

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2497319

ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА ДЛЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012107238

Приоритет изобретения **28 февраля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **27 октября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **28 февраля 2032 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



Автор(ы): *Абрамешин Андрей Евгеньевич (RU), Белик Глеб Андреевич (RU), Востриков Александр Владимирович (RU), Саенко Владимир Степанович (RU)*



(51) МПК
H05K 1/03 (2006.01)
B82B 1/00 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012107238/07, 28.02.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 28.02.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.02.2012

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: ГОСТ 10316-78. ГЕТИНАКС И СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ ФОЛЬГИРОВАННЫЕ. Технические условия. Введен в действие 01.01.1979, с изменениями № 1, 2, 3, 4, 5, 6, утвержденными: в октябре 1981 г., ноябре 1982 г., июле 1984 г., марте 1986 г., июне 1991 г., июле 1995 г. Найдено в Интернете 16.04.2013 <http://gostexpert.ru/gost/gost-10316-78>. RU 2178600 C1, (см. прод.)

Адрес для переписки:

101000, Москва, ул. Мясницкая, 20, ФГАОУ
 ВПО НИУ ВШЭ, отдел по вопросам
 интеллектуальной собственности УИД,
 начальнику отдела А.Р.Ермаковой

(72) Автор(ы):

Абрамешин Андрей Евгеньевич (RU),
 Белик Глеб Андреевич (RU),
 Востриков Александр Владимирович (RU),
 Саенко Владимир Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Национальный исследовательский
 университет "Высшая школа экономики"
 (RU)

(54) ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА ДЛЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
 КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к микроэлектронике, и может быть использовано, в частности, в электронных печатных платах, применяемых в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов. Технический результат - создание печатной платы для бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов, стойкой к эффектам электризации. Достигается тем, что в печатной плате для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, включающей диэлектрическую подложку и сформированную на ней электрическую схему,

подложка выполнена из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением, выбираемым из условия

$$10^{11} \text{ Ом}\cdot\text{см} \geq \rho_v \geq 10^5 R_{\max} \cdot d,$$

где ρ_v - удельное объемное сопротивление диэлектрического материала подложки печатной платы, Ом·см, R_{\max} - максимальная величина сопротивления резистора, входящего в состав электрической схемы, выполненной на печатной плате, Ом, d - толщина одного слоя диэлектрика печатной платы. В качестве диэлектрического материала используется композитный диэлектрический материал, включающий проводящую добавку,

выбранную из группы: мелкодисперсная ацетиленовая сажа в соотношении от 5% до 6,5% от массы связующего, молекулярный фуллерен C₆₀ или C₇₀ в соотношении от 1%

до 2% от массы связующего, углеродные нанотрубки в соотношении от 0,3% до 0,9% от массы связующего. 1 з.п. ф-лы.

(56) (продолжение):

20.01.2002. RU 2138830 C1, 27.09.1999. SU 1012675 A, 23.12.1983. RU 2298257 C1, 27.04.2007. US 2009/0233124 A1, 17.09.2009. US 7554188 B2, 30.06.2009. US 6881811 B2, 19.04.2005.

RU 2 4 9 7 3 1 9 C 1

RU 2 4 9 7 3 1 9 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H05K 1/03 (2006.01)*B82B 1/00* (2006.01)*B82B 3/00* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012107238/07, 28.02.2012

(24) Effective date for property rights:
28.02.2012

Priority:

(22) Date of filing: 28.02.2012

(45) Date of publication: 27.10.2013 Bull. 30

Mail address:

101000, Moskva, ul. Mjasnitskaja, 20, FGAOU
VPO NIU VShEh, otdel po voprosam
intellektual'noj sobstvennosti UID, nachal'niku
otdela A.R.Ermakovoj

(72) Inventor(s):

Abrameshin Andrej Evgen'evich (RU),
Belik Gleb Andreevich (RU),
Vostrikov Aleksandr Vladimirovich (RU),
Saenko Vladimir Stepanovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovaniya "Natsional'nyj
issledovatel'skij universitet "Vysshaja shkola
ehkonomiki" (RU)

(54) PRINTED-CIRCUIT BOARD FOR SPACECRAFT ON-BOARD RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: in a printed-circuit board for spacecraft on-board radio electronic equipment, which comprises a dielectric substrate and an electric circuit formed thereon, the substrate is made from dielectric material with volume resistivity selected based on the condition $10^{11} \text{ Ohm}\cdot\text{cm} \geq \rho_v \geq 10^5 R_{\max} \cdot d$, where ρ_v is the volume resistivity of the dielectric material of the substrate of the printed-circuit board, Ohm·cm, R_{\max} is the maximum resistance of the resistor included in the electric circuit on the printed-

circuit board, Ohm, d is the thickness of one dielectric layer of the printed-circuit board. The dielectric material used is a composite dielectric material which contains a conducting additive selected from: fine acetylene soot in amount of 5-6.5% of the weight of binder, molecular fullerene C_{60} or C_{70} in amount of 1-2% of the weight of binder, carbon nanotubes in amount of 0.3-0.9% of the weight of binder.

EFFECT: making a printed-circuit board for spacecraft on-board radio-electronic equipment which is resistant to electrostatic charging effects.

2 cl

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к микроэлектронике, и может быть использовано, в частности, в электронных печатных платах, применяемых в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космических аппаратов.

В настоящее время изготавливаются печатные платы из фольгированных стеклотекстолитов марок СФ-1Н-35Г СФ-2Н-35Г СФ-1Н-50Г СФ-2Н-50Г (ГОСТ 10316-78).

Указанные материалы в исходном состоянии (в соответствии с указанным ГОСТом) имеют удельное объемное электрическое сопротивление не менее чем 10^{11} Ом·м и поверхностное сопротивление не менее чем 10^{12} Ом. После кондиционирования в условиях: 1 час при температуре 100°C и относительной влажности менее 20% удельное объемное электрическое сопротивление должно быть не менее чем 10^9 Ом·м. Поскольку удельная проводимость и удельное сопротивление являются обратными величинами, то приведенные значения удельного объемного сопротивления соответствуют следующим значениям удельной проводимости:

- 10^{-11} Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$ (10^{-9} Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$) для фольгированного стеклотекстолита в исходном состоянии;

- 10^{-9} Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$ (10^{-7} Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$) для стеклотекстолита после кондиционирования.

Эти материалы являются композиционными и состоят из нескольких листов стеклоткани толщиной 100 мкм, пропитанных отвержденными эпоксидно-диановыми или полиэфирными смолами.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что недостатками известных плат являются: увеличение удельного объемного электрического сопротивления (снижение проводимости) в 10...100 раз при выдержке образцов в вакууме при комнатной температуре в течение 96 часов и возникновение электростатических разрядов (ЭСР) из объема диэлектрика на печатные проводники при облучении даже исходных образцов стеклотекстолитов электронами с энергией 50 кэВ. Примерно такую остаточную энергию имеют электроны радиационных поясов Земли (с энергией 1...2 МэВ) после замедления в материале корпуса космического аппарата. Такие электростатические разряды регистрируются на космических аппаратах при их работе на геостационарной или высокоэллиптических орбитах. При этом эффект электризации печатных плат с последующими электростатическими разрядами приводит к необратимым отказам активных полупроводниковых элементов: транзисторов, микросхем, диодов и др. и выходу из строя бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА).

Возможной мерой защиты от этого поражающего фактора является исключение возможности возникновения таких разрядов. Печатные платы электронных блоков космических аппаратов, выполненные из диэлектрических материалов, должны обладать оптимальной величиной темновой проводимости. С одной стороны, материал печатной платы должен оставаться диэлектриком, не допускающим значительных паразитных токов утечки, а с другой стороны, электропроводность этого материала должна быть достаточной для быстрой релаксации объемных зарядов и исключения электроразрядных явлений. Поскольку сток зарядов на электроды обеспечивается за счет удельной объемной электропроводности диэлектрического материала, то, увеличивая электропроводность, можно добиться полного устранения заряжения этого материала и исключения таким образом электростатических разрядов в печатной плате. Собственная электропроводность такого материала должна составлять величину порядка 10^{-9} Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$. Для сравнения,

электропроводность стеклотекстолита высоковольтного марки СТЭФ-1, который используется для изготовления печатных плат, составляет $10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$. Однако это величина электропроводности стеклотекстолита в условиях земной атмосферы с определенной влажностью. В условиях космического вакуума и термоциклирования электропроводность композиционных материалов подобных стеклотекстолиту увеличивается примерно на два порядка за счет газовыделения в вакуум низкомолекулярных соединений, в том числе молекул воды.

Поэтому для исключения электростатических разрядов в печатных платах необходимо повысить удельную объемную электропроводность диэлектрика печатной платы до величины $10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ таким образом, чтобы эта величина электропроводности не снижалась в условиях вакуума и термоциклирования.

Технической задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является создание печатной платы для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, стойкой к эффектам электризации.

Поставленная техническая задача решается тем, что в печатной плате для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, включающей диэлектрическую подложку и сформированную на ней электрическую схему, согласно предложенному изобретению подложка выполнена из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением, определяемым из условия

$$10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см} \geq \rho_v \geq 10^5 R_{\max} \cdot d, \text{ где}$$

ρ_v - удельное объемное сопротивление диэлектрического материала подложки печатной платы, $\text{Ом} \cdot \text{см}$;

R_{\max} - максимальная величина сопротивления резистора, входящего в состав электрической схемы, выполненной на печатной плате, Ом ;

d - толщина одного слоя диэлектрика печатной платы.

Кроме того, в качестве диэлектрического материала используется композитный диэлектрический материал, включающий проводящую добавку, выбранную из группы: мелкодисперсная ацетиленовая сажа в соотношении от 5% до 6,5% от массы связующего, молекулярный фуллерен C_{60} или C_{70} в соотношении от 1% до 2% от массы связующего, углеродные нанотрубки в соотношении от 0,3% до 0,9% от массы связующего.

Технический результат, достижение которого обеспечивается реализацией заявляемой совокупности существенных признаков, состоит в исключении возможности возникновения электростатических разрядов, образующихся в результате накопления в диэлектрике электронов околоземной космической плазмы, из объема или с поверхности диэлектрической подложки платы на печатные электрические схемы (проводники) печатной платы для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

Печатная плата представляет собой диэлектрическую подложку и сформированную на ней электрическую схему. Подложка выполнена из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением, определяемым из условия

$$10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см} \geq \rho_v \geq 10^5 R_{\max} \cdot d, \text{ где}$$

ρ_v - удельное объемное сопротивление диэлектрического материала подложки печатной платы, $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

R_{\max} - максимальная величина сопротивления резистора, входящего в состав электрической схемы, выполненной на печатной плате, Ом ;

d - толщина одного слоя диэлектрика печатной платы, см .

Авторами были выполнены экспериментальные исследования электризуемости полимерных материалов, обладающих различными значениями удельного объемного сопротивления. Исследования электризации полимерных указанных полимерных материалов проводились на электронно-лучевой установке ЭЛА-50/5 и состояли в
5 облучении образцов этих материалов моноэнергетическими электронами с энергией 50 кэВ при плотности потока 1-100 нА/см² в вакууме при комнатной температуре. На облучаемую поверхность образцов помещалась заземленная металлическая маска в виде кольца с внутренним диаметром 30 мм. Образец с маской располагался таким
10 образом, чтобы пучок электронов диаметром 40 мм облучал не только открытую поверхность полимера, но и край металлической маски (примерно 2-3 мм). Таким образом, моделировались реальные условия облучения печатных плат при работе в составе космического аппарата. Полимерные саженаполненные образцы имели
15 различную величину удельного объемного сопротивления.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что электростатические разряды не наблюдались при величине удельного объемного сопротивления, не превышающего величину 10¹¹ Ом·см.

Для исключения влияния собственной проводимости диэлектрика печатной платы на работу электронной схемы, выполненной на этой плате, диэлектрик должен
20 отвечать следующему требованию. Величина сопротивления утечки между дорожками печатной платы за счет собственной проводимости диэлектрика этой платы должна быть во много раз меньше, чем величина сопротивления самого высокоомного
25 резистора, входящего в состав электронной схемы, изготовленной на этой плате.

Авторами были выполнены расчетные эксперименты по программе LT-spice с целью определения соотношения между величиной сопротивления резистора и
величиной сопротивления утечки, при котором токи утечки не оказывают влияния на работу электронной схемы. Кроме того, авторы провели натурное макетирование
30 схемы мультивибратора и триггера на подложках с различной величиной удельного объемного сопротивления.

В результате проведенных экспериментов удалось установить, что применение материала подложки с $\rho_v \geq 10^5 R_{max} \cdot d$ не оказывает влияния на параметры электронной
35 схемы. Уменьшение ρ_v приводит к увеличению энергопотребления, изменению частоты колебаний мультивибратора и к увеличению длительности фронтов меандра.

Подложка печатной платы может быть выполнена по существующей технологии, но в эпоксидную смолу, которая является связующим в композиционном материале -
стеклотекстолите, должна быть введена проводящая добавка. В качестве такой
40 добавки может быть использована мелкодисперсная ацетиленовая сажа (5÷6,5)% от массы смолы, молекулярный фуллерен C₆₀ или C₇₀(1÷2)% от массы смолы или углеродные нанотрубки (0,3÷0,9)% от массы смолы. Подбор процентного содержания проводящего наполнителя позволяет получить требуемую величину удельного
45 объемного сопротивления подложки печатной платы.

Были изготовлены макетные образцы и определены рабочие характеристики типового цифрового устройства (мультивибратора), выполненного на
экспериментальной печатной плате из слабопроводящего наноматериала с величиной удельного объемного сопротивления 10⁹ Ом·см, 10¹⁰ Ом·см и 10¹¹ Ом·см. Макетные
50 образцы были подвергнуты воздействию пучка электронного излучения с энергией электронов 50 кэВ, плотность тока пучка 1 нА/см². В процессе испытаний определено, что потенциал облучаемой поверхности подложки печатной платы тестируемого

мультивибратора не превышал порога чувствительности измерительной системы (100 В), электростатические разряды отсутствовали. (Время облучения составляло 60 мин.)
Здесь следует отметить, что плотность тока электронов при испытаниях
соответствовала плотности тока в натуральных условиях космического пространства для
наихудшего случая сильного геомагнитного возмущения, вызванного гигантской
солнечной вспышкой.

Формула изобретения

1. Печатная плата для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов, включающая диэлектрическую подложку и сформированную на ней электрическую схему, отличающаяся тем, что подложка выполнена из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением, выбираемым из условия

$$10^{11} \text{ Ом см} \geq \rho_v \geq 10^5 R_{\max} \cdot d,$$

где ρ_v - удельное объемное сопротивление диэлектрического материала подложки печатной платы, Ом·см,

R_{\max} - максимальная величина сопротивления резистора, входящего в состав электрической схемы, выполненной на печатной плате, Ом,

d - толщина одного слоя диэлектрика печатной платы.

2. Печатная плата по п.1, отличающаяся тем, что в качестве диэлектрического материала используется композитный диэлектрический материал, включающий проводящую добавку, выбранную из группы: мелкодисперсная ацетиленовая сажа в соотношении от 5% до 6,5% от массы связующего, молекулярный фуллерен C_{60} или C_{70} в соотношении от 1% до 2% от массы связующего, углеродные нанотрубки в соотношении от 0,3% до 0,9% от массы связующего.