

Дротяний радіатор відноситься до галузі радіотехніки та радіоелектроніки, переважно до конструкцій радіаторів для охолодження напівпровідникових приладів електронної апаратури і може бути використаний для охолодження також інших тепловідляючих елементів як при природній, так і при примусовій конвекції.

При конструюванні радіоелектронної апаратури для забезпечення нормальних теплових режимів електронних компонентів і заданої надійності їх роботи широко використовуються радіатори різної конструкції, зокрема - дротяні [див. книгу: Л.Л.Роткоп, Ю.Е.Спокойный. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА - М.: Сов. радио, 1976, с.50, рис.2.31; с.70, рис.3.3]. Радіатори з дротяним оребрением при примусовому повітряному охолодженні мають, як правило, високі тепловіддаючі характеристики, однак технологія їх виготовлення є більш складною, тому вони не набули поки що широкого розповсюдження.

Відома конструкція дротяного радіатора для охолодження напівпровідникових приладів, який містить у своєму складі основу з безперервними пучками гнучких дротів, розміщеними навколо установчої ділянки під напівпровідниковий прилад [див. а.с. СССР №1444975 А1, МПК Н05К7/20, опубл. 15.12.88р. Б.И. №46]. Зазначений радіатор має дуже складний механізм із клиноподібними та конічними елементами кріплення дротів в основі радіатора, що створює певні технологічні труднощі при його виготовленні та призводить до збільшення масогабаритних характеристик радіатора.

Відома конструкція радіатора, що виконаний у вигляді набору дротяних спіралей, що з'єднані між собою, при цьому спіралі виконані з різними напрямками навівки [див. патент Росії №730206 С МПК Н01L23/34, опубл. 30.07.94р., бюл №14]. Недоліком такої конструкції є низька жорсткість спіралей при використанні дроту субміліметрового діаметра, наприклад, 0,02-0,3мм, внаслідок чого знижується їх експлуатаційна надійність.

Відома конструкція радіатора для охолодження напівпровідникових приладів, що містить основу, на якій під прямим кутом закріплена решітка з металевих дротів, наприклад, у вигляді сітки [див. а.с. СССР №1485329, МПК Н01L23/36, Н05К7/20, опубл. 07.06.89р. Б.И. №21]. Решітки прикріплені до основи одними кінцями та розміщені рівномірно на одній торцевій поверхні основи паралельно між собою та під прямим кутом до напрямку потоку охолоджуючого повітря. Гілки одного ряду кожної сітки мають форму петель, закріплених незамкненими кінцями на основі. Дроти петель різних рядів можуть мати різні діаметри. Такий радіатор при однакових габаритних розмірах з ребристим пластинчастим радіатором і однаковою тепловою потужністю, яку вони розсіюють, має значно кращі характеристики по масі.

Недоліком такого радіатора є технологічні труднощі при виготовленні та необхідність забезпечення надійного теплового контакту у місцях перетину дротів сітки між собою. Особливо складно виготовити такий радіатор при використанні дуже тонких дротів, наприклад, діаметром одиниць та десятків мікрометрів. В цьому випадку важко забезпечити також стабільність форми решіток у процесі експлуатації.

Найбільш близькою до запропонованої за сукупністю ознак і технічному результату є конструкція пластинчастого петельно-дротяного радіатора напівпровідникових приладів, яка вибрана за прототип, [див. статтю А.П.Орнатский, Б.В.Латенко, Ю.С.Попель. Исследование влияния геометрических характеристик пластинчатых петельно-проволочных радиаторов полупроводниковых приборов на теплообмен при естественной конвекции. Опубликована в журналі «Теплофизика и теплотехника», 1973р., вип. 23, с.53-57, рис.1 на с.53], що містить у своєму складі основу з двох напівпластин, на зовнішніх сторонах яких припаяні петельно-дротяні ребра. Ребра мають вигляд зігнутих ділянок дротів, обидва кінці якого припаяні до основи, а петля виступає над поверхнею основи перпендикулярно до неї. Для забезпечення стабільності форми ребер у процесі виготовлення та експлуатації діаметр дротів складає від 0,49 до 1,0мм.

Порівняно з радіаторами з гладкими суцільними металевими ребрами, описані радіатори з петельно-дротяним оребрением при приблизно однакових габаритах і товщині основи дають виграш у масі радіаторів на 30-50%.

Основним недоліком прототипу є те, що в його конструкції важко використати дроти діаметром менше 0,5мм, оскільки при цьому у зв'язку з недостатньою жорсткістю дротів утрачається петлеподібна форма ребер, що знижує ефективність тепловіддачі як при природній, так і при примусовій конвекції. А, як відомо [див. статтю Э.П.Бочкарёв, В.М.Андреев, К.А.Тузовский, Д.В.Зиновьев, Е.Ю.Павленко. Эффект гигантской теплоотдачи телами субмиллиметровых размеров, що опублікована в журналі «Доклады академии наук», 1999р., т.366, №2, с.178-180], саме зі зменшенням лінійних розмірів тіл до десятків та одиниць мікрометрів суттєво збільшується коефіцієнт конвективної тепловіддачі. Зазначені причини обмежують ефективність охолодження петельно-дротяних радіаторів.

В основу винаходу поставлено задачу створити таку конструкцію дротяного радіатора, яка б шляхом підвищення жорсткості конструкції забезпечила стабільну форму дротяних петель як у процесі виготовлення, так і в процесі експлуатації, при використанні дротів субміліметрового діаметра, наприклад, від 0,5мм до 0,005мм, і за рахунок цього підвищити інтенсивність тепловіддачі та ефективність охолодження радіатора.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у дротяному радіаторі, який містить у своєму складі основу із закріпленими на ній обома кінцями ділянками дротів, що являють собою петлі, утворені петлі з'єднані між собою додатково підтримуючим каркасом, при цьому підтримуючий каркас установлено нерухомо відносно основи, а діаметр дротів петель лежить у межах від 0,005 до 0,5мм. Основа може бути виконана з теплопровідного матеріалу, а кінці ділянок дротів закріплені на основі із забезпеченням теплового контакту. Підтримуючий каркас установлено фіксовано відносно основи за допомогою щонайменш однієї перетинки, що закріплена на основі. Перетинки та підтримуючий каркас можуть бути виконані з теплопровідного матеріалу.

Винахідницький рівень заявленого технічного рішення полягає у тому, що заявлене технічне рішення на відміну від усіх існуючих аналогів, дозволяє використати надтонкий дріт в конструкції радіатора та досягти підвищення тепловіддаючої здатності радіатора.

Використання дроту з діаметром від 0,005 до 0,5мм дозволяє суттєво збільшити коефіцієнт тепловіддачі від поверхні дротяного радіатора як при природній, так і при примусовій конвекції, і підвищити ефективність охолодження напівпровідникового приладу та покращити масогабаритні характеристики радіатора.

Конструкція та принцип дії запропонованого дротяного радіатора пояснюються кресленнями.

На Фіг.1 показана одна з можливих конструкцій дротяного радіатора для напівпровідникового приладу,

наприклад, для транзистора 2Т808А.

На Фіг.2 та 3 у збільшеному масштабі показано варіанти закріплення петель, що утворені ділянками дротів, на основі та підтримуючому каркасі,

а на Фіг.4 - загальний вигляд виготовленого та випробуваного експериментального зразка дротяного радіатора.

На Фіг.5 зображено варіант конструкції радіатора з чашкоподібною основою,

на Фіг.6 - варіант з основою, яка може обіймати корпус тепловиділяючого приладу.

На Фіг.7 показано варіант виконання дротяного радіатора, коли дроти мають у перетині форму, відмінну від круглої,

а на Фіг.8 - варіант радіатора для приладу з корпусом прямокутної форми.

Дротяний радіатор для напівпровідникового приладу, наприклад, для транзистора 2Т808А, (див. Фіг.1) містить у своєму складі основу 1, яка виконана, наприклад, у вигляді замкненого кільця з мідного дроту діаметром 1,5мм, із закріпленими на ній обома кінцями ділянками тонких (діаметром від 0,005 до 0,5мм) мідних дротів 2, що являють собою петлі. В межах одного радіатора різні петлі можуть бути утворені ділянками дротів однакового або різних діаметрів. Вершини петель з'єднані між собою додатково підтримуючим каркасом 3, який виконано, наприклад, у вигляді замкненого кільця діаметром 50мм із мідного дроту діаметром 1,5мм. Підтримуючий каркас 3 установлено нерухомо відносно основи 1 за допомогою двох перетинок 4, які також виконано з мідного дроту діаметром 1,5мм, та які закріплені на основі 1 та на підтримуючому каркасі 3, наприклад, за допомогою паяння. Практично петлі утворені намотуванням одного або декількох відрізків тонкого (діаметром від 0,005 до 0,5мм) мідного дроту 2 на попередньо з'єднані між собою за допомогою перетинок 4 основу 1 та підтримуючий каркас 3, як це показано на Фіг.2 та 3. На Фіг.2 тонкий дріт 2 не створює додаткових витків навколо основи 1 (дроту внутрішнього кільця) та підтримуючого каркаса 3 (зовнішнього кільця). Тонкий дріт 2 може бути намотаний на основу та каркас як з однаковим, так і з різним кроком намотування. Кріплення тонкого дроту 2 до основи 1 та підтримуючого каркаса 3 здійснено шляхом обпаявання, наприклад, припоєм ПОС-61, місць контакту тонкого дроту з основою та підтримуючим каркасом. На Фіг.3 наведено інший приклад кріплення тонкого дроту 2 на основі 1 та підтримуючому каркасі 3 - за допомогою додаткового їх обмотування тонким дротом. В цьому випадку обпаявання місць контакту може і не виконуватись.

Внутрішній діаметр основи 1 вибрано таким, щоб після намотування на нього тонкого дроту 2, зменшений внутрішній діаметр основи був на 0,05-0,1мм більшим зовнішнього діаметра корпуса транзистора, що підлягає охолодженню.

Дротяний радіатор працює наступним чином. Щільно, із забезпеченням теплового контакту, насаджують радіатор на корпус транзистора, що підлягає охолодженню. Контактуючі поверхні змащують теплопровідною пастою, наприклад, типу КПТ-8. Теплота, що виділяється при роботі транзистора, передається від його корпуса через прошарок теплопровідної пасти до кінців петель тонких дротів 2, що контактують із корпусом транзистора та основою, та до основи 1 радіатора, а від них, завдяки теплопровідності матеріалу дротів та основи, - уздовж петель до їх вершин та до підтримуючого каркаса 3, що призводить до їх нагрівання до температури, вищої температури оточуючого середовища. Унаслідок різниці температур дротяних петель та оточуючого повітря починає відбуватися конвективний теплообмін між ними: теплота від тонких дротів 2 передається природною конвекцією (а частково - випромінюванням) до оточуючого повітря. Частково теплота розсіюється також нагрітими поверхнями підтримуючого каркаса, перетинок та основи, але, у зв'язку з відносно невеликою площею їх поверхні, основна кількість теплоти розсіюється тонкими дротами петель. Таким чином від транзистора відводиться теплота, та забезпечується його нормальний тепловий режим.

Для підвищення ефективності охолодження використовується обдув радіатора за допомогою вентилятора. При цьому теплота від дротів радіатора відводиться примусовою конвекцією.

При природній конвекції рекомендується радіатор розташовувати в горизонтальній площині, щоб зменшити тепловий вплив нагрітих петель на інші. При примусовій конвекції рекомендується повітряний потік від вентилятора спрямовувати перпендикулярно до площини радіатора.

Заявлена конструкція дротяного радіатора, завдяки використанню дротів субміліметрового діаметру (0,005-0,5мм), дозволяє суттєво підвищити коефіцієнт тепловіддачі від його петель, та зберегти при цьому жорсткість конструкції та форму петель, що підвищує ефективність охолодження та надійність роботи в умовах експлуатації.

З фізичної точки зору значне підвищення коефіцієнту тепловіддачі від дротів субміліметрового діаметру пояснюється значним впливом зменшення діаметру та товщини кільцевого прикордонного шару повітря біля дротів та покращенням умов для турбулізації потоків повітря.

На Фіг.4 наведено експериментальний зразок виготовленого та випробуваного дротяного радіатора для охолодження транзистора 2Т808А. Радіатор має 361 петлю, що виконані з ділянок мідного дроту діаметром 0,12мм. При потужності транзистора 5 Вт середній коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції склав 53,4Вт/(м²·°C), при примусовій конвекції - 368Вт/(м²·°C). В останньому випадку обдув радіатора здійснювався вентилятором FC-28В (12В, 0,8А), розміщеним зверху радіатора на відстані 9 см від його поверхні.

Для порівняння, із даних, наведених в опису прототипу [див. статтю А.П.Орнатський, Б.В.Латенко, Ю.С.Попель «Исследование влияния геометрических характеристик пластинчатых петельно-проволочных радиаторов полупроводниковых приборов на теплообмен при естественной конвекции», опубліковану в журналі «Теплофизика и теплотехника», 1973р., вип.23, с.53-57, зокрема рис.2 на с.55 та табл. на с.54], впливає, що середній коефіцієнт тепловіддачі від пластинчатого петельно-дротяного радіатора (прототипу) розмірами 70×100мм із діаметром мідних дротів 0,68мм, висотою дротяних петель 15,4мм, подовжнім шагом петель 2,5мм, поперечним шагом петель 7,3мм при температурному перепаді 25°C, термічному опорі радіатора 2,25°C/Вт і загальній площі поверхні 489,5см при природній конвекції складає лише 9,08Вт/(м²·°C), що в 5,9 разів менше, ніж у запропонованого дротяного радіатора. При примусовій конвекції середній коефіцієнт тепловіддачі для петельно-дротяного обрешечення труб з мідного дроту діаметром 0,5мм, висотою

петель 12мм, шагом витків 7,5мм в умовах поперечного обдува повітрям зі швидкістю потоку від 2 до 12м/с складає від 81,9 до 116 Вт/(м² °С) [див. статтю О.А.Кремнев, Н.В.Зозуля, А.А.Хавин «Теплоотдача продольнообтекаемых труб с петельно-проволочным оребрением» в журналі «Энергомашиностроение», 1962р., №5, с.29-31, рис.2, а на с.30, крива 3], що, відповідно, у 4,5 та 3,2 разів менше, ніж у дротяного радіатора, що заявляється.

Проведені випробування виготовленого зразка дротяного радіатора засвідчили можливість його практичного виготовлення, жорсткість конструкції, високу ефективність охолодження, та надійність роботи в умовах експлуатації.

В інших варіантах виконання радіатора, в разі кріплення тонкого дроту як зображено на Фіг.2, основа 1, підтримуючий каркас 3 та перетинки 4 можуть бути виконані як із теплопровідного, так і з нетеплопровідного матеріалу. В варіанті виготовлення основи з нетеплопровідного матеріалу передача теплоти від транзистора, що підлягає охолодженню, до петель тонкого дроту 2 здійснюється лише за допомогою теплового контакту корпусу транзистора з кінцями петель (при щільному насадженні радіатора на корпус транзистора) та завдяки теплопровідності матеріалу петель - до їх вершин.

Тонкий дріт може бути виконаний не лише з міді, а й з інших теплопровідних металів і неметалів, наприклад, із сталі, нікелю, платини, золота, алмазу, берилієвої кераміки тощо.

При виконанні основи, підтримуючого каркасу та перетинок із теплопровідного матеріалу кінці ділянок дротів, що утворюють петлі, та вершини петель закріплені на основі та підтримуючому каркасі із забезпеченням теплового контакту з ними, наприклад, шляхом паяння або точкового зварювання. Основа приймає участь у перерозподілі теплового потоку по її тілу та між кінцями усіх петель. При цьому передача теплоти здійснюється від основи до підтримуючого каркаса додатково теплопровідністю перетинок, а між вершинами всіх петель - додатково за допомогою теплопровідності підтримуючого каркаса, що дозволяє збільшити довжину петель.

Основа радіатора може включати в себе також пластину 5 (плоскої або чашкоподібної форми) із теплопровідного матеріалу (див. Фіг.5), яка припаяна до внутрішнього кільця. У пластині 5 виконані отвори під виводи напівпровідникового приладу, який встановлюється на пластину своєю основою.

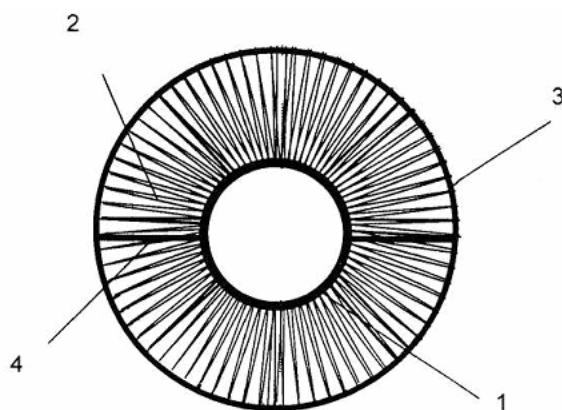
Основа 1 може бути виконана у вигляді незамкненого кільця з дроту або у вигляді незамкненої металевої скоби 6, які закріплюються на охолоджуваному елементі шляхом, наприклад, стягування їх незамкнених кінців гвинтом 7 із гайкою (див. Фіг.6). Фіксоване встановлення підтримуючого каркаса відносно основи виконане за допомогою щонайменш однієї перетинки 4, що закріплена на основі, як це показано на Фіг.6.

Можливий варіант виконання дротяного радіатора з дротів не круглого поперечного перерізу, наприклад, прямокутного. При цьому дротяні петлі можуть бути виконані з металевої фольги шляхом витравлювання ділянок між плоскими дротами 8 (див. Фіг.7), а кінці та вершини усіх петель об'єднані між собою суцільними, відповідно, внутрішньою ділянкою 9 та зовнішньою ділянкою 10 фольги, які напаяні чи приварені контактною, наприклад, конденсаторною чи термокомпресійною сваркою, відповідно, на основу 11 та підтримуючий каркас 12, які в цьому варіанті можуть бути виконані у вигляді пластин, відповідно, чашкоподібної та плоскої форми.

Варіант дротяного радіатора для охолодження тепловиділяючого елемента з прямокутним корпусом наведено на Фіг.8. В основі, яка виконана у вигляді прямокутного дротяного кільця 13 із напаяною на нього (після намотування тонкого дроту 2 на кільце 13 та підтримуючий каркас 14) пластиною 15 з отворами 16 для кріплення тепловиділяючого елемента.

В інших варіантах виконання дротяного радіатора його петлі можуть бути сформовані в різних площинах, мати вигини під певним кутом, тощо. При цьому підтримуючий каркас має складну форму та вигини елементів, із яких він складений.

Таким чином, запропонований дротяний радіатор є новим, має винахідницький рівень, є промислово придатним і дозволяє зберегти форму петель та жорсткість конструкції при використанні дротів субміліметрового діаметру (0,005-0,5мм), що забезпечує підвищення коефіцієнта тепловіддачі від його петель та підвищує ефективність охолодження.



Фіг.1

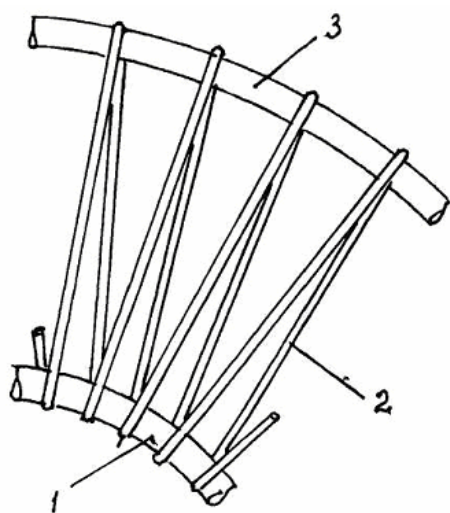


Fig. 2

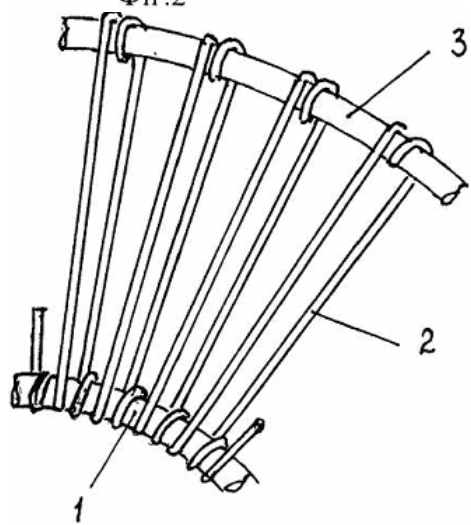


Fig. 3

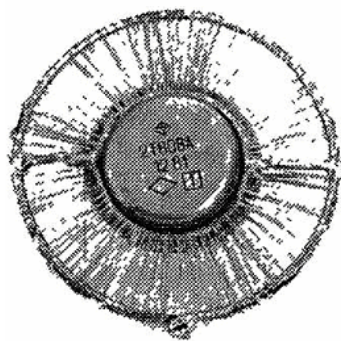


Fig. 4

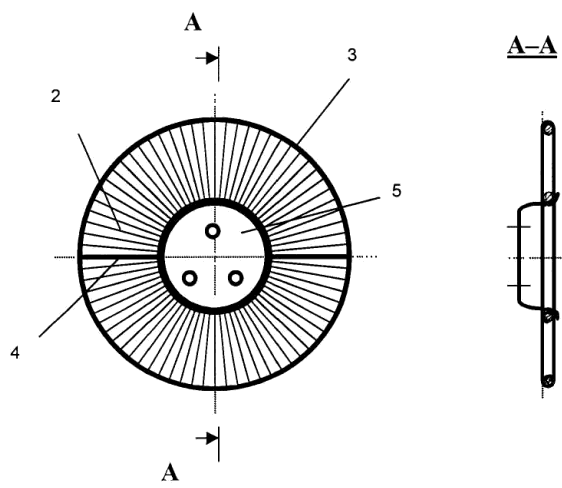


Fig.5

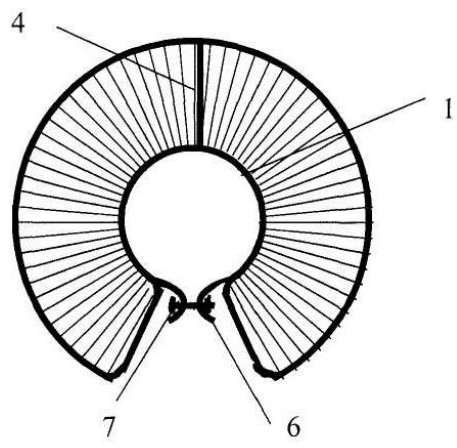


Fig.6



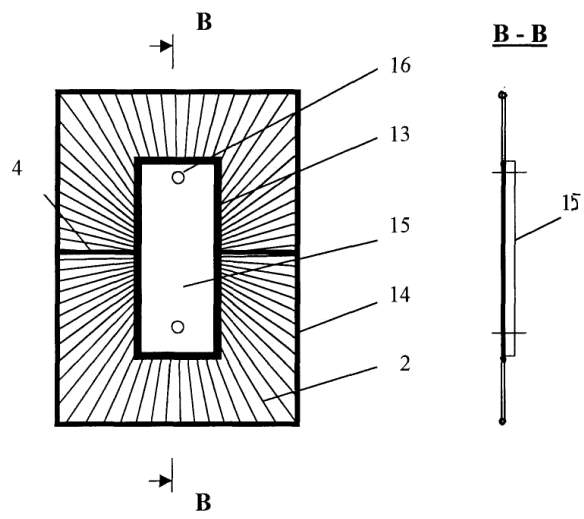


Fig. 8