

Laserlöten von Dünnschichtsensoren

**R. Chabicovsky, J. Nicolics*,
Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik,
*Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik,
Technische Universität Wien, 1040 Wien.**

Das Laserlöten eignet sich sehr gut für die Kontaktierung von miniaturisierten Dünnschichtsensoren. In der vorliegenden Arbeit wird über zwei Varianten von lötfähigen Metallisierungen (NiCr-Au und Al-NiCr-Au) berichtet und die Abhängigkeit der Lötstellenqualität von der Laserleistung und der Strahleinwirkungsdauer dargestellt. Mit speziellen Dünnschicht-Thermoelementen, die bei der Herstellung von Teststrukturen in die Lötstellen integriert werden können, wurde der Temperaturverlauf während des Lötvorganges gemessen.

1. Einleitung

Für Sensoren sind spezielle, an die Erfordernisse der Meßgröße angepaßte Gehäuse- und Verbindungstechniken notwendig [1]. Miniaturisierte Sensorelemente in Dünnschichttechnik (z.B. Temperatursensoren, Strömungssensoren, Gassensoren, Feuchtesensoren) werden in vielen Anwendungsfällen nur durch ihre Anschlußdrähte gehalten. Diese einfache und kostengünstige Verbindungstechnik erfordert aber wegen der notwendigen mechanischen Stabilität relativ dicke Drähte. Die Verbindung eines dicken Drahtes mit einer vergleichsweise extrem dünnen Metallisierung am Sensorchip ist eine schwierige Aufgabe, da die empfindliche Metallisierung durch die Wärme- und Loteinwirkung nicht zerstört werden darf. Mit einem Nd-YAG-Laser ist eine optimale, die Metallisierung schonende Einstellung der Löttemperatur bei sehr kurzer Lötzeit möglich. Ein weiterer Vorteil dieser Technik besteht darin, daß die Umgebung der Lötstelle (insbesondere der sensorische Bereich des Substrats) beim Löten nicht wesentlich erwärmt wird. Die Lötstelle kann auch extrem klein sein [2], [3].

2. Herstellung von Dünnschicht-Metallisierungen

Zur Herstellung der lötfähigen Schichten wurde das Hochfrequenz-Sputterverfahren benützt (Perkin-Elmer 4400 Sputtering System). Die Substratoberfläche wurde unmittelbar vor der Beschichtung im Vakuum durch Sputterätzen perfekt gereinigt, wodurch eine gute Haftfähigkeit der Schichten erreicht wird. In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Sputterparameter (HF-Leistung, Sputterzeit) und die Schichtdicken angegeben. Der Argondruck beim Sputtern war in allen Fällen 8 mbar. Folgende Substrate und Metallisierungen wurden verwendet:

- a.) Alkalifreies Glas AF45 (DESAG), 50 mm x 50 mm x 0,55 mm, Metallisierung Typ I (Tab. 1),
- b.) Aluminiumoxid-Keramik, Superstrates 996 (MRC), 2" x 2" x 0,015", Metallisierung Typ I (Tab. 1),
- c.) Silizium-Wafer (Wacker Chemitronic), Durchmesser 3", Dicke 0,012", Metallisierung Typ II (Tab. 1).

Die Lötbarkeit der verwendeten Metallisierungen ist ganz wesentlich von der Qualität des Überganges zwischen der Nickelchromschicht und der Goldschicht abhängig. Diese beiden Schichten müssen unbedingt im selben Vakuum hergestellt werden, um eine Selbstpassivierung der Nickelchromoberfläche zu vermeiden. Nur unter dieser Voraussetzung erhält man die gewünschte Lötbarkeit der NiCr-Au-Metallisierungen über lange Zeiträume.

Metallisierungssystem	Al	Ni80Cr20	Au			
Sputter-Bedingungen	3 kW 5 min	500 W 30 min	600 W 3 – 12 min			
Typ I	—	70 nm	30 nm	60 nm	90 nm	120 nm
Typ II	220 nm	70 nm	30 nm	60 nm	90 nm	120 nm

Tab.1: Übersicht über die für die Laser-Lötversuche verwendeten Metallisierungsarten. Typ I wurde bei Glas- und Keramiks substraten erprobt, Typ II bei Siliziumsubstraten.

Bei allen Metallisierungen wurde die Dicke der Goldschicht variiert (vier verschiedene Dicken). Das Gold diffundiert beim Lötvorgang in das Zinn [4]. Bei zu großer Goldkonzentration bildet sich eine spröde intermetallische Zwischenschicht (AuSn_4), welche die mechanische Festigkeit des Kontakts reduziert. Andererseits ist bei zu geringer Golddicke die Lötbarkeit nicht mehr sichergestellt. Die Existenz einer optimalen Golddicke konnte in einem Teil der durchgeführten Experimente auch tatsächlich beobachtet werden. Über diese noch nicht abgeschlossenen Arbeiten wird erst zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.



Abb. 1: Schematische Darstellung einer Lötstelle mit zwei integrierten Dünnschicht-Thermoelementen aus NiCr-W.

Um den Temperaturverlauf während des Lötvorganges genau bestimmen zu können, wurden spezielle Testlötstellen mit integrierten Dünnschicht-Thermoelementen hergestellt (Abb. 1). Die Formgebung der Schichten erfolgte mit fotolithographischen Methoden (Abhebetchnik, Ätztechnik). Die Dünnschicht-Thermoelemente bestehen aus einer Materialkombination Nickelchrom (80/20) – Wolfram und sind durch eine Siliziumnitrid-Schicht (160 nm) von der darüberliegenden Lötstelle (Metallisierung) elektrisch isoliert (Abb. 2). Jede Lötstelle enthält zwei Thermoelemente, welche eine Temperaturmessung sowohl in der Mitte als auch am Rand ermöglichen [5]. Die thermoelektrische Spannung ist $6,9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.



Abb. 2: Schematische Darstellung des Schichtenaufbaues eines Dünnschicht-Thermoelements mit darüberliegender Metallisierung für Lötversuche. Die Thermoelemente sind durch eine Siliziumnitridschicht von der Metallisierung elektrisch isoliert.

3. Laserlöten von Teststrukturen

Der verwendete Nd-YAG-Laser ist mit einem schnellen elektromagnetisch betätigten Verschluss (Shutter) ausgestattet, wodurch die Lötzeit exakt eingestellt werden kann. Mit Testsubstraten, die eine Vielzahl von einfachen Lötstellen (ohne Thermoelemente) enthalten, wurden Lötversuche mit verschiedenen Parametereinstellungen (Leistung, Zeit) durchgeführt und anschließend die Qualität der Lötstellen optisch geprüft. Die Ergebnisse wurden (für jede Substratart getrennt) in ein Diagramm Leistung über Zeit eingetragen [6], [7], [8], [9]. Auf diese Weise erhält man eine übersichtliche Gesamtdarstellung der günstigen und ungünstigen Parametereinstellungen (Abb. 3). Je höher die Laserleistung eingestellt wird, desto kürzer sind die erforderlichen Lötzeiten. Bei einem Vergleich verschiedener Substratmaterialien zeigt sich, wie auch theoretisch zu erwarten war, daß die Lötzeiten sehr stark von der Wärmeleitfähigkeit des Substratmaterials abhängen (Glas: 1 W/mK , Keramik: 20 W/mK , Silizium: 150 W/mK bei 20°C). Je besser die thermische Leitfähigkeit ist, umso länger ist die erforderliche Lötzeit (bei Glas z.B. 20 ms , bei Silizium 1 s). Leider ist eine wesentliche Verkürzung der Lötzeit durch Anwendung extrem hoher Laserleistungen nicht möglich, da das in pastöser Form aufgebraachte Lot (63/37-Zinn/Blei) nicht beliebig hohe Leistungsdichten verträgt.

Mit Hilfe eines Speicheroszilloskops (zwei Kanäle) wurde an Lötstellen mit integrierten Thermoelementen der Temperaturverlauf während des Lötvorganges gemessen. Bei Substraten mit geringer thermischer Leitfähigkeit sind deutliche Unterschiede beim Temperaturverlauf in der Mitte und am Rand der Lötstelle zu erkennen (Abb. 4). Bei Substraten mit hoher thermischer Leitfähigkeit fallen hingegen die beiden Kurven praktisch zusammen. Aus der Form der Temperaturkurve lassen sich metallurgische Vorgänge ablesen (Schmelzen des Lotes, Benetzen der Metallisierung und des Drahtes, Erstarren des Lotes,...). Diese genaue Analyse des Lötvorganges liefert Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten bei der Zusammensetzung und Form der Metallisierung sowie der Lotbeschichtung.

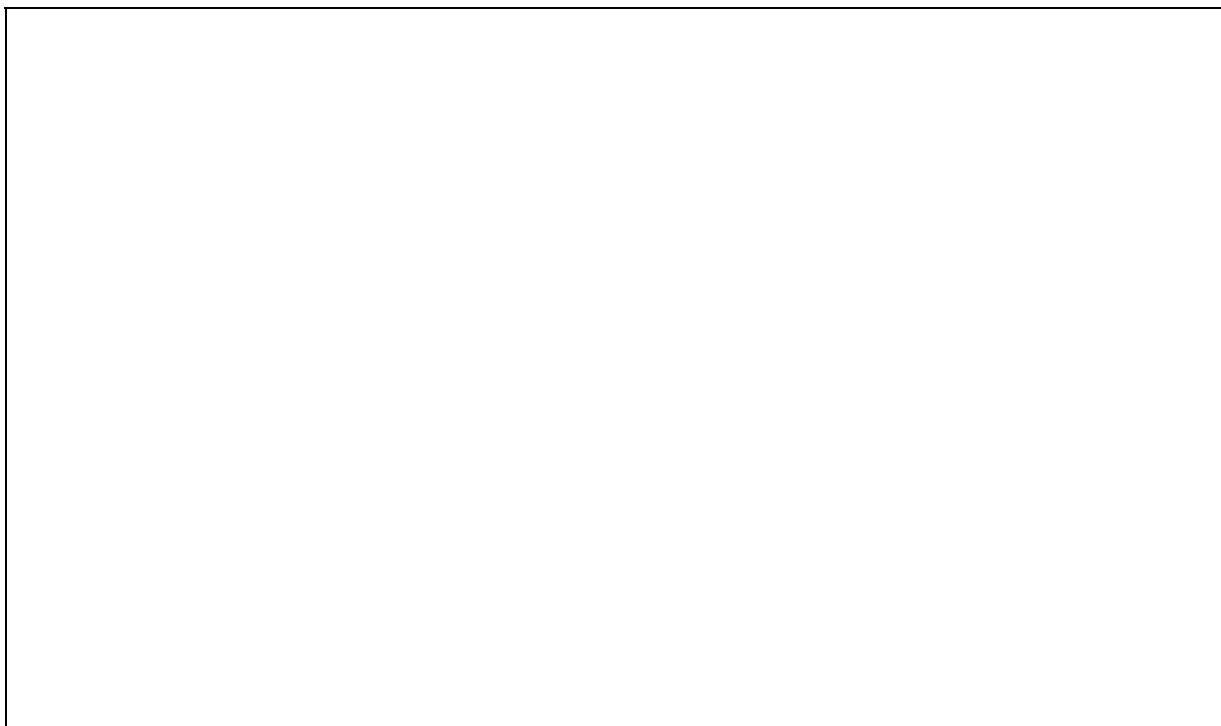


Abb. 3: Abhängigkeit der Lötstellenqualität von der Einstellung der Lötparameter (Laserleistung, Lötzeit). Von praktischem Interesse ist vor allem die untere Grenze des Bereiches guter Lötstellenqualität. Das Diagramm gilt für ein Glassubstrat mit einer Metallisierung Typ I (Golddicke 90 nm), Lötstellengröße 1 mm x 1 mm.

Dank

Für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit danken wir dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt P07021-PH) und dem Jubiläumsfonds der österreichischen Nationalbank (Projekt 4334). Weiters möchten wir den Herren A. Aghzout, A. Ahmadipour, L. Musiejovsky, W. Smetana, Th. Riegler und Th. Zottl für ihre Mitarbeit und technische Unterstützung sehr herzlich danken. Der verwendete Nd:YAG-Laser wurde uns freundlicherweise von der Firma ALS (Wien) zur Verfügung gestellt.



Abb. 4: Temperaturverlauf in der Mitte und am Rand einer Lötstelle. Das Diagramm gilt für ein Glassubstrat mit NiCr-Au-Metallisierung (Lötstellengröße 1 mm x 1 mm). Dargestellt sind zwei verschiedene Einstellungen von Laser-Parametern.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Reichl, Packaging and Interconnection of Sensors, Sensors and Actuators A, 25-27, 1991, p. 63-71.
- [2] J. Nicolics, L. Musiejovsky und E. Semrad, Optimization of Process Parameters for Laser Soldering of Surface Mounted Devices, IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, to be published 1993.
- [3] K. Thielemann und J. Nicolics, Untersuchungen zum Einsatz eines Lasers für das Innerleadbonden, DVS, Verbindungstechnik in der Elektronik, No. 1, März 1992.
- [4] W.G. Bader, Dissolution of Au, Ag, Pd, Pt, Cu and Ni in a Molten Tin-Lead Solder, Welding Research Supplement, Dec. 1969, p. 551-557.
- [5] T. Riegler, Technologische Aspekte beim Laserlöten von Dünnschichtmetallisierungen, Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik, TU Wien, Sept. 1991.
- [6] J. Nicolics, L. Musiejovsky und R. Chabicovsky, Laser-Mikrolöten in der Dünnschichttechnik, Proceedings of the 6th Int. Conf. on Interconnection Technology in Electronics, Fellbach, Feb. 18-20, 1992, p. 173-177.
- [7] J. Nicolics, R. Chabicovsky und Th. Riegler, Laser Soldering of Thin Film Sensors, Proc. 12th Intern. Electronic Manufacturing Technology Symp., April 1-3, 1992, Mainz, p. 184-191.

-
- [8] R. Chabicosky and J. Nicolics, Investigation of sputtered multilayer metallizations for the interconnection of thin film sensors, 39th National Symposium and Topical Conferences of the American Vacuum Society, Chicago, USA, Nov. 9-13, 1992, poster presentation.
 - [9] R. Chabicosky, J. Nicolics and L. Musiejovsky, Investigation of a laser soldering process for the interconnection of thin film sensors with sputtered multilayer metallizations, accepted for publication in J. Vac. Sci. Technol., Aug. 1993.