

H01C 17/06 (2006.01)*H05K 3/12* (2006.01)*H05K 3/10* (2006.01)(19)
ČESKÁ
REPUBLIKAÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2020-110**
(22) Přihlášeno: **03.03.2020**
(40) Zveřejněno: **28.04.2021**
(Věstník č. 17/2021)
(47) Uděleno: **17.03.2021**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **28.04.2021**
(Věstník č. 17/2021)

(56) Relevantní dokumenty:
US 2019217529 A.; WO 2019109088 A.; US 2015197063 A.; US 2010181871 A.; WO 2015082179 A.,

(73) Majitel patentu:
Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, Jižní
Předměstí, CZ

(72) Původce:
doc. Ing. Jan Řeboun, Ph.D., Rokycany, Plzeňské
Předměstí, CZ
doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D., Chotěšov, CZ
Ing. Radek Soukup, Ph.D., Plzeň, Východní
Předměstí, CZ
Ing. Jiří Hlína, Předměstí, CZ
Ing. Silvan Pretl, Ph.D., Plzeň, Východní
Předměstí, CZ
Ing. Robert Vik, Ph.D., Město Touškov, CZ
Ing. Jiří Navrátil, Klatovy, Klatovy II, CZ

(74) Zástupce:
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Okružní
2824, 370 01 České Budějovice, České Budějovice
3

(54) Název vynálezu:
**Způsob výroby rezistoru pro výkonové
aplikace**

(57) Anotace:
K výrobě rezistoru na keramickém substrátu se využívá technologie AerosolJet tisk, čímž se zjednodušuje proces výroby spojením vypalování rezistoru a vypalováním elektricky vodivých motivů na keramickém substrátu na pouhé jediné vypalování při teplotách v rozmezí od 650 °C do 960 °C v jednotné atmosféře.

Způsob výroby rezistoru pro výkonové aplikace

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu výroby rezistoru ze slitiny mědi a niklu pro výkonové aplikace kompatibilního s měděnými propojovacími motivy.

10

Dosavadní stav techniky

Výkonová elektronika je v dnešní době velice intenzivně rozvíjejícím se technickým oborem, jehož zaměřením je efektivní řízení toku elektrického výkonu, který se používá k napájení širokého spektra spotřebičů. Úkolem výkonových aplikací spadajících pod tento technický obor je přeměna, řízení a úprava elektrického výkonu prostřednictvím elektrického zařízení, přičemž přeměna znamená změnu alespoň jedné charakteristické veličiny výkonového systému pomocí elektronických spínacích součástek bez výrazně vyššího ztrátového výkonu. Ukázkou technického řešení modulu týkajícího se výkonové elektroniky je, např. obsah dokumentu CZ 32915 U1.

Zařízení výkonové elektroniky lze zpravidla obecně popsat technickými znaky, mezi které patří nosný substrát, jenž poskytuje nosnou oporu elektronickým součástkám, a navíc může sloužit k vedení ztrátového tepla, dále elektronické součástky, jejichž úkolem je splnit cíl výkonové aplikace, a jako neposlední v řadě elektricky vodivé motivy, jež jsou vytvořeny na alespoň jedné z ploch substrátu a slouží jako propojovací dráhy elektrické energie mezi elektronickými součástkami.

Jedním z přístupů, jak vyrábět moduly pro výkonové aplikace je pomocí tisku. Elektricky vodivý motiv nebo pasivní elektronické součástky jsou natištěny metodou InkJet přímo na plochu substrátu. Příkladem takového řešení je vynález z dokumentu WO 2006/076607 A1, který prezentuje výrobu elektroniky pomocí tisku.

Nedostatkem dosavadního stavu techniky je absence tištěných rezistorů s nízkým teplotním součinitelem odporu, neboť jsou známé tištěné tlustovrstvé rezistory zpravidla tvořeny materiálem, který je nevhodný pro výpal v redukční či inertní atmosféře, jenž je potřeba uskutečnit pro vypálení měděných vodivých motivů. Z těchto důvodů vzniká problém s náročným několika krokovým procesem výroby, jenž je komplikován vzájemným vyloučením výpalu vodivých motivů a pasivních elektronických součástek v oxidační, nebo v inertní, vypalovací atmosféře. Výpal v jednom typu atmosféry poškozuje ty součásti výkonového modulu, které potřebují výpal ve druhém typu atmosféry.

40

Výše uvedený problém se snaží řešit vynález z dokumentu US 4316920 B, který prezentuje metodu výroby tlustovrstvých rezistorů a jejich výpal na měděných vodivých motivech. Nevýhody vynálezu spočívají v tom, že je proces výroby opět zdlouhavý a procesně náročný, že použité materiály obsahují pojivové částice, které mají vliv na chování elektronické součástky při průchodu elektrického proudu a při působení odpadního tepla.

45

Úkolem vynálezu je vytvořit způsob výroby rezistoru pro výkonové aplikace, jenž by umožňoval vyrábět rezistory s elektricky vodivými měděnými motivy jediným výpalem, jenž by umožňoval vyrábět rezistory s nízkým teplotním součinitelem odporu, a jenž by umožňoval vyrábět rezistory s čistým prvkovým složením bez přítomnosti pojiv, a který by byl rychlý, vhodný pro nasazení v masové výrobě a který by byl ekonomicky výhodný.

50

Podstata vynálezu

Vytčený úkol je vyřešen vytvořením způsobu výroby rezistoru pro výkonové aplikace podle níže uvedeného vynálezu.

V rámci způsobu výroby rezistoru pro výkonové aplikace se na keramickém substrátu modulu výkonové elektroniky vytvoří elektricky vodivé motivy a alespoň jedna pasivní elektronická součástka.

Podstata vynálezu spočívá v následujících postupových krocích:

- a) na keramický substrát se natisknou polotovary elektricky vodivých motivů pastou či inkoustem na bázi dispergovaných měděných částic,
 - b) na keramický substrát se technologií AerosolJet s inkoustem na bázi dispergovaných částic mědi a niklu, nebo z konstantanu, natiskne alespoň jeden polotovar rezistoru,
 - c) polotovary se vypálí v inertní atmosféře při teplotě v rozmezí od 650 °C do 960 °C,
- přičemž postupové kroky a) a b) jsou z hlediska pořadí libovolně zaměnitelné.

Mezi největší přínosy vynálezu patří zkrácení a zjednodušení procesu výroby, v rámci kterého je možné polotovary měděných elektricky vodivých motivů a polotovary rezistorů vypalovat současně za stejných teplotních a chemických podmínek. Nejenom, že je proces výroby rychlejší, ale rovněž se ušetří náklady za energie a náklady za plyn pro navození inertní atmosféry. Navíc umožnění výpalu od teploty 650 °C vede k tomu, že se částice v polotovarech rezistorů slinou, čímž výsledné produkty vykazují dostatečnou pevnost, přilnavost a požadovanou elektrickou vodivost bez přidaného pojiva, což je výhodné, neboť absence pojiva neovlivňuje elektrické vlastnosti produktů.

Dalším z přínosů vynálezu je libovolná zaměnitelnost postupových kroků a) a b), která vede k tomu, že je možné navrhovat komplikované motivy a návrhy výkonových aplikací, které dříve nepřicházely v úvahu, a navíc libovolnost postupových kroků a) a b) vede k efektivnějšímu nasazení v masové výrobě, neboť jeden tiskací stroj nemusí čekat na dokončení práce druhého tiskacího stroje, ale mohou pracovat současně, s tím, že se rozpracované výrobky posléze prohodí. Výhoda zaměnitelnosti pramení z technologie AerosolJet, která umožňuje aplikovat aerosol s částicemi mědi a niklu, nebo konstantanu, ze vzdálenosti až 5 mm, aniž by docházelo k roztékání polotovaru, přičemž kvalitně překryje nerovnosti tvořené elektricky vodivými motivy, či případně jinými elektronickými součástkami.

Další výhodou vynálezu je skutečnost, že tiskem pomocí AerosolJet vznikne rezistor, který má malou tloušťkou a velkou styčnou plochu spojenou se substrátem, čímž je tak zajištěn kvalitní odvod ztrátového tepla, které vzniká průchodem proudu přes takto připravený rezistor. Rezistor vyrobený podle vynálezu se tedy během své činnosti nepřehřívá.

V rámci vynalezeného způsobu je výhodné, pokud se během postupového kroku a) použije síťotisk. Tato technologie tisku dokáže pokrýt velké plochy v krátkém čase, což je ideální pro záměr vynálezu, neboť elektricky vodivé motivy zabírají z pohledu plochy mnohem více obsahu než rezistory.

Dále může být v rámci vynalezeného způsobu výhodné, pokud inkoust v rámci postupového kroku b) obsahuje částice mědi a niklu v poměru od 45 % do 55 % niklu. Takto vhodně zvolený poměr obsahu částic vede při spékání v rámci postupového kroku c) ke vzniku slitiny konstantan, která

má vynikající provozní charakteristiky v elektronických aplikacích díky nízkému teplotnímu součiniteli odporu.

5 Rovněž může být v rámci vynalezeného způsobu výhodné, pokud se během postupového kroku b) použijí nanočástice. Nanočástice se velice dobře slinují, navíc při dopadu na plochu substrátu, či při dopadu na polotovar elektricky vodivých motivů, dobře přilnou a nepotřebují další pojiva. Je rovněž nezpochybnitelné, že díky jemnosti nanočástic je vznik defektů v polotovaru rezistoru způsobených nehomogenitou dopadové plochy velice ojedinělým jevem.

10 Jako poslední, ale neméně výhodné, může být v rámci vynálezu to, že se přesná nominální hodnota odporu rezistoru po postupovém kroku c) nastaví laserovým trimováním. Ačkoliv technologie AerosolJet umožňuje natisknout rezistor s relativně přesnou tloušťkou, je možné nominální hodnotu odporu ještě zpřesnit pomocí laserového trimování, a to zejména u snímacích odporů a tzv. „shunt“ odporů.

15 Mezi výhody vynálezu se řadí levná a rychlá výroba vhodná pro masové nasazení, dále přesnost a stabilita takto vyrobených výrobků, kvalita elektrických parametrů, díky absenci pojiv v rezistorech. Navíc v případě použití nanočástic v inkoustu výrobu zlevňuje to, že není nutné do inkoustu vyrábět přímo nanočástice konstantanu, které by se zdlouhavě, drazé a složitě získávaly mletím, ale že je možné chemicky připravit nanočástice mědi a niklu, které se při vypalování od 20 650 °C slinou do formy konstantanu.

Objasnění výkresů

25 Uvedený vynález bude blíže objasněn na následujících vyobrazeních, kde:

obr. 1 znázorňuje způsob výroby tištěného výkonového rezistoru pomocí odporového inkoustu obsahujícího Cu a Ni nanočástice, které jsou natištěny na substrát až po tisku elektricky 30 vodivých motivů,

obr. 2 znázorňuje způsob výroby tištěného výkonového rezistoru pomocí odporového inkoustu obsahujícího konstantanové nanočástice s poměrem 45:55 (Ni:Cu), které jsou natištěny na substrát před tiskem elektricky vodivých motivů. 35

Příklad uskutečnění vynálezu

40 Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní případy uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoliv jako omezení vynálezu na uvedené příklady. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zajistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde popsána.

45 Za pomoci vynálezu byly dále uvedeným postupem vyrobeny testovací moduly pro výkonovou elektroniku.

Na keramický substrát 1 byly natištěny polotovary elektricky vodivých motivů pastou 2, či inkoustem 2, na bázi dispergovaných měděných částic 4. Dále se na keramický substrát 1 50 technologií AerosolJet s inkoustem 3 na bázi dispergovaných částic 4 a 5 mědi a niklu, nebo z částic 8 konstantanu, natiskly polotovary rezistorů. Pořadí, v jakém byly polotovary natištěny, bylo libovolné. Posléze se polotovary vypálili v inertní atmosféře, aby z polotovarů vznikly vypálené vrstvy 9, 10, 11 tvořící rezistory a elektricky vodivé motivy.

55 Moduly měly keramické substráty 1 o rozměrech 10 cm x 10 cm. Elektricky vodivé motivy byly navrženy pro zkušební přenosy odlišných hladin elektrického výkonu, včetně návrhu elektrod

pro napojení rezistorů vyrobených vynalezeným způsobem. Elektricky vodivé motivy byly měděné a byly tisknuty pomocí technologie sitotisku.

- 5 K výrobě rezistorů byly použity inkousty 3 pro nasazení v technologii AerosolJet se známým poměrem obsahu částic 4 a 5 Ni a Cu a se známým rozmezím rozměru použitých částic. Složky inkoustu tvoří částice kovů a stabilizační kapalina, která zabraňuje shlukování částic kovů, a která se po tisku odpaří. Tloušťka rezistorů byla postupně volena z rozmezí od 500 nm do 10 μm . Polotovary rezistorů byly natištěny na substrát 1 vzorku před tiskem elektricky vodivých motivů, a dále byly polotovary rezistorů natištěny na substrát 1 vzorku po tisku elektricky vodivých motivů.
- 10 Posléze byly všechny polotovary rezistorů společně vypáleny v inertní atmosféře dusíku, přičemž vypalovací teplota byla na termostatu nastavena na 950 °C.

Při kontrole zkušebně vyrobených rezistorů bylo zjištěno následující:

číslo inkoustu	obsah Cu [%]	obsah Ni [%]	rozměry částic	homogenita struktury rezistoru	teplotní součinitel odporu [10^{-3} K^{-1}]
1	50	50	jednotky nm	homogenní	0,08
2	50	50	desítky nm	homogenní	0,08
3	45	55	jednotky nm	homogenní	0,10
4	45	55	desítky nm	homogenní	0,10
5	55	45	jednotky nm	homogenní	0,05
6	55	45	desítky nm	homogenní	0,05

- 15 Dále byl vyzkoušen inkoust 7 s nanočásticemi 8 konstantanu, jenž byl tvořen složkami Ni a Cu s poměrem 45:55 (Ni:Cu). Konstantan byl pro použití v inkoustu 7 namletý na mix nanočástic 8 s velikostí v řádech jednotek a desítek nanometrů. Při strukturálním zkoumání rezistoru byla struktura posouzena, jako homogenní, a naměřený teplotní součinitel odporu byl 0,00005 K^{-1} .

- 20 Dále byly provedeny úspěšné experimenty s úpravou odporu rezistoru pomocí odebrání materiálu laserovým trimováním pro vznik vrstvy 12, kdy byla změněna hodnota odporu testovacího rezistoru ze 652 $\text{m}\Omega$ na 680 $\text{m}\Omega$.

25 Průmyslová využitelnost

Způsob výroby rezistoru pro výkonové aplikace podle vynálezu nalezne uplatnění v masové produkci elektronických součástek a modulů pro výkonovou elektroniku.

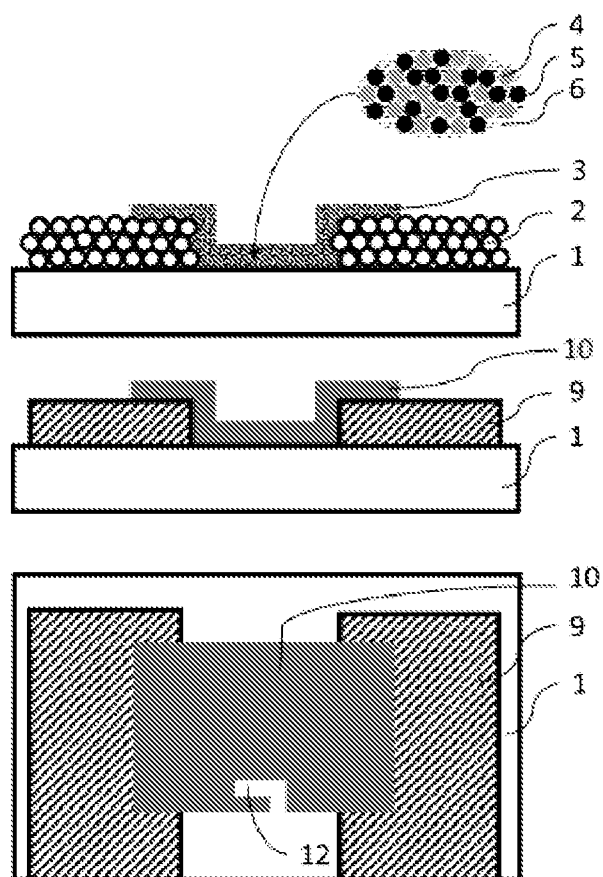
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob výroby rezistoru pro výkonové aplikace v rámci kterého, se na keramickém substrátu modulu výkonové elektroniky vytvoří elektricky vodivé motivy a alespoň jedna pasivní elektronická součástka, **vyznačující se tím**, že je tvořen postupovými kroky:
- a) na keramický substrát se natisknou polotovary elektricky vodivých motivů pastou či inkoustem na bázi dispergovaných měděných částic,
 - b) na keramický substrát se technologií AerosolJet s inkoustem na bázi dispergovaných částic mědi a niklu, nebo z konstantanu natiskne alespoň jeden polotovar rezistoru,
 - c) polotovary se vypálí v inertní atmosféře při teplotě v rozmezí od 650 °C do 960 °C,
- přičemž postupové kroky a) a b) jsou z hlediska pořadí libovolně zaměnitelné.
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že v rámci postupového kroku a) se použije síťotisk.
3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že v rámci postupového kroku b) obsahuje inkoust částice mědi a niklu v poměru od 45 % do 55 % niklu.
4. Způsob podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že v rámci postupového kroku b) se použijí nanočástice.
5. Způsob podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že přesná nominální hodnota odporu rezistoru se po postupovém kroku c) nastaví laserovým trimováním.

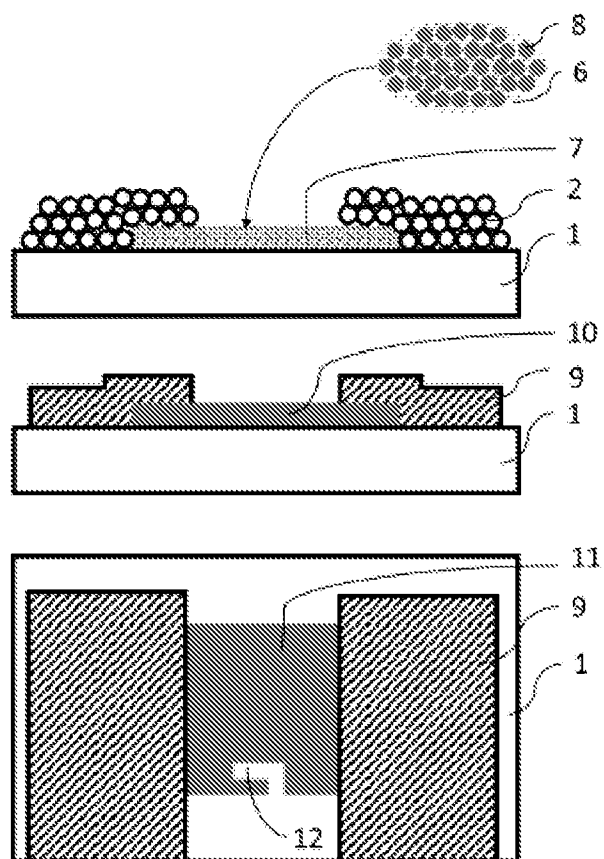
2 výkresy

Seznam vztahových značek

- 1 keramický substrát
- 2 tištěná měděná pasta / inkoust
- 3 tištěný inkoust obsahující Cu a Ni nanočástice
- 4 Cu nanočástice
- 5 Ni nanočástice
- 6 rozpouštědlo (nebo dispergační činidlo)
- 7 tištěný konstantanový inkoust
- 8 konstantanové nanočástice
- 9 vypálená Cu vrstva
- 10 vypálená Cu/Ni vrstva
- 11 vypálená konstantanová vrstva
- 12 laserově natrimovaná odporová vrstva



Obr. 1



Obr. 2