 18 \times 0,31 \text{ мм}^3$) из чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги, 4 - тепловой имитатор пиксельного сенсора ($5 \times 30 \text{ мм}^2$).

Пример 3

В качестве примера тестирования характеристик конкретной реализации

представленного устройства были проведены сравнительные испытания образцов жесткой подложки двух типов:

(А) макета на основе изготовленного образца с размерами $100 \times 18 \times 0,31$ мм³, состоящего из чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги и

(Б) контрольного образца в виде алюминиевой пластины с размерами $100 \times 18 \times 0,43$ мм³.

В обоих случаях использовались одинаковые тепловые имитаторы пиксельных сенсоров, обеспечивающие при испытаниях плотность теплового потока до 330 мВт/см² при максимальной мощности $\sim 1,5$ Вт на имитатор. Тепловые имитаторы сенсоров вместе с датчиками температуры располагались на образцах на расстоянии 70 мм от места контакта с теплообменником с температурой охлаждающей жидкости 15°C . Прокалиброванные температурные датчики были расположены на поверхности имитаторов и также на обоих образцах в месте контакта с теплообменником.

Пример 4

На Фиг. 4 проиллюстрирована характеристика работы заявленного устройства толщиной $0,31$ мм в сопоставлении с аналогичной по размерам пластиной из алюминия (но толщиной $0,43$ мм). В нижней части Фиг. 4 показаны зависимости температур от тепловой мощности имитатора, соответственно, на образцах вблизи теплообменника: для алюминиевой пластины - 1 и углекомпозиного устройства их чередующихся слоев флиса и графитовой бумаги - 2. А в верхней части Фиг. 4, соответственно, показывают зависимости для имитатора пиксельного сенсора на алюминиевой пластине - 3, и для имитатора на поверхности углекомпозиного устройства.

Результаты этих температурных измерений демонстрируют эквивалентность двух образцов в кондуктивном механизме съема тепла. Как уже говорилось выше, в зависимости от производителя, слои графитовой бумаги могут иметь на сегодняшний момент следующие параметры: плотность: $2,1$ г/см³, теплопроводность $900-1750$ Вт/(м·К). Для сравнения можно сопоставить с данными по алюминию, который обладает теплопроводностью порядка 221 Вт/(м·К), при этом плотность алюминия: $2,7$ г/см³.

Полученная эквивалентность результатов тестов двух образцов дает реальную оценку эффективной теплопроводности изготовленного в соответствии со схемой Фиг. 1 устройства. При этом жесткая подложка из углекомпозиного устройства из чередующихся слоев флиса и графитовой бумаги обладает существенным преимуществом перед алюминиевым образцом в таком показателе как радиационная прозрачность - радиационная длина примерно в два раза выше, а средний квадрат угла многократного рассеяния заряженных частиц будет более чем в 36 раз меньше, чем для алюминия, что подтверждает необходимость использования углерод-содержащих компонентов и соответствует, в том числе, требованиям новых медицинских приложений, использующих информацию о треках частиц.

Как показывают результаты проведенных многочисленных лабораторных исследований, технико-экономическая эффективность заявленного устройства состоит в возможности существенного расширения области применения пиксельных сенсоров, в том числе для приложений в области медицинской диагностики и медицинских изображений, за счет возможности монтажа и эффективной системы кондуктивного охлаждения большого числа пиксельных сенсоров на тонкой, радиационно-прозрачной, но механически устойчивой углекомпозиной подложке из чередующихся слоев флиса и графитовой бумаги, сочетание которых обеспечивают эффективный теплосъем и высокую однородность материала в чувствительной области всего устройства с

пиксельными сенсорами.

Заявленное устройство имеет высокую коммерческую ценность и при доведении до промышленного производства может быть использовано, в том числе, в системах регистрации треков заряженных частиц в современных экспериментах по физике высоких энергий, а также в области медицинской техники для создания протонного томографа.

Список используемых источников информации

[1] A.van den Brink, S.Coli, F.Daudo, G.Feofilov, O.Godisov, G.Giraud, S.Igolkin, P.Kuijjer, G.J.Nooren, A.Swichev, F.Tosello (For the ALICE coloboration), «Conductive Cooling of SDD and SSD Front-End Chips for ALICE»/»Кондуктивное охлаждение внешних чипов SDD и SSD для ALICE», European organization for nuclear research, European Laboratory for Particle Physics Publication, ALICE reference number ~ ALICE-PUB-2001-21 V 1.0; Date of last change 2001-10-09.

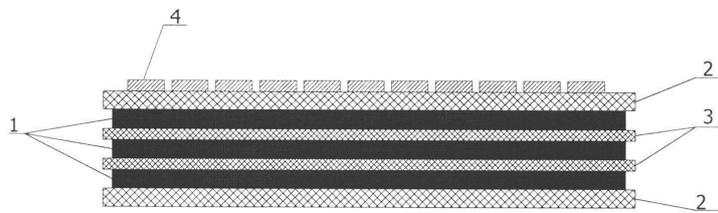
[2] V.I. Zhrebchevsky, I.G. Altsybeev, G.A. Feofilov, A. Francescon, C. Gargiulo, S.N. Igolkin, E.B. Krymov, E. Laudi, T.V. Lazareva, N.A. Maltsev, M. Gomez Marzoa, N.A. Prokofiev and D.G. Nesterov, «Experimental investigation of new ultra-lightweight support and cooling structures for the new Inner Tracking System of the ALICE Detector» / «Экспериментальное исследование новых сверхлегких опорных и охлаждающих структур для новой Внутренней трековой системы детектора ALICE», 2018, JINST, 13, T08003, DOI: 10.1088/1748-0221/13/08/T08003.

(57) Формула изобретения

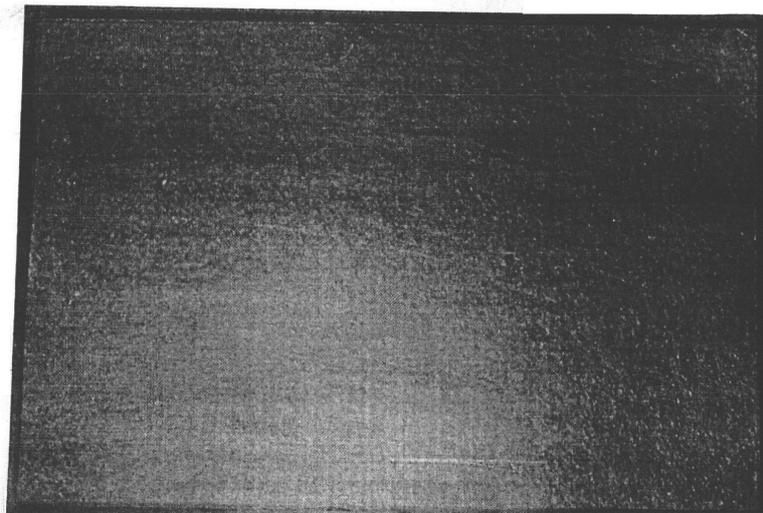
1. Устройство для монтажа чипов микроэлектроники с кондуктивным охлаждением, содержащее жесткую подложку, выполненную с возможностью монтажа на ней чипов микроэлектроники, где жесткая подложка выполнена из чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги, где слои угольного флиса пропитаны эпоксидным связующим и имеют толщину 10-35 микрон, слои графитовой бумаги имеют толщину 25-100 микрон, продольную теплопроводность от 900 Вт/м*К до 1750 Вт/м*К для отвода тепла на края подложки, и где число чередующихся слоев угольного флиса и графитовой бумаги пропорционально величине теплового потока от смонтированных на поверхности подложки чипов микроэлектроники, и по краям подложки все слои угольного флиса соединены между собой в сплошной контур.

2. Устройство по п. 1, где чип микроэлектроники представляет собой пиксельный сенсор.

1

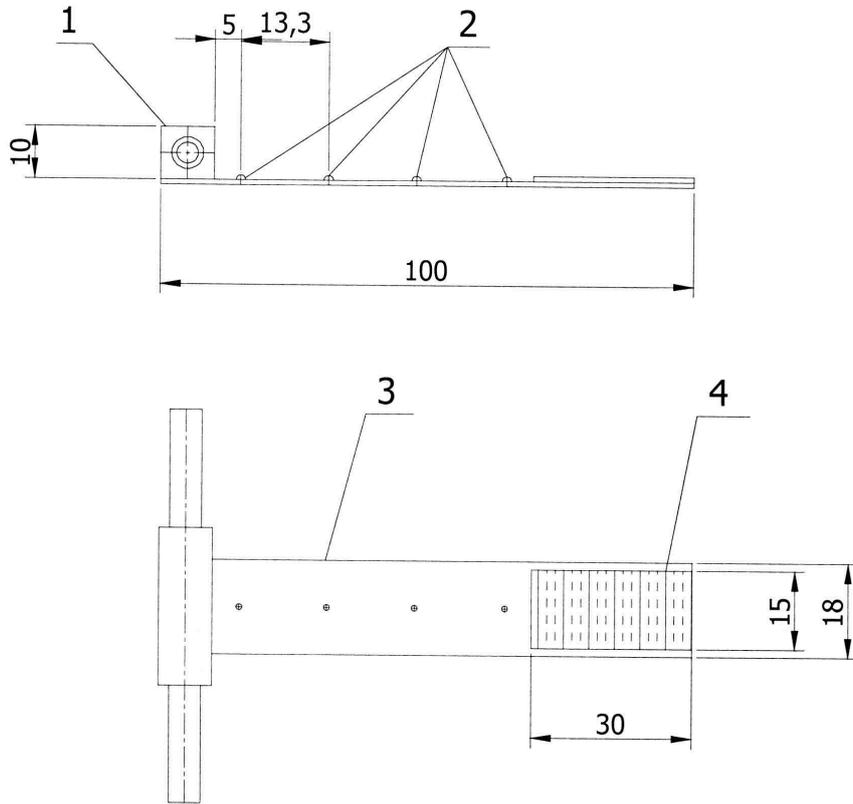


Фиг. 1

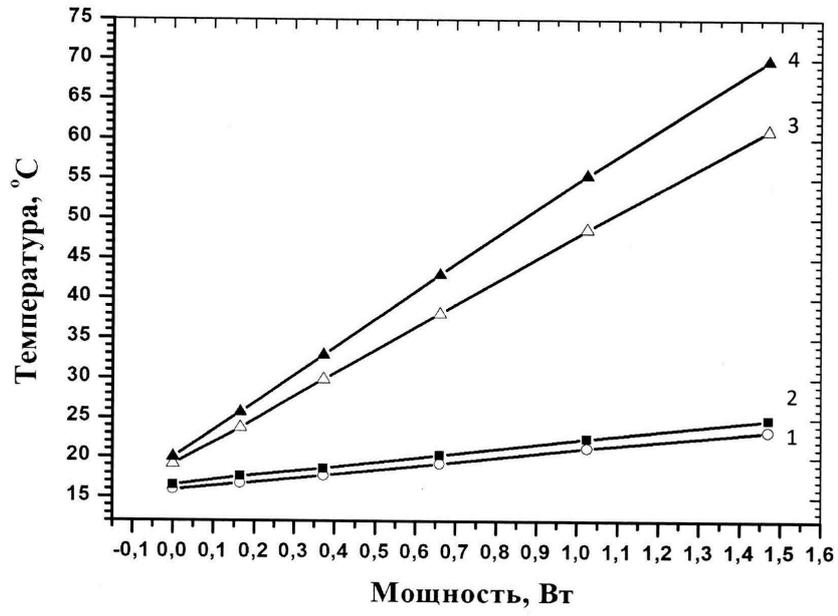


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4