

ERFINDUNGSMELDUNG

An die
Kanzlerin
der Technischen Hochschule Ingolstadt
Esplanade 10
85049 Ingolstadt

Ingolstadt, den 12.04.2019

wird von der Technischen Hochschule Ingolstadt ausgefüllt:	
eingegangen am:	4.7.22
schriftliche Eingangsbestätigung verschickt am:	19.7.22
Mitteilung über Unvollständigkeit am:	
Ablauf der 4-Monatsfrist zur Inanspruchnahme am:	4.11.22 !
Ablauf der 2-Monatsfrist zur Anmeldung am:	5.9.22
Entscheidung über Freigabe oder Inanspruchnahme erfolgte am:	

Nur verschlossen und gesondert versenden!

1. Bezeichnung der Erfindung

Low temperature Cu metallization using water based Cu formate ink on different substrates

2. Anlagen

Folgende Unterlagen liegen der Erfindungsmeldung bei:

- ☒ Seiten Beschreibung der Erfindung inkl. Skizzen/ Zeichnungen
- ☐ Erklärung des Laborleiters
- ☐ eigene Arbeiten/ Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Erfindung
- ☐ Fundstellen zum Stand der Technik (Prospekte, Publikationen etc.)
- ☐

3. An der Erfindung sind als Erfinder beteiligt:

Für jeden Erfinder bitte eine Spalte benutzen. Geben Sie hier bitte auch externe Miterfinder oder freie Erfinder an (Angaben soweit bekannt). Bei mehr als drei Erfindern, die erforderlichen Angaben auf einem getrennten Blatt beifügen und unter Punkt 2 vermerken. Als Erfinder gilt derjenige, der einen eigenständigen Beitrag zur Erfindung leistet („Geistesblitz“!!);

Ich melde die in Abschnitt 1 genannte Erfindung (Unterschrift auf Seite 4 !)

	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Ja
1 Name	Gordon	Bhogaraju	Mohan	Sacson
2 Vorname	Elger	Sri Krishna	Nihesh	Rodolfo
3 Titel / akad. Grad	Prof. Dr			
4 Staats- angehörigkeit	Deutsch	Indisch	Indisch	Italien
5 Privat -anschrift:	Erhartstrasse 12 85053 Ingolstadt	Felsenstraße 12, 85055, Ingolstadt	Neuburger Straße 86, 85049, Ingolstadt	Ettinger Straße 15c, 85057, Ingolstadt
6 - telefon:	084112894780	017689083993	017645773722	+393319509847

Angaben über die Tätigkeit zum Zeitpunkt der Erfindung

7 Beruf (Schlosser, Biologe etc.)	Physiker	Ingenieur	Ingenieur	Chemiker
8 Dienst -anschrift:	Esplanade 10 85049 Ingolstadt	Esplanade 10 85049 Ingolstadt	Esplanade 10 85049 Ingolstadt	Esplanade 10 85049 Ingolstadt
9 -telefon:	08419348284	0841 / 9348- 6449	0841 / 9348- 6457	0841 / 9348-2842
10 Dienststellung (Professor, Wiss. Assistent, Wiss. Mitarbeiter, Doktorand, Diplomand, Techniker etc.)	Professor	Wiss. Mitarbeiter	Wiss. Mitarbeiter	Wiss. Mitarbeiter
11 Art der Beschäfti- gung (Beamtenverhältnis, Arbeitsvertrag als Wiss. Mitarbeiter/ Hilfskraft, Werkvertrag, Lehrauftrag etc.)	Beamter	Arbeitsvertrag als Wiss. Mitarbeiter	Arbeitsvertrag als Wiss. Mitarbeiter	Arbeitsvertrag als Wiss. Mitarbeiter
12 Beginn des Arbeitsverhältniss es	1.3.2013	1.1.2018	15.11.2020	01.09.2021

4. Zustandekommen der Erfindung

13 Anteil an der Erfindung	10%	30%	30%	30%
14 Die Erfindung liegt auf meinem Arbeits- gebiet.	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
15 Die Aufgabe, die zur Erfindung führte, wurde mir gestellt (z.B. Drittmittelprojekt)	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein
16 Die Erfindung entstand in der Nebentätigkeit	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein
17 In der Nebentätigkeit wurden Einrichtungen Personal und Material der THI verwendet	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein

4.1 Wie kam es zu der Erfindung? Durch eigene Erfahrung? (z.B.: Hinweise durch Mitarbeiter, persönliche Erfahrung, Problemstellung am Rande des eigentlichen Forschungsprojekts?...)

As part of experiments concerning development of Cu based inks for additive manufacturing (by drop deposition) for In-mold electronics - ADDIRA.

4.2 Welche Erfahrungen der THI bzw. des Labors waren bereits vorhanden?

The experience has been built up through as part of ongoing Cu based ink development for printed electronic and additive manufacturing applications

4.3 Zeitpunkt der Erfindung? Wann genau kam es zu der Erfindung (Monat/Jahr)? Hier zählt der Zeitpunkt des „Geistesblitzes“.

March 2022

4.4 Entstand die Erfindung im Rahmen eines Forschungs-/Drittmittelprojektes? Welches?
Legen Sie evtl. eine Kopie des Projekt-/Forschungsantrags bei.

Ja, und ADDIRA

4.5 Waren neben den genannten Erfindern andere wissenschaftliche oder technische Mitarbeiter an der Ausarbeitung / Ausführung der Erfindung beteiligt? Welche?
(z.B. Werkstatt, Diplomand, jedoch kein eigenständiger Anteil an der Erfindung)

Keine.

4.5 Liegt die Erfindung auf dem Arbeitsgebiet eines anderen Labors der Technischen Hochschule Ingolstadt (THI)?

Nein.

5. Beschreibung der Erfindung Diesem Formular füge(n) ich/wir eine Beschreibung der Erfindung bei, in der die Erfindung vollständig offenbart wird (siehe Punkt 2).

HINWEIS: Die vollständige und umfassende Darstellung ist wichtig, da nach Einreichen einer Patentanmeldung beim Deutschen Patentamt keine Erweiterung mehr möglich ist. Auch eine Freigabe der Erfindung durch die THI erstreckt sich nur auf das, was als Erfindung gemeldet wurde. Die THI wird die eingereichten Unterlagen vertraulich behandeln.

Umfang:

- ☐ ca. 4 DIN A4-Seiten, bei Bedarf auch mehr
- ☐ Zeichnungen, Pläne, Skizzen, evtl. wichtige Laboraufzeichnungen
- ☐ evtl. Kopien wichtiger Fundstellen zum Stand der Technik
- ☐ evtl. eigene Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Erfindung
- ☐ evtl. Kopie des Forschungsantrages

Inhalt:

- ☐ Technische Aufgabe:
- ☐ Um welches technische Gebiet handelt es sich?
- ☐ Welchen Stand der Technik kennen Sie?
- ☐ Welche technischen Probleme oder Nachteile, die Ihre Erfindung beheben soll, gibt es dabei?
- ☐ Welche bisherige Lösungsversuche gab es dazu?
- ☐ Welche Aufgabe liegt also letztendlich Ihrer Erfindung zugrunde?

Technische Lösung:

- ☐ Wie wird das technische Problem durch Ihre Erfindung gelöst?
 - ➔ Angabe der technischen Mittel, Beschreibung der Erfindung!
 - ➔ Ausführungsbeispiel, Skizzen und sonstige Aufzeichnungen beifügen!
- ☐ Welche Vorteile gegenüber dem Stand der Technik ergeben sich durch die Erfindung?
- ☐ Worin ist **das wesentliche Neue** zu sehen?

6. Stand der Entwicklung Wo wurde die Erfindung bereits erprobt? (Versuche, Muster, Prototypen?) Oder ist dies noch geplant? Geben Sie nach Möglichkeit einen Zeitplan an!

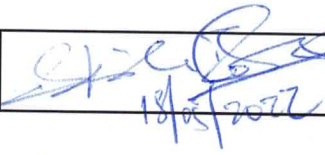
7. Vorveröffentlichung von Teilen der Erfindung: Ist die Erfindung bereits in irgendeiner Weise der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden (schriftlich oder mündlich, Seminarvorträge, Führung, Messe, Ausstellung...)? Der Kern der Erfindung, also der erfinderische Gehalt, darf vor einer Patentanmeldung beim Patentamt weltweit noch nie veröffentlicht worden sein (auch nicht von Ihnen). Halten Sie geplante Publikationen, die Verteilung von Diplomarbeiten oder Dissertationen sowie Fachvorträge zurück! Legen Sie u.U. ein Manuskript geplanter Veröffentlichungen bei.

8a. Verwertung der Erfindung - Wo sehen Sie Anwendungsmöglichkeiten für Ihre Erfindung?
Mögliche Branchen? Firmen? Gibt es Industriekontakte? Wieviel wurde dabei offenbart?

8b. Gibt es bereits Interessenten für Ihre Erfindung? Welche?
Kontaktierte Firmen, Kooperationspartner?

9. Wird beabsichtigt die Erfindung oder Teile davon zu veröffentlichen? Wann?

ERKLÄRUNG: Meines Wissens ist neben den unter Punkt 3 genannten Personen niemand als Erfinder an der Erfindung beteiligt.
Die Erfindung habe ich vollständig und umfassend beschrieben.
Mir ist bekannt, dass alle Veröffentlichungen der Erfindung und alle Mitteilungen an Außenstehende, die nicht zur Geheimhaltung verpflichtet sind, die Erteilung eines Schutzrechtes verhindern und deshalb zu unterbleiben haben.
Bis zu einer Freigabe durch die Technische Hochschule Ingolstadt darf ich in keiner Weise über die Erfindung verfügen.

 16.5.2022 Datum, Unterschrift	 18/05/2022 Datum, Unterschrift	 NIHESH MOHAN 18/05/22 Datum, Unterschrift	 18/05/22 Datum, Unterschrift
---	--	---	--

Erklärung des Laborleiters bzw. Vorgesetzten

zur Erfindungsmeldung vom 17.5.2022 zum Thema Low temperature Cu metallization using Cu-ferrous water based ink on different substrates
(Datum) (Kurzbezeichnung)

Für die Bewertung der rechtlichen und vertraglichen Rahmenbedingungen wird um die Beantwortung der folgenden Fragen gebeten:

1. Entstand die Erfindung im Rahmen von Drittmittelprojekten? (z.B. SFB, DFG, BMBF, BITÖK, EG, Industriekooperation)

☐ Nein

☒ Ja - Bitte genauere Angaben, Bezeichnung der Projekte und Verträge:

Addira

2. Sind besondere, für die Erfindung aufgewandte Mittel, u.U. aus Rückflüssen zurückzufordern? In welcher Höhe?

Besondere materielle oder finanzielle Ressourcen, welche für die Erfindung aufgewandt wurden (z.B. Prototypenbau in der Werkstatt, spezielle Anschaffungen)

Nein

3. Soll die Erfindung in Anspruch genommen werden? Begründung?

☒ Ja, die Erfindung soll von der Technischen Hochschule Ingolstadt in Anspruch genommen und zum Patent angemeldet werden

☐ Nein,

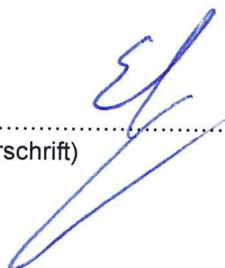
4. Die Angaben in der Erfindungsmeldung wurden überprüft und erscheinen einwandfrei.

Ingolstadt

~~16.5.2022~~

den 16.5.2022

(Unterschrift)



Inventors

Gordon Elger, Nihesh Mohan, Sri Krishna Bhogaraju, Rodolfo Saccon

Field

Microelectronic packaging, High power electronics packaging

Abstract

The patent covers the process of low temperature Cu metallization using water based Cu formate ink on different substrates.

The invention contains:

- 1) A novel method of low temperature Cu metallization on different substrates such as alumina (ceramic), Cu foil and polyimide. An ultra-thin copper nanoparticle layer is deposited through copper mist.
- 2) For this preparation, a novel method of spraying a water based copper formate ink through an atomizer was investigated. It was then used to deposit the ultra-thin copper nanoparticle layer onto the substrates.

Background, State of the Art, and inventive step

New packaging materials and cost efficient manufacturing processes needs to be developed to tackle the challenges in the field of assembly and bonding technology because of the need for operating at higher temperatures as well as the required advancements in miniaturization of microelectronics. Industries relying on high-temperature microelectronics especially automotive industry(in areas of power electronics and e-mobility) require electrical components and interconnects to work under harsh operating conditions. Die-attach bonding is a key process to realize high-temperature operation of power semiconductor devices. High Pb solders has been a preferred and well established choice over the past decades, however strict Restriction of Hazardous Substances Directive regulations mean that the usage of high Pb solders is highly restricted and the few exceptions that exist today are also foreseen to be banned in the near future. With the increase in the usage of WBG semiconductor devices, it is imperative to find sustainable and reliable alternatives both on the economical and the technical fronts. Interconnect materials and technologies need to be able to fulfill the challenging requirements of the WBG semiconductor devices and at the same time be economical to realize mass production.

Currently, there are two established methods to produce high-temperature bonds while benefiting the comparatively low-temperature bonding temperature: transient liquid phase (TLP) bonding and particle sintering. Although various studies reported successful production of an in-situ phase with a higher re-melting point thermo-mechanical fracture behavior of TLP bonded joint appeared to have a major drawback. That is due to microstructure of the TLP bonded joint as it is made of brittle intermetallic compounds (IMCs). However, for the case of particle sintering, there are promising reports that suggest Ag-sintered joint as a candidate for high-temperature WBG applications. During sintering, it is possible to realize a connection, which consists of one metal throughout. Beside the high thermal conductivity of the material the advantage is that the interconnect is established at relative low temperature (250°C) but is stable at higher temperature (over 300°C). However, sintered Ag particles have its own

drawbacks; high cost and low-electromigration resistance. Copper sintering offers the next best alternative. Copper is ~100 times cheaper than silver and more abundant and easily available. It has a lower co-efficient of thermal expansion than silver and has nearly the same electrical and thermal conductivities. However, the higher melting point of copper means that, the sintering temperatures are also slightly higher than in case of silver. Further the affinity to oxidize quickly under atmosphere is a major drawback while using copper as this is detrimental to the mechanical (shear strength) and thermal integrity of the joint.

In recent years, there has been rapid development and commercialization of metal nanoparticles (NPs) based inks owing to its high metal loading content and good electrical conductivity. There are many commercial Cu NPs inks available in the market with their prices ranging from 175-250€/ 100 ml. However, these inks tend to have a complex synthesis route and issues of agglomeration and storage at room temperature. They also have higher sintering temperature (>200°C) under reducing atmosphere (N₂, N₂-formic acid, H₂) reflow process with sintering time ranging from 30-60 minutes. Such sintering conditions are required for effective removal of capping agents around the nanoparticles which hinder the particle sintering and prevent the fabricated metal traces to achieve bulk resistivity closer to bulk copper (1.68 μΩcm). Alternatively, rising interest has been shown in development of Cu based particle free inks. Compared to conventional Cu nanoparticle inks, there is an in-situ Cu NPs generation after the decomposition of Cu salts. The Cu particle free inks are formed by mixing Cu salts containing Cu metal precursor, complexing agents that help in decreasing the decomposition temperature of the Cu salts and solvents that help in improving the properties of the ink related to printing purpose. These inks tend to have lower sintering temperature compared commercial nanoparticle inks for the reflow oven process. However, they have their own issues of low Cu metal content, complex ink design for inkjet printing and efficient degassing of organics is required during the sintering process to prevent trace inhomogeneities and bubble voids.

Based on our know-how from previous synthesis routes, we have come up with a novel formulation of water based Cu formate tetrahydrate ink. The ink has a facile and cheap synthesis route with solvent being primarily distilled water. Owing to low viscosity (3.5 mPa.s) and good wettability, the ink can easily inkjet and aerosol jet printed onto different substrates such as polyimide, Cu foil and ceramic.

The invention in general covers the aspect of realizing Cu metallization at lower temperature on different substrates such as alumina, polyimide and Cu foil using this novel water based Cu formate ink.

Claims

- 1) Novel method of spraying a water based copper formate ink through an atomizer (Cu mist):
 - Facile and easy synthesis of water based Cu ink.
 - Low viscosity ink with Cu metal content at 3.1 wt.% Cu suitable for an atomizer.
 - Faster sintering process under a reducing reflow oven process with good, sintered interconnects formed at 250°C in just 5 minutes having sheet resistance of 0.4 Ω/□.
- 2) Novel method of preparation of Cu-metallized Al oxide (ceramic) substrate by coating using Cu mist through an atomizer for die attach bonding process.

- 3) Novel method of preparation of Cu-metallized Cu foil substrate by coating using Cu mist through an atomizer for direct die attach bonding process (without applying a secondary Cu paste layer onto the metallized substrate)
- 4) Novel method of preparation of Cu-metallized polyimide substrate by coating using Cu mist through an atomizer for die attach bonding process.

Description of Claims

- 1) The solubility of Cu formate tetrahydrate in water in 125 g/L. Based on this value, 1 g of Cu formate tetrahydrate was dissolved in 8g of water for 5 minutes at 1000 rpm in a paste mixer. The obtained suspension was allowed to rest for a day under room temperature in a glass container. The obtained solution has a light blue appearance. The synthesis route is facile in comparison to other routes mentioned above. The estimated material cost of ink is projected at 7€/ 100 mL which is 25-35 times cheaper than commercial Cu NP inks. The ink can be inkjet and aerosol printed due to its low viscosity (3-4 mPa.s).

Comparison between water based Cu ink and other Cu ink synthesis method

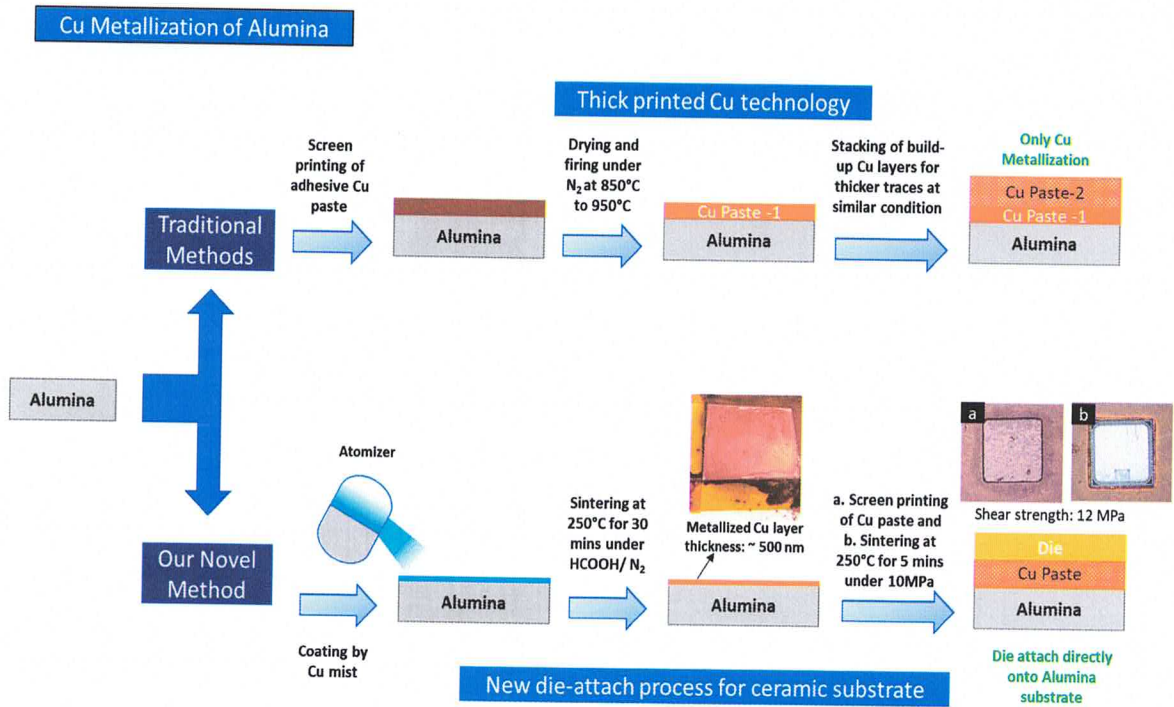
Property	Cu formate – water ink	Commercial Cu NPs ink	Cu complex ink
Cu metal content (wt.%)	3.1	20-40	5-10
Sintering temperature (°C)	250	250-300	100-250
Sintering time (min)	5	30-60	30-60
Atmosphere	formic acid enriched nitrogen		
Cost (in €/100 ml)	7	175-250	50-100
Storage	Room temperature	Refrigerated	Room temperature
Toxicity	Low	High	High
Sheet Resistance* (Ω/\square)	1.35	7.40	2.58
Adhesion	5B (polyimide) 4B (Ceramic) 4B (Cu foil)	4B (polyimide)	0 (polyimide)

*Sintered at 250°C for 5 minutes under formic acid enriched nitrogen atmosphere in batch reflow oven.

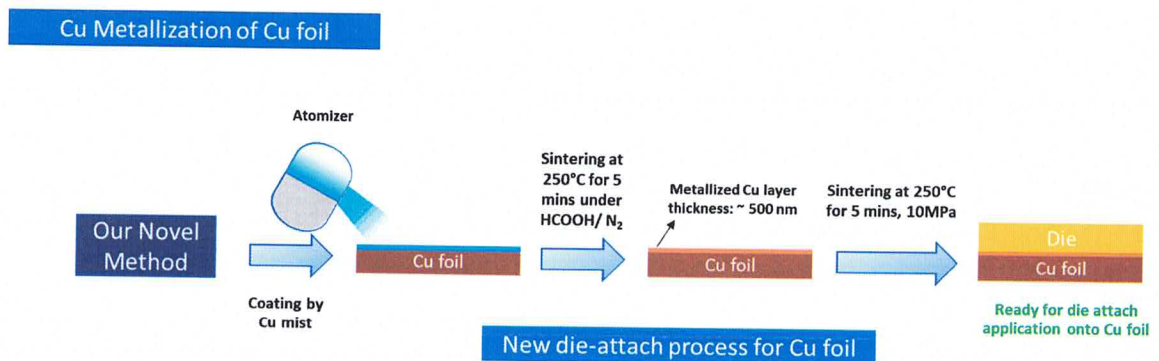
The sintering temperature is comparable to commercial nanoparticle inks. However, the sintering time using a reflow oven is shorter since our particle free Cu ink doesn't require capping agents which help in preventing agglomeration of NPs and provides oxidation protection. Another advantage compared to commercial Cu NPs inks is that nanoparticles are realized in-situ. When compared to experimental Cu complex ink, for same amount of Cu metal content, the sheet resistance is two times higher and provides a better adhesion to the substrate. Other issues observed was bubbling of Cu complex ink under faster sintering rate formed a discontinuous trace, leading poor patterning after sintering process. From the SEM analysis, the particles formed were in range of 40-100 nm and trace obtained looked very homogenous. Based on this, the

estimated trace thickness should be in the range of 150-200 nm which would put the bulk resistivity at 20-27 $\mu\Omega\text{cm}$ (~ 12 -16 times of bulk Cu). Based on the tape test, the sintered trace showed good adhesion on both polyimide and glass substrate.

- 2) A novel method of preparation of Cu-metallized Al oxide (ceramic) substrate by coating using Cu mist through an atomizer for die attach bonding process was developed. An ultra-thin copper nanoparticle layer is deposited through copper mist at a lower temperature, which has a good adhesion to the ceramic substrate.

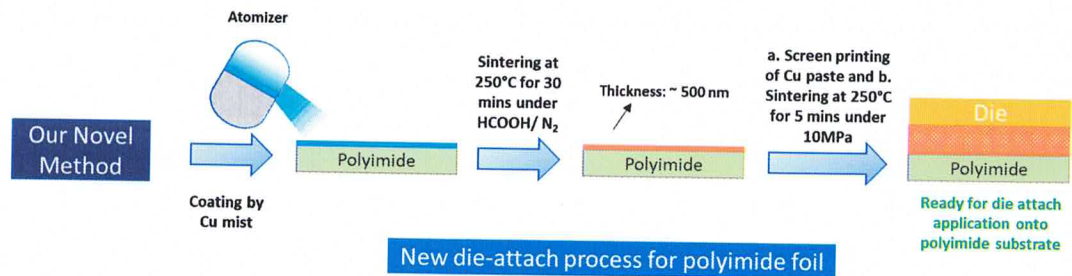


- 3) A novel method of preparation of Cu-metallized Cu foil substrate by coating using Cu mist through an atomizer for direct die attach bonding process (without applying a secondary Cu paste layer onto the metallized substrate).



- 4) A novel method of preparation of Cu-metallized polyimide substrate by coating using Cu mist through an atomizer for die attach bonding process. In case of polyimide, the same ink was mixed with Byk 333, a surfactant used to improve the wetting on the substrate and help in getting the best adhesion (5B) rating compared to other substrates.

Cu Metallization of polyimide foil



Composition of the copper sinter paste

The composition of the water based Cu formate tetrahydrate ink consists of salt to water in a ratio of 1:8, with Cu metal wt. % at 3.1.

Application / Use / Potential:

- Die attach application
- Printed Electronics

Langer, Nina

Von: Mohan, Nihesh
Gesendet: Freitag, 8. Juli 2022 17:15
An: Langer, Nina
Cc: Bhogaraju, Sri Krishna
Betreff: ADDIRA Project details

Kennzeichnung: Flag for follow up
Kennzeichnungsstatus: Gekennzeichnet

Dear Ms. Langer,

Here are the project details of ADDIRA, which you will need to add cost for the patent application.

booking data

Extension 2057324
Chapter 1548
Title 54772
Budget number 000 2057324
Level 1 111
Level 2 75
Level 3 5700737

KLR data

KLR procedure 123456
Company code 1548
Cost element 61180 for domestic business trips / 61181 for business trips abroad
Cost center 7500000
Payer 2057324
KLR-Info 1 123456
KLR-Info 2 123456

Kind regards/ Mit freundlichen Grüßen
Nihesh Mohan

Research Associate/ Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institute of Innovative Mobility (IIMo)



Technische Hochschule
Ingolstadt

Esplanade 10, D-85049 Ingolstadt
Tel +49 841 9348-6457
Nihesh.Mohan@thi.de