

Sposób pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym oraz urządzenie do stosowania tego sposobu.

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym oraz urządzenie do stosowania tego sposobu.

Przewodnictwo cieplne jest procesem polegającym na przenoszeniu energii między sąsiadującymi ciałami, między którymi występuje różnica temperatur. Po przyjęciu granicznej nieskończonej małej grubości, na której występuje różnica temperatur ΔT , podstawowe prawo przewodnictwa cieplnego, określające strumień ciepła H można przedstawić wzorem 1:

$$H = -kA \frac{dT}{dx}$$

Wzór 1

gdzie: k oznacza współczynnik proporcjonalności nazywany przewodnością cieplną [W/mK], A - powierzchnia materiału [m²], dT/dx - gradient temperatury [K/m].

Ciepło przepływa w kierunku malejącej temperatury (kierunek wzrostu dx), dlatego też do wzoru (1) został wprowadzony znak minus [1].

Szybkość przepływu ciepła przez materiał jest proporcjonalna do powierzchni prostopadłej kierunku przepływu ciepła i do gradientu temperatur wzdłuż drogi przepływu ciepła.

W układzie jednowymiarowym szybkość przepływu ciepła jest wyrażona równaniem Fouriera:

$$Q = kA \frac{\Delta T}{d}$$

Wzór 2

gdzie: Q - szybkość przepływu ciepła [W], k - przewodność cieplna [W/mK], A - powierzchnia styku między materiałami, d - długość drogi przepływu ciepła oraz ΔT – różnica temperatur pomiędzy elementem grzewczym a radiatorem.

Przewodność cieplna k jest cechą wewnętrzną materiałów homogenicznych, za pomocą której opisuje się zdolność do przewodzenia ciepła niezależnie od wymiarów, kształtu czy orientacji materiału [2].

Problemy z nadmierną temperaturą układów scalonych występują najczęściej w procesorach komputerowych, we wzmacniaczach mocy lub scalonych stabilizatorach napięcia.

Wraz ze wzrostem wydzielanej mocy w układzie scalonym, rośnie temperatura wnętrza jego struktury.

Zależność temperatury od mocy traconej opisuje zależność zwana temperaturą złącza:

$$T_j = T_a + R_{th(j-a)}P_d$$

Wzór 3

gdzie: T_j - temperatura złącza, T_a - temperatura otoczenia, $R_{th(j-a)}$ - rezystancja cieplna układu scalonego, P_d - moc elektryczna tracona w układzie scalonym.

Przedstawiona zależność obowiązuje w warunkach ustalonych, w których moc strat nie ulega zmianie w czasie [3].

Przewodność cieplna oraz rezystancja opisują mechanikę przepływu ciepła przez materiał. W rzeczywistości nie występują jednak materiały o idealnie gładkiej i płaskiej powierzchni styku. Powietrze pomiędzy powierzchnią materiału odprowadzającego ciepło, a materiałem je wytwarzającym stanowi większą rezystancję termiczną dla przepływającego ciepła.

Impedancja cieplna θ jest definiowana według wzoru jako suma wszystkich rezystancji termicznych:

$$\theta = R_{materiału} + R_{styku}$$

Wzór 4

W głównej mierze największy wpływ na rezystancję styku mają takie parametry jak [2]: chropowatość powierzchni, siła zamocowania, grubość materiału lub współczynnik sprężystości objętościowej.

Półprzewodniki utrzymywane są w optymalnej temperaturze pracy poprzez odprowadzanie generowanego ciepła do otaczającego środowiska. Można to osiągnąć poprzez dołączenie radiatora do powierzchni półprzewodnika, zwiększającego wymianę ciepła pomiędzy gorącym elementem a chłodnym powietrzem. Jednak, aby taki system spełnił swoje zadanie musi on zostać starannie połączony z półprzewodnikiem, celem zapewnienia skutecznego przewodzenia ciepła.

Rozpatrując równanie Fouriera na przewodnictwo cieplne ze wzoru 2 przyjmujemy, iż opór cieplny połączenia radiatora z elementem układu elektronicznego wyrażany jest wzorem:

$$R_{c-s} = \frac{\Delta T}{Q}$$

Wzór 5

co po przekształceniu daje:

$$R_{c-s} = \frac{d}{kA}$$

Wzór 6

Analizując wzór 6 określamy, iż oporność cieplna połączenia dwóch układów jest wprost proporcjonalna do grubości spoiny, odwrotnie proporcjonalna do przewodności cieplnej czynnika tworzącego połączenie oraz wielkości powierzchni wymiany ciepła. Dlatego oporność cieplna powinna być minimalizowana poprzez zastosowanie jak najcieńszych połączeń, równocześnie eliminując występujące między warstwami powietrze i upewniając się, iż obie powierzchnie znajdują się w ścisłym kontakcie.

Niestety, bez względu na to jak dobrze zostały przygotowane powierzchnie, ich kształt nie jest idealnie płaski, co uniemożliwia ich idealny kontakt. Wszystkie materiały cechują się niedoskonałością powierzchni. Złączenie dwóch wyżej opisanych powierzchni ogranicza kontakt fizyczny do mniej niż jednego procenta, podczas gdy 99% pola powierzchni jest rozdzielone powietrzem znajdującym się między warstwami, które jest słabym przewodnikiem cieplnym.

Materiały poprawiające przewodność cieplną są zaprojektowane tak aby dostosowywały się do nieregularności powierzchni, eliminując puste przestrzenie i zwiększając wydajność układów chłodzących [4].

Ważną właściwością każdej substancji termoprzewodzącej (TIM) jest przewodność cieplna. Dla polimerów nie zawierających wypełniaczy wynosi ona około 0,1 W/mK. Wszystkie nowoczesne materiały TIM są kompozytami zawierającymi wypełniacze w postaci cząstek, które poprawiają przewodność termiczną do 7 W/mK. Nieorganicznymi wypełniaczami mogą być tlenki glinu, magnezu, azotki glinu, boru, diament w proszku lub metale takie jak srebro. Jednak wysoka przewodność cieplna nie jest wystarczająca, aby zapewnić optymalną wydajność systemu chłodzenia.

Poniżej scharakteryzowano wybrane materiały pod względem wydajności oraz oporności cieplnej (znormalizowanej do obszaru jednego centymetra kwadratowego) wyrażonej w Kcm^2/W uzyskanej z wykorzystaniem jednowymiarowego pomiaru przepływu ciepła. W ten sposób zostanie określona grubość warstwy występującej

między dwiema powierzchniami. Konkretna wartość w danej aplikacji jest silnie uzależniona od powierzchni styku i występującego ciśnienia.

Dodatkowo oprócz wydajności cieplnej przy wyborze TIM bierze się pod uwagę kilka innych kryteriów krytycznych takich jak: łatwość nanoszenia, długoterminowa stabilność czy proces technologiczny.

Najczęstszym kryterium, według którego dzieli się materiały termoprzewodzące jest stan w jakim zostają one dostarczone do aplikacji na podzespołach. Dlatego zaczynając od najbardziej popularnego materiału można wyszczególnić:

- **Smary** zwane również pastami termoprzewodzącymi, które są związkami silikonowymi lub olejami węglowodorowymi, zawierającymi różne wypełniacze. Historycznie są one najstarszą klasą materiałów, która w założeniu w sposób najprostszy eliminuje podstawowy problem jakim są pęcherzyki powietrza. Stosowanie tego rodzaju materiałów jest problematyczne ze względu na wysoką lepkość oraz trudności wynikające z konieczności nałożenia powtarzalnej i odpowiedniej jej ilości, aby zapewnić pełne pokrycie z odpowiednio cienką warstwą. Materiał ten wymaga także mechanicznego dociskania elementu pod ciśnieniem około 300 kPa, celem zachowania optymalnej wydajności cieplnej. Tradycyjnie pasty zazwyczaj uzyskują oporność około 1 Kcm²/W, podczas gdy najnowsze produkty znajdują się w zakresie do 0,2 Kcm²/W. Wzrost temperatury podczas użytkowania past termoprzewodzących prowadzi do obniżenia lepkości, a co za tym idzie dalszego zwilżania powierzchni przylegania, co poprawia działanie poprzez obniżenie oporu. Konsekwencją wykorzystywania past termoprzewodzących jest występowanie zjawiska znanego jako „pump-out”, w którym nadmiar smaru z powodu swojej niskiej lepkości zostaje wypchnięty poza element układu chłodzenia zanieczyszczając sąsiednie elementy. W skrajnych przypadkach układ taki może ulec zaschnięciu.

Zważywszy na długą historię i powszechność stosowania tych materiałów na rynku konsumenckim często uważa się, iż rynek jest mocno zdominowany przez ten typ plastomerów termoprzewodzących [5].

- **Podkładki elastomerowe** - materiały te są pochodnymi past termoprzewodzących, których stały stan jest spowodowany dodatkiem kauczuków, co dodatkowo ułatwia nakładanie. Typowa grubość mieści się w granicach 0,25 mm, większość z nich zawiera nośniki z włókna szklanego oraz wypełniacze nieorganiczne. Są one

dostarczane w postaci potrzebnej dla danego zastosowania (najczęściej różnej wielkości kwadratów). Największą wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania wysokiego ciśnienia (~ 700 kPa) celem uzyskania odpowiedniej przewodności. Ponadto cechują się one wyższą opornością cieplną o wartości 1-3 Kcm^2/W niż pasty termoprzewodzące, dlatego też ich aplikacja jest ograniczona do układów z niewielkimi wymaganiami termicznymi [5].

- **Taśmy termoprzewodzące** - zostały opracowane jako metody mocowania radiatora, eliminujące konieczność wykorzystywania zacisków zewnętrznych, a zatem obniżające wymagania sprzętowe. Taśmy termoprzewodzące są dwustronnymi, wrażliwymi na nacisk foliami samoprzylepnymi wypełnionymi klejami czułymi na ciśnienie (PSA) znajdującymi się na matrycy nośnej wykonanej z poliamidu, włókna szklanego lub folii aluminiowej. Kleje te przylegają do powierzchni przy lekkim nacisku i utrzymują radiator na miejscu bez wsparcia mechanicznego [4].

Podobnie jak w przypadku podkładek, ich wydajność cieplna mieści się w zakresie 1-4 Kcm^2/W . Zakres rezystancji jest zależny od powierzchni. W rzeczywistości głównym czynnikiem stosowania taśm jest własność przyklejania radiatora, podczas gdy przewodność cieplna ma drugorzędne znaczenie. Taśmy mają bardzo ograniczoną zgodność i nie są one odpowiednie dla pakietów o sferycznym połączeniu z podłożem i wklęsłą górną powierzchnią [5].

- **Materiały o zmiennej fazie** - w głównej mierze do rodziny tych materiałów należą woski, które topią się w przedziale temperaturowym 50-80°C. Zasadniczo należą one do grupy klejów termoplastycznych o niskiej temperaturze pracy, jednak zarówno powyżej jak i poniżej punktu topnienia są na tyle skuteczne, że ich wydajność cieplna jest zbliżona do past termoprzewodzących. Największym problemem napotykanym w czasie wykorzystania materiałów woskowych jest ich zdolność do upłynnienia swojej struktury, co wpływa na niebezpieczeństwo wypłynięcia materiału z luki między radiatorem a procesorem [5].

Jak dotąd nie ma ustalonego jednolitego sposobu pomiaru przewodnictwa cieplnego dla past termoprzewodzących. Tunerzy oraz producenci sprzętu komputerowego stosują specjalne programy obciążające układ obliczeniowy zarówno GPU (procesor graficzny) jaki CPU (procesor podstawowy) w celu uzyskania jak największego obciążenia danej jednostki obliczeniowej. Układ ten jest odpowiednio posmarowany pastą termoprzewodzącą, na nim znajduje się radiator, a pod płytą

główną punkt pomiarowy, który mierzy temperaturę układu. Rozwiązanie takie ma bardzo dużo wad – może jedynie określić o ile radiator jest w stanie wychłodzić w danej chwili układ obliczeniowy, nie jest w stanie podać ani wartości przewodnictwa ani skuteczności pasty. Skuteczność dla danego układu można wyliczyć tylko poprzez porównanie serii past na dokładnie tym samym układzie. Zmieniając układ nie można porównać wartości otrzymanych past między sobą. Dodatkową przeszkodą do porównywania wyników jest to, iż każdy układ graficzny ma różną sprawność i układ obliczeniowy w zależności od tego, w którym miejscu wafla w trakcie przygotowania rdzenia krzemowego znajdował się wycinek. Skuteczność działania będzie inna jak i inne będzie generowanie ciepła dla tego układu, co wiąże się z tym, że dla czterech identycznych procesorów kupionych w sklepie, każdy będzie się grzał do innej temperatury.

W dotychczasowym stanie techniki nie znaleziono innego sposobu pomiaru odprowadzania ciepła jak i skuteczności zastosowanych warstw pasty termoprzewodzącej dla układów elektronicznych.

Celem twórców niniejszego wynalazku było opracowanie sposobu pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznych materiałach kontaktowych oraz urządzenia do stosowania tego sposobu, w którym powietrze zostanie zastąpione materiałem cechującym się lepszymi parametrami zwiększającymi przepływ ciepła w zbudowanym układzie.

Sposób pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym w postaci pasty termoprzewodzącej charakteryzuje się tym, że realizuje się go za pomocą urządzenia składającego się z płyt przylegających do siebie w następującej kolejności: płyta grzewcza przylega jedną ścianą do płyty rozpraszającej, która przylega drugą ścianą do płyty izolacyjnej wykonanej z materiału termoizolacyjnego, która przylega drugą ścianą do płyty pomiarowej, przy czym sposób polega na tym, że pastę termoprzewodzącą wprowadza się do wnętrza komory pomiarowej umiejscowionej w płycie izolacyjnej, szczelnie zamkniętej po obu stronach termoprzewodzącymi płytkami, w taki sposób by pasta wypełniała całą wolną przestrzeń komory pomiarowej, płytkami centruje się wprowadzoną do komory pomiarowej pastę termoprzewodzącą, wyprowadzając jej ewentualny nadmiar na zewnątrz wykonanym w niej kanałem. Następnie za pomocą promiennika termicznego, korzystnie lampy, najkorzystniej halogenowej, przyłożonego do zewnętrznej ścianki

płyty grzewczej, korzystnie do jej strefy centralnej, generuje się ciepło, przechodzące poprzez bezpośredni kontakt na płytę rozpraszającą, która równomiernie rozprawdza ciepło w całej swojej objętości, a następnie przekazuje ciepło poprzez mierzoną pastę termoprzewodzącą umieszczoną w komorze płyty izolacyjnej do płyty pomiarowej, a za pomocą czujników temperatury mierzy się temperaturę co najmniej w płycie rozpraszającej i w płycie pomiarowej, a korzystnie również w płycie grzewczej oraz płycie izolacyjnej i przekazuje informacje z wynikami pomiarów do układu pomiarowego temperatury, a następnie do układu obliczeniowego, w którym wyznacza się deltę pomiędzy wartością temperatury zarejestrowaną przez czujnik umieszczony w płycie pomiarowej względem płyty rozpraszającej w czasie, i znanym sposobem oblicza się wartość przewodnictwa cieplnego.

Pomiar temperatur w płycie grzewczej oraz płycie izolacyjnej prowadzi się w celu weryfikacji pełnych parametrów termicznych układu.

Korzystnie, promiennik termiczny przykładą się do sfazowania wykonanego w centralnej strefie płyty grzewczej, celem spowodowania równomiernego rozkładu temperatury w całej płycie.

Korzystnie, pastę termoprzewodzącą wprowadza się do komory wewnątrz płyty izolacyjnej poprzez kanał wykonany w tej płycie.

Korzystnie, przed dokonaniem pomiaru pomiędzy płytą grzewczą a płytą rozpraszającą wprowadza się warstwę pasty termoprzewodzącej poprawiającej przewodzenie ciepła między tymi płytami.

Korzystnie, informacje z wynikami pomiarów do układu pomiarowego temperatury przekazuje się za pomocą mikrokontrolera bezprzewodowego, korzystnie ESP 8266 z zainstalowanym oprogramowaniem korzystnie NodeMCU, poprzez moduł WiFi.

Istotę wynalazku stanowi również urządzenie do pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym charakteryzujące się tym, że składa się z płyt przylegających do siebie w następującej kolejności: płyta grzewcza przylega jedną ścianą do płyty rozpraszającej, która przylega drugą ścianą do płyty izolacyjnej wykonanej z materiału termoizolacyjnego, korzystnie z tworzywa sztucznego, która przylega drugą ścianą do płyty pomiarowej. Wewnątrz płyty izolacyjnej, korzystnie pośrodku wykonany jest otwór przelotowy tworzący komorę pomiarową, która z obu stron zamknięta jest termoprzewodzącymi płytkami o kształcie

umożliwiającym szczelne zamknięcie komory pomiarowej, ponadto w płycie rozpraszającej i płycie pomiarowej, a korzystnie również w płycie grzewczej i płycie izolacyjnej wykonane są kanały odpowiednio na wprowadzenie do wewnątrz płyt czujników temperatury, a w płycie izolacyjnej wykonany jest od góry kanał do wprowadzania/wyprowadzania do/z komory pomiarowej poddawanego pomiarowi materiału termoplastycznego, przy czym rolę tego kanału może jednocześnie pełnić wyżej wymieniony kanał na wprowadzanie czujnika temperatury.

Korzystnie, urządzenie wyposażone jest w czujniki temperatury umieszczone co najmniej w dwóch kanałach, to jest kanałach płyty rozpraszającej i kanałach płyty pomiarowej, a korzystnie również w kanałach płyty grzewczej i kanałach płyty izolacyjnej.

Korzystnie, urządzenie wyposażone jest w układ pomiarowy temperatury i układ obliczeniowy obliczający znanym sposobem wartość przewodnictwa cieplnego.

Korzystnie, urządzenie zawiera promiennik termiczny generujący ciepło, przykładany w celu przeprowadzenia pomiaru do zewnętrznej ścianki płyty grzewczej, korzystnie do jej strefy centralnej, najkorzystniej do sfazowania wykonanego w centralnej strefie płyty grzewczej. Promiennik generuje ciepło, które poprzez bezpośredni kontakt przechodzi na płytę rozpraszającą.

Korzystnie, wszystkie płyty są ze sobą połączone poprzez skręcenie śrubami.

Korzystnie, płyta izolacyjna wewnątrz ma pustą przestrzeń termoizolacyjną umiejscowioną wokół komory pomiarowej. Urządzenie zostało zaprojektowane tak, aby przewodzić ciepło z płyty rozpraszającej z jak najmniejszą stratą cieplną. Dlatego najkorzystniej pusta przestrzeń termoizolacyjna jest wypełniona pianką izolacyjną oraz zaklejona taśmą kaptonową, odporną na wysokie temperatury.

Korzystnie, płyty przewodzące ciepło, to jest płyta grzewcza, płyta rozpraszająca i płyta pomiarowa oraz płytki termoprzewodzące są wykonane z miedzi lub stali nierdzewnej lub złota lub platyny lub aluminium, najkorzystniej z aluminium 2017A/PA6. Płyty aluminiowe charakteryzują się odpowiednimi właściwościami fizycznymi oraz dobrą obrabialnością.

Korzystnie, płyta izolacyjna wykonana jest z tworzywa sztucznego z PMMA (poli(metakrylan metylu)) o przewodności cieplnej i parametrach fizycznych dobranych tak, żeby współczynnik przewodnictwa dla tego materiału był jak najmniejszy, czyli tak aby materiał dobrze izolował temperaturę i był odporny na działanie temperatur, zwłaszcza w przedziale pomiędzy 20°C a 150°C.

Korzystnie, czujniki temperatury poprzez piny GPIO połączone są z układem pomiarowym w postaci mikrokontrolera, zarządzanym przez oprogramowanie wykorzystujące środowisko Arduino IDE.

Korzystnie, układ pomiarowy temperatury ma postać mikrokontrolera połączonego z modułem odpowiedzialnym za komunikację z układem obliczeniowym poprzez kabel USB lub zdalnie za pośrednictwem specjalnie przystosowanego serwera. Wysyłanie danych na serwer pozwala na szybki i bezpośredni dostęp do danych z każdego miejsca z podłączeniem do Internetu oraz wykorzystywanie i ciągły nadzór nad danymi w czasie rzeczywistym bez konieczności przebywania w laboratorium przez cały czas pomiaru.

Czujniki temperatury podłączone do mikrokontrolera korzystnie WiFi, korzystnie opartego na układzie ESP 8266 z zainstalowanym oprogramowaniem korzystnie NodeMCU.

Korzystnie, czujnik temperatury jest to cyfrowy czujnik DS18B20. Czujnik ten mierzy temperaturę z dokładnością do $0,06^{\circ}\text{C}$ i z częstotliwością $\frac{1}{2}$ Hz.

Korzystnie, w układach elektronicznych, w płycie rozpraszającej utrzymuje się temperaturę poniżej 100°C , z uwagi na to, że jest to maksymalna temperatura, przy której wydajnie pracuje elektronika bazująca na procesorach krzemowych.

Korzystnie między płytą grzewczą a płytą rozpraszającą znajduje się pasta termoprzewodząca, która poprawia przechodzenie ciepła z płyty grzewczej na płytę rozpraszającą.

Płyta rozpraszająca umieszczona za pierwszą płytą grzewczą stanowi bufor, z którego pobierane wyniki służą do określenia temperatury, z pominięciem bezwładności elementu grzewczego. Mierzenie temperatury na płycie rozpraszającej służy do kontroli temperatury pracy urządzenia.

Płyta pomiarowa umieszczona jest jako ostatni element w urządzeniu. Płyta pomiarowa służy do badania temperatury jaka została przekazana z płyty rozpraszającej poprzez mierzoną pastę termoplastyczną znajdującą się w komorze płyty izolującej.

Sposób i urządzenie według wynalazku zostały bliżej wyjaśnione w poniższych przykładach oraz przedstawione na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia przepływ ciepła przez nieidealne powierzchnie materiałów, bez zastosowania pasty termoprzewodzącej; w takim przypadku rzeczywisty styk występuje tylko na wierzchołkach mających ze sobą bezpośredni styk, natomiast puste przestrzenie,

wypełnione powietrzem stanowią większy opór i wymuszają zwiększony przepływ ciepła przez punkty styku; Fig. 2 - przepływ ciepła przez nieidealne powierzchnie materiałów z zastosowaniem pasty termoprzewodzącej; powierzchnie materiałów zostały połączone przy użyciu dodatkowego spoiwa, które spowodowało rozłożenie powierzchni efektywnego przepływu ciepła przez materiał; Fig. 3 - nierówności powierzchni styku; Fig. 4 - nierówności powierzchni styku z zastosowaniem dodatkowego spoiwa, Fig. 5 - rzut izometryczny urządzenia do badania przewodnictwa cieplnego; Fig. 6 - rzut izometryczny z częściowym przekrojem urządzenia do badania przewodnictwa cieplnego; Fig. 7 - płytę grzewczą; Fig. 8 A - płytę rozpraszającą w rzucie z góry; Fig. 8 B - płytę rozpraszającą w przekroju poprzecznym; Fig. 8 C - płytę rozpraszającą w rzucie z izometrycznym; Fig. 9 A - płytę pomiarową w rzucie z góry; Fig. 9 B płytę pomiarową w przekroju poprzecznym; Fig. 10 A – płytę izolacyjną w rzucie z góry; Fig. 10 B – płytę izolacyjną w przekroju poprzecznym; Fig. 10 C – płytę izolacyjną w rzucie izometrycznym.

Przykład I.

Urządzenie do pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym składa się z trzech skręconych ze sobą śrubami płyt aluminiowych z aluminium 2017A/PA6, płyty grzewczej **1**, płyty rozpraszającej **2.1** i płyty pomiarowej **2.2**. Pomiędzy płytą rozpraszającą **2.1** a płytą pomiarową **2.2**. znajduje się płyta izolacyjna **3** wykonana z tworzywa sztucznego z PMMA (poli(metakrylan metylu)). Od góry do środka płyty każda z czterech płyt **1**, **2.1**, **2.2** i **3** posiada kanał na wprowadzenie czujników temperatury. W zewnętrznej ścianie płyty grzewczej **1** wykonane jest sfazowanie **6**, do którego zamocowana jest lampa halogenowa o mocy 50W. W płycie izolacyjnej **3** pośrodku wykonany jest przelotowy otwór tworzący komorę pomiarową **7**, która z obu stron zamknięta jest termoprzewodzącymi płytkami **8** z aluminium 2017A/PA6 o kształcie umożliwiającym szczelne zamknięcie komory pomiarowej **7**. Wewnątrz komory **7** znajduje się odpowiednia ilość mierzonej pasty termoprzewodzącej. Mierzona pasta termoprzewodząca wypełnia całą przestrzeń komory **7**. Płyta izolacyjna **3** wewnątrz ma pustą przestrzeń termoizolacyjną **12** otaczającą komorę pomiarową **7**, przy czym pustą przestrzeń termoizolacyjną **12** jest wypełniona pianką izolacyjną oraz zaklejona taśmą kaptonową, odporną na wysokie temperatury. Płyta pomiarowa **2.2** umieszczona jest jako ostatni element w urządzeniu.

Przykładowe przygotowanie urządzenia do pomiaru przewodnictwa cieplnego polega na tym, że należy usunąć z urządzenia czujniki temperatury, odkręcić nakrętki mocujące **9**, zdemontować sprężyny dociskowe **10** oraz śruby **11**. Płytę grzewczą **1** i płytę rozpraszającą **2.1** zostawić połączone, a rozłączyć płytę izolacyjną **3** i płytę pomiarową **2.2**. Następnie komorę pomiarową **7** zamknąć z jednej strony aluminiowym dyskiem **8** i nałożyć do niej materiał termoprzewodzący w postaci pasty. Po czym komorę **7** zamknąć przeciwległym dyskiem **8**, dociskając na tyle mocno, aby nadmiar pasty wypłynął kanałem **5.3**. Umieścić w płycie grzewczej **1** i płycie rozpraszającej **2.1** śruby mocujące **11**, następnie nałożyć na śruby płytę izolacyjną **3** i płytę pomiarową **2.2**. Złożyć wszystkie płyty **1**, **2.1**, **2.2** i **3** razem, nałożyć sprężyny dociskowe **10** oraz skrócić nakrętkami **9**. W kanałach pomiarowych **5.1**, **5.2.1**, **5.2.2**, **5.3** umieścić odpowiednie czujniki temperatury. Następnie podłączyć lampę do zasilania 230VAC oraz komputer urządzenia do zasilania 5VDC. Po czym można uruchomić pomiar poprzez oprogramowanie na komputerze lub zdalnie przez udostępnioną w sieci specjalną witrynę www.

Przykład II.

Urządzenie do pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym różni się od opisanego w przykładzie I tym, że między płytą grzewczą **1** a płytą rozpraszającą **2.1** wprowadzona jest pasta termoprzewodząca, która poprawia przechodzenie ciepła z płyty grzewczej **1** na płytę rozpraszającą **2.1**.

Przykład III.

Urządzenie do pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym różni się od opisanego w przykładzie I tym, że mierzona pasta termoprzewodząca podana jest do komory **7** płyty izolacyjnej **3** przez otwór **5.3** płyty izolacyjnej **3**, dzięki czemu nie ma konieczności rozbierania urządzenia na części przed dokonaniem pomiaru.

Przykład IV.

Sposób pomiaru przewodnictwa cieplnego w termoplastycznym materiale kontaktowym realizuje się za pomocą urządzenia składającego się z płyt przylegających do siebie w następującej kolejności: płyta grzewcza **1** przylega jedną ścianą do płyty rozpraszającej **2.1**, która przylega drugą ścianą do płyty izolacyjnej **3** wykonanej

z materiału termoizolacyjnego, która przylega drugą ścianą do płyty pomiarowej **2.2**, przy czym sposób polega na tym, że pastę termoprzewodzącą wprowadza się kanałem **5.3** do wnętrza komory pomiarowej **7** umiejscowionej w płycie izolacyjnej **3**, szczelnie zamkniętej po obu stronach termoprzewodzącymi aluminiowymi płytkami **8**, w taki sposób by pasta wypełniała całą wolną przestrzeń komory pomiarowej **7**. Płytkami **8** centruje się wprowadzoną do komory pomiarowej **7** pastę termoprzewodzącą, wyprowadzając jej ewentualny nadmiar na zewnątrz kanałem **5.3**. Następnie za pomocą promiennika termicznego w postaci lampy halogenowej, przyłożonego do centralnego sfazowania **6** na zewnętrznej ścianie płyty grzewczej **1**, generuje się ciepło, przechodzące poprzez bezpośredni kontakt na płytę rozpraszającą **2.1**, która równomiernie rozprowadza ciepło w całej swojej objętości, a następnie przekazuje ciepło poprzez mierzoną pastę termoprzewodzącą umieszczoną w komorze **7** płyty izolacyjnej **3** do płyty pomiarowej **2.2**. Za pomocą czujników temperatury mierzy się temperaturę co najmniej w płycie rozpraszającej **2.1** i w płycie pomiarowej **2.2**, a korzystnie również w płycie grzewczej **1** oraz płycie izolacyjnej **3** i przekazuje informacje z wynikami pomiarów do układu pomiarowego temperatury **13**, a następnie do układu obliczeniowego **14**, w którym wyznacza się deltę pomiędzy wartością temperatury zarejestrowaną przez czujnik umieszczony w płycie pomiarowej **2.2** względem płyty rozpraszającej **2.1** w czasie, i znanym sposobem oblicza się wartość przewodnictwa cieplnego.

Sposób oraz urządzenie według wynalazku mogą znaleźć zastosowanie w doborze materiałów kontaktowych w chłodnictwie, przemyśle komputerowym, telekomunikacyjnym, oświetleniowym do odprowadzania ciepła z diod SMD, motoryzacyjnym i innych.