

KURZBERICHT

Inkjet-Druck von Pd-Keimen als Aktivator für die außenstromlose Metallisierung zur volladditiven Herstellung von Leiterbahnstrukturen

Motivation

Grundvoraussetzung für Schaltungsträger aller Art sind Technologien zur selektiven Metallisierung von Bauteilen aus Kunststoff, Verbundwerkstoffen oder Keramik. Die meistverbreitete Herstellung von Schaltungsträgern beschränkt sich auf subtraktive Verfahren. Lithographie- und ätzbasierte Herstellungsprozesse sind zwar weit etabliert, es sind aber lange und ressourcenaufwändige Prozessketten bis zur fertigen Leiterplatte notwendig. Alternative Prozessrouten bilden beispielsweise die Drucktechnik mit Metalltinten oder die LDS-Technologie (Laserdirektstrukturierung in Kombination mit stromloser Metallisierung) von gefüllten Thermoplasten. Der Inkjet-Druck ist ein einfaches und schnelles Verfahren zum Aufbringen von Metallstrukturen, diese müssen aber nach dem Drucken gesintert werden, zudem weisen die Strukturen eine geringe Leitfähigkeit und schlechte Lötbarkeit auf. In der MID-Technik sind zwar mittlerweile eine ganze Reihe an unterschiedlichen Thermoplasten für die Laserstrukturierung verfügbar, allerdings sind z.B. transparente Thermoplaste und industrierelevante Hochleistungsthermoplaste mit dieser Technologie nicht selektiv metallisierbar. Im geplanten Projekt soll daher ein Verfahren entwickelt werden, welches die Vorteile des digitalen Funktionsdrucks mit denen der voll additiven außenstromlosen Metallisierung kombiniert.

Kombiniertes Verfahren

Beim kombinierten Verfahren wird der für die außenstromlose Metallisierung erforderliche Pd-Aktivator mittels Inkjet-Druck definiert aufgebracht. Nach der Trocknung erfolgt die Metallisierung, die nur auf den mit Pd-Keimen bedruckten Bereichen stattfindet (Abb. 1). Auf diese Weise werden volladditiv Leiterbahnstrukturen auf Kunststoffsubstraten erzeugt. Strukturhöhen von mehreren Mikrometern sind möglich. Damit verbunden sind hohe Stromtragfähigkeiten und gute Lötbarkeiten.

Als Substratmaterialien standen vor allem temperatursensible und transparente Thermoplaste wie Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat (PET) und Cycloolefin-Copolymere (COC) im Fokus der Untersuchungen.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Die Herstellung der Pd-Keime erfolgte nasschemisch nach dem Bottom-up-Verfahren (Abb. 2). Durch Optimierung der Reaktionsparameter wurden mit Glycoether erfolgreich Pd-Keimdispersionen mit einem Pd-Gehalt von bis zu 5000 ppm hergestellt. Größe und Aktivität der hergestellten Pd-Keime waren mit kommerziellen Pd/Sn-Aktivatoren vergleichbar. Um Inkjet-druckbare Tintenformulierungen zu erzeugen, wurden die Pd-Keimdispersion in Ethylenglycol eingearbeitet. Der Pd-Gehalt in den Tinten betrug 500 ppm.

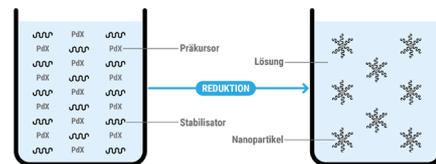


Abb.2: Schematische Darstellung der Nanopartikelsynthese über das Bottom-up-Verfahren.

Die Druckversuche wurden auf einem Dimatix DMP 2850 durchgeführt. Durch Anpassung der Druckparameter wie Wavelform oder Kartuschentemperatur konnten die Tinten gut verdruckt werden. Eine Vorbehandlung der Substratmaterialien mit Atmosphärenplasma verbesserte die Benetzung. Bei Trocknung der gedruckten Strukturen zeigte sich eine inhomogene Verteilung der Pd-Keime, verursacht durch die Diffusion der Keime im Tintenlösemittel (Abb. 3). Um dies zu vermeiden, wurde die zu bedruckende Fläche in zwei "Schachbrettmuster" aufgeteilt, die nacheinander gedruckt wurden. Durch diese Maßnahme wurde die maximal zusammenhängende Fläche auf die Größe eines Schachbrettfeldes reduziert.

Selektive Bekeimung mittels Inkjet-Druck

Nach dem Trocknen

Stromlose Metallisierung mit Kupfer



Abb. 1: Erzeugung von Leiterbahnen durch ein kombiniertes Verfahren von Inkjet-Druck und außenstromloser Metallisierung

Dies schränkte die Diffusion der Keime räumlich ein, wodurch die Pd-Keime fein über die gesamte bedruckte Fläche verteilt wurden.

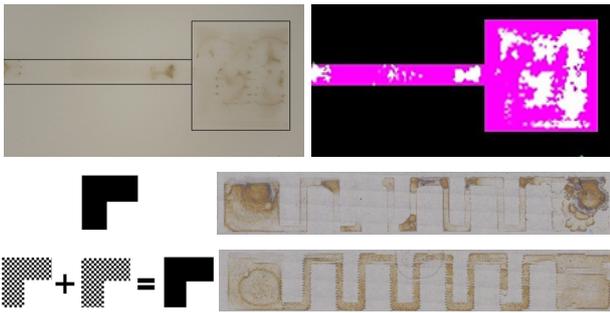


Abb. 3: Untersuchung der Pd-Keimverteilung in gedruckten Strukturen.; oben: Lichtmikroskopaufnahme mit Schwellwertanalyse (rosa: Substrat, weiß: Pd-Keime); mitte: Einfacher Druck; unten: Aufteilung und Druckabfolge beim „Schachbrettdruck“

Im stromlosen Kupferbad erfolgte eine Metallisierung der gedruckten Strukturen, diese war aber nicht haftfest. Versuche die Haftfestigkeit durch die Einarbeitung von Quellmitteln oder geeigneten funktionalen Polymeren in die Tintenformulierungen zu verbessern, waren nicht erfolgreich. Um die Haftfestigkeit zu optimieren wurde eine UV-vernetzbare Tintenformulierung entwickelt, welche auf Polyvinylpyrrolidon (PVP) basiert. PVP fungiert hier als Haftvermittler, indem die PVP-Ketten nach dem Druck- und Trocknungsprozess mit einem UV-Initiator vernetzt werden. Dadurch entsteht eine PVP-Matrix, die die Pd-Keime und das Substrat chemisch miteinander verbinden (Abb. 4).

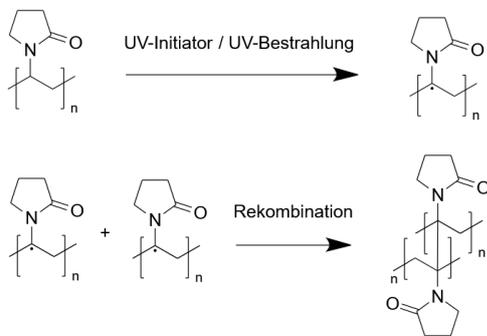


Abb. 4: UV-Vernetzung von PVP-Ketten mit einem UV-Initiator durch Rekombination von zwei PVP-Radikalen.

Bei Metallisierung der gedruckten und UV-vernetzten Strukturen entstanden unterschiedliche Kupferstrukturen. Eine Basisschicht und eine „obere“ Schicht. Die obere Schicht wuchs „baumartig“ aus den Vertiefungen der PVP-Matrix heraus. Nur die Basisschicht war haftfest und überstand den Tape-Test (Abb. 5a). Durch Verwendung eines stromlosen Elektrolyten mit geringer Abscheidungstemperatur, konnte das „baumartige“ Anwachsen der Kupferschicht reduziert werden. Zwar kam es dennoch zur Ausbildung von "Baumstrukturen", die Strukturen waren aber insgesamt feiner und stärker miteinander verbunden, was die Haftfestigkeit deutlich verbesserte (Abb. 5b).

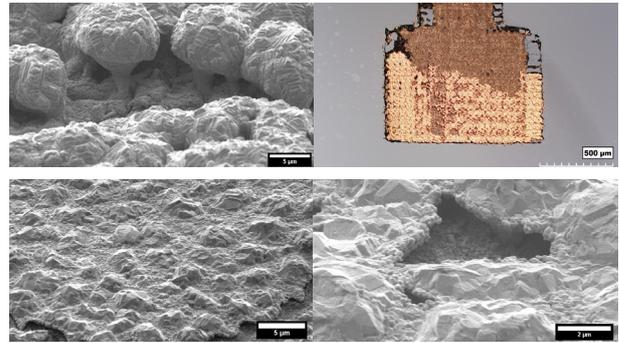


Abb. 5: oben: Metallisierung von UV-vernetzten Strukturen; unten: Metallisierung von UV-vernetzten Strukturen bei geringerer Abscheidetemperatur

Neben Kupfer wurde auch die stromlose Metallisierung mit Palladium und Gold untersucht. Dabei wurden geschlossene haftfeste Schichten auf der vernetzten PVP-Matrix abgeschieden. Die Metallisierung wies in regelmäßigen Abständen Erhebungen auf, welche mit den Druckspots korrelierten. Die Erhebungen waren das Ergebnis einer Hohlrumbildung, hervorgerufen durch die Quellung der PVP-Matrix im Elektrolyten. Trotz des Quellvorgangs war die Metallschicht haftfest mit der Matrix verbunden und die Matrix fest mit der Substratoberfläche verankert (Abb. 6).

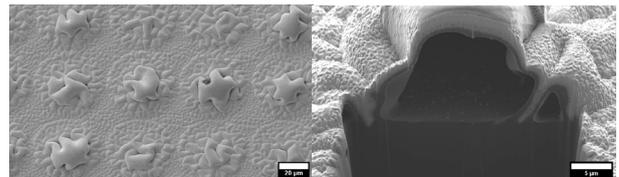


Abb. 6: Metallisierung von UV-vernetzten Strukturen mit Pd/Au.

Demonstrator

Im Bereich der medizinischen Analysensysteme werden oft reine Edelmetallelektroden ohne organische Bestandteile benötigt, da diese die Funktion beeinträchtigen können. Aus diesem Grund wurde als Technologiedemonstrator ein spritzgeossener 2,5D-Mikrofluidikchip auf COC erfolgreich gedruckt und mit Pd/Au metallisiert (Abb. 7). Solche Schaltungsträger werden bspw. in der Point-of-Care-Diagnostik zur Detektion von DNA-Sequenzen über Impedanzmessung eingesetzt.

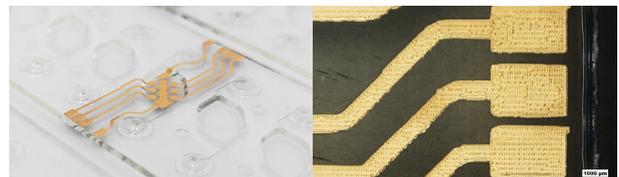


Abb. 7: Gedruckter Technologiedemonstrator, stromlos metallisiert mit Pd/Au.

Fazit

Im Forschungsvorhaben „Karamell“ wurde erfolgreich eine Prozesskette zur Erzeugung von haftfesten Leiter- und Sensorstrukturen auf Kunststoffsubstraten, durch die Kombination von Inkjet-Druck und außenstromloser Metallisierung, entwickelt. Die durchgeführten Versuche zeigten, dass Qualität und Haftfestigkeit der Metallisierung, neben dem verwendeten Elektrolyten, auch von den Druck- und Trocknungsprozessen abhängen.

Wissenschaftlich gesehen ist die entwickelte Prozesskette ein Novum. Außenstromlose Metallisierungen konnten bisher nur auf Inkjet-gedruckten Silberstrukturen aufgebracht werden. Die Pd-basierte Aktivatorpaste ist kostengünstig, gut druckbar und langzeitstabil und bietet damit Verbesserungspotenziale hinsichtlich Qualität und Wirtschaftlichkeit. Auch die niedrigen Prozesstemperaturen sind ein wesentlicher Fortschritt gegenüber dem Sintern von gedruckten Silber- und Goldstrukturen. Dadurch kann das Spektrum der verwendbaren Substrate erweitert werden, was anhand des Technologiedemonstrators veranschaulicht wurde.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 21424 N der Forschungsvereinigung Edelmetalle + Metallchemie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



IGF 21424 N

1.3.2021 – 30.6.2023

INDUSTRIEPARTNER

2E mechatronic GmbH & Co. KG | DataPhysics Instruments GmbH | Dr.-Ing. Max Schlötter GmbH & Co. KG | Gramm Technik GmbH | GSB Wahl GmbH | hc heyerconsulting | IOLITEC – Ionic Liquids Technologies GmbH | MID Solutions GmbH | Multi Channel Systems MCS GmbH | Neotech AMT GmbH | Teprosa GmbH | thinXXS Microtechnology AG | Umicore Galvanotechnik GmbH Wellmann Technologies GmbH | Würth Elektronik GmbH & Co. KG

FORSCHUNGSPARTNER

Hahn-Schickard Institut für Mikroaufbautechnik | Allmandring 9B | 70569 Stuttgart

ANSPRECHPARTNER

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd | Deutschland
Dr. Birger Freisinger, freisinger@fem-online.de, +49 7171 1006-210