



## Laserdurchstrahlschweißen von transparenten Kunststoffen

Dr. Wilhelm Pflöging

Das Laserdurchstrahlschweißen von Kunststoffen ist eine effiziente Technologie, mit der transparente polymere Komponenten schnell, reproduzierbar und mit hoher Festigkeit verbunden werden können. Die Ausbreitung der Wärmeeinflusszone beim Schweißprozess lässt sich räumlich scharf begrenzen, so dass Mikrostrukturen erhalten bleiben und angrenzende Bauteilstrukturen und Systemfunktionen nicht beeinträchtigt werden.

### Das klassische Laserdurchstrahlschweißen und seine Grenzen

Das lasergestützte Durchstrahlschweißen ist in der Makrowelt etabliert [1,2]. Bei diesem Verfahren wird ein für die Laserstrahlung undurchlässiger (opaker) Kunststoff mit einem transparenten Kunststoff verschweißt. Dabei durchstrahlt der Laser die obere Kunststofflage und wird an der Oberfläche der unteren opaken Kunststofflage absorbiert. Diese generiert dadurch die für das Verschweißen notwendige Wärme.

Der verwendete Laser hat eine Wellenlänge im nahen Infraroten und ist somit für das menschliche Auge nicht sichtbar. Als Laserstrahlquellen kommen zum Beispiel Diodenlaser bei einer Wellenlänge von 810 nm oder 940 nm, aber auch Nd:YAG-Laser bei einer Wellenlänge von 1.064 nm in Betracht. Der kostengünstige und kompakte Diodenlaser hat sich hierbei gegenüber dem Nd:YAG-Laser als Strahlquelle weitgehend durchgesetzt.

Im Allgemeinen sind die Polymere bei diesen Laserstrahlwellenlängen optisch transparent. Um nun die Opakheit und Transparenz der Kunststoffe gezielt auf die Wellenlänge der Laserstrahlung einzustellen, werden dem Kunststoff bei der Herstellung oder Abformung speziell angepasste Farbpigmente oder Rußpartikel zugeführt. Auf diese Weise sind Kunststoffplatten nach der Einfärbung zwar für das menschliche Auge opak, aber für die Laserstrahlung immer noch transparent. Beispielsweise durch Rußpartikel wird die Opakheit auch für die

Wellenlänge der Laserstrahlung erzielt. Das Laserdurchstrahlschweißverfahren wird bereits in einigen industriellen Anwendungen eingesetzt, so unter anderem zur Fertigung von KFZ-Filtergehäusen, zum Fügen elektronischer KFZ-Schlüssel, Brillenstegen oder neuer PKW-Schließsysteme („Keyless-Go-Card“).

Für Anwendungen in der Mikrotechnik erweist sich das klassische Laserdurchstrahlschweißen als problematisch, da an die Mikrostrukturen angrenzende Bauteilstrukturen und Systemfunktionen durch den Fügeprozess nicht beeinträchtigt werden dürfen. Die Wärmeeinflusszone (WEZ) sollte demnach auf die Grenzfläche beider Fügepartner begrenzt werden. Zudem ist es für viele Applikationen sinnvoll, die optische Transparenz der Kunststoffe auch im Sichtbaren zu gewährleisten, um online eine optische Diagnose, zum Beispiel Fluoreszenzspektroskopie in Biochips, zu ermöglichen. Eine prozesstechnische Erweiterung des Laserdurchstrahlschweißverfahrens wurde notwendig, um folgende Anforderungen zu erfüllen:

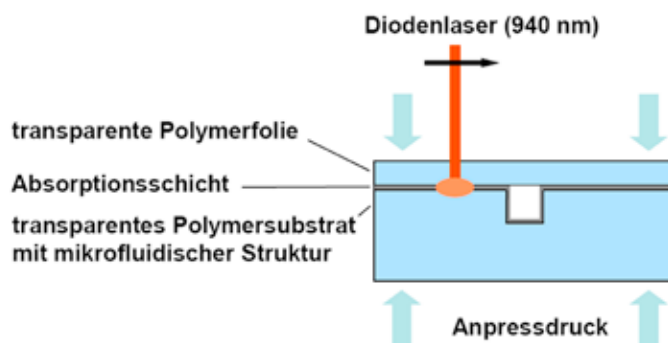
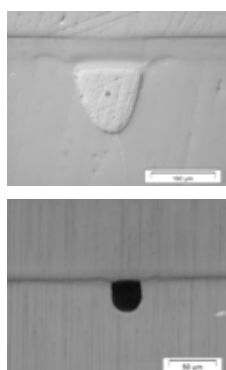
- nur eine Fügetechnik für (nahezu) alle Kunststoffe,
- Verbindung von Kunststoffen, die für das sichtbare Licht transparent sind,
- Realisierung von Verbindungszonen mit hoher Festigkeit und hoher Dichtigkeit,
- Verbindung zwischen mikrostrukturierten Kunststoffen ohne Beeinträchtigung der Strukturgeometrien und Systemfunktionen,
- Verbindung mit dünnen Kunststoff-Folien.

### Innovatives Laserdurchstrahlschweißen für Mikrosysteme

Das Laserdurchstrahlschweißen wurde zu einem mikrosystemtauglichen Verfahren weiterentwickelt, bei dem dünne Absorberschichten mit Dicken von 2 bis 10 Nanometern auf die zu verbindenden Flächen aufgetragen werden [3]. Eine strukturierte Beschichtung mittels Kontaktmasken oder eine nachträgliche Lasermikrostrukturierung der Absorberschicht ermöglichen, dass nur die gewünschten Flächen miteinander verbunden werden. Auf diese Weise können auch sensible Bereiche, wie sie zum Beispiel aus Gründen der Biokompatibilität in der Bioanalytik auftreten, hervorragend vor einer thermischen Schädigung durch den Bondprozess geschützt werden. Wegen der sehr geringen Dicken der Absorberschichten wird auch der thermische Eintrag in das Kunststoffmaterial im Vergleich zum „klassischen“ Durchstrahlschweißverfahren deutlich reduziert. Ein weiterer Vorteil ist die Übertragbarkeit des Mikroschweißens auf eine Vielzahl von Polymeren (zum Beispiel PMMA, PC, COC, PVDF, PEEK, PA) sowie auf die Verschweißung von Materialkombinationen (zum Beispiel PMMA mit PC, PS oder COC).

Der Laserstrahl wird mit Hilfe eines Galvo-Scannersystems großflächig über die Oberfläche gerastert. Eine aufwändige Probenpositionierung ist nicht mehr erforderlich. Der Strahl wird in einer nanometerdicken Schicht absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Die Temperatur in der Grenzschicht wird zeitlich parallel zum Schweißprozess von einem Pyrometer detektiert. Sobald die Temperatur von einem vorgegebenen Sollwert abweicht, wird die Laserstrahlleistung im Millisekundenbereich nachgeregelt. Auf diese Weise ist es möglich, die Temperatur in der Grenzfläche genauer als plus/minus 5 °C einzuhalten.

Mit diesem Verfahren konnten bisher Kanalstrukturen mit einer Breite von minimal 20 Mikrometern gedeckelt werden. Fluidikkanäle für Kapillarelektrophoresechips wurden mit millimeterdicken bis herunter zu 40 µm dicken Polymerfolien verschweißt. Sowohl die ausgezeichnete Dichtigkeit der Verbindungen als auch die hohe Festigkeit im Vergleich zum Ergebnis thermischer Verfahren konnten für



Schematische Darstellung des Laserdurchstrahlschweißens mit nanometerdicken Absorberschichten (rechts) und Mikroskopieaufnahmen von Querschnitten an gedeckelten Mikrokanälen in PMMA (links oben: 100 µm-Kanal mit 40 µm dicker Deckelfolie; links unten: 30 µm-Kanal mit 1 mm dicker Deckelfolie; die Kanäle wurden durch CO<sub>2</sub>-Laserablation hergestellt [4]).

Quelle: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.



mikrofluidische Applikationen nachgewiesen werden. Gegenüber dem thermischen Bonden ermöglichte das neue Laserdurchstrahlsschweißverfahren eine Erhöhung der Zugfestigkeit um mehr als einen Faktor 6. Die Prozesszeit wird gegenüber dem thermischen Bonden sogar um mehr als eine Größenordnung reduziert. Außerdem ist eine hohe Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität der Laserverschweißungen gegeben [4,5].

Die am Forschungszentrum Karlsruhe durchgeführte Weiterentwicklung des Laserdurchstrahlsschweißverfahrens und dessen Anpassung an die Erfordernisse in der Mikrosystemtechnik haben eine neue Füge-technik erschlossen, welche ihre Vorteile insbesondere im Bereich der Life Sciences ausspielen konnte. Prototypen können zeitnah strukturiert, gefügt und diverse Materialien auf ihre Tauglichkeit hin getestet werden [6].

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe  
Nano Micro Facility (KNMF), Institut für Materialfor-  
schung I (IMF-I)  
[www.fzk.de/nanomikro](http://www.fzk.de/nanomikro)

Literatur:

- [1] F. Bachmann, U. Russek, „Laser welding of polymers using high power diode lasers“, SPIE 4637 (2002) 505-518
- [2] K. Sato, Y. Kurosaki, T. Saito, I. Satoh, „Laser welding of plastics transparent to near-infrared radiation“, SPIE 4637 (2002) 528-536
- [3] W. Pfleging, O. Baldus, „Laser patterning and welding of transparent polymers for microfluidic device fabrication“, SPIE 6107 (2006) 61075-1 – 61075-12
- [4] W. Pfleging, P. Schierjott, C. Khan Malek, „Rapid fabrication of functional PMMA microfluidic devices by CO<sub>2</sub>-laser patterning and HPD-laser transmission welding“, Laser Assisted Net Shape Engineering 5, Vol. 2, Editors: M. Geiger, A. Otto, M. Schmidt, Meisenbach-Verlag Bamberg, ISBN: 978-3-87525-261-3 (2007) 1207-1220
- [5] P. Schierjott, W. Pfleging, A. E. Guber, W. Hoffmann, „Kapillarelektrophorese in laserstrukturierten und lasergeschweißten mikro-

fluidischen Polymerchips“, Dresdner Beiträge zur Sensorik, Vol. 29, 8. Dresdner Sensorsymposium, G. Gerlach, P. Hauptmann, Eds. Dresden: TUDpress (2007) 275-278

[6] W. Pfleging, J. Lorenz, P. Schierjott, A. Welle, S. Wilson, „Lasergestützte Prozesse für Polymerwerkstoffe in der Mikro- und Nanotechnik – Strukturierung, Modifizierung und Verbindungstechnik“, GMM Fachbericht 53 „Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik“, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, ISBN: 978-3-8007-3033-9 (2007) 131 – 138

## Einsatz pulsformbarer Nd:YAG-Laserstrahlquellen für das Löten belackter Drähte

Prof. Dr. Stefan Böhm

Das elektrische Kontaktieren mittels belackter Kupferdrähte ohne vorhergehendes Abisolieren der Lackschichten führt in der Regel zu Resten der Isolationsschicht in der Fügezone und kann dadurch mechanische und elektrische Probleme verursachen.

### Anwendungen von Kupferlackdrähten im Bereich der Kontaktierung

Die notwendige Qualität einer elektrischen Kontaktierung von Kupferlackdrähten mit elektronischen Bauelementen steigt mit zunehmenden thermischen Anforderungen. Beispiele hierfür sind vor allem in der Fahrzeugelektronik, der Unterhaltungselektronik und im Maschinenbau zu finden. Typische Produkte, in denen Kupferlackdraht eingesetzt wird, sind Mikrofone und Lautsprecher, Spulenkörper, Klein(st)transformatoren, Relais, Timer-Motoren, Uhren-Spulen, Magnetköpfe, Zündspulen, Magnetventile, Kabelverbindungen und viele mehr.

Aufgrund der steigenden thermischen und elektrischen Anforderungen entwickeln die Hersteller von Kupferlackdraht ständig neue Isolationsmaterialien zur Verbesserung der Isolationsklassen und der thermischen Widerstandsfähigkeit. Mit derzeit üblichen Bond- und Löttechniken bestehen jedoch Probleme, Kupferlackdrähte mit solchen Isolationsschichten zu kontaktieren, ohne dass Oxidbildung und

vor allem Reste der Isolation die Qualität des Kontakts erheblich vermindern. Aus den genannten Gründen wurde ein laserbasiertes Reflowlötverfahren entwickelt, das in der Lage ist, Kupferlackdrähte ohne zusätzliche Abisolierung in einem Prozessschritt zu löten.

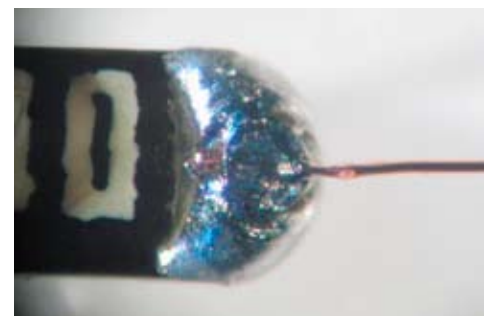
### Laserlöten

Für selektive Lötungen eignet sich in automatisierten Prozessen das Laserstrahllöten im besonderen Maße. Es ermöglicht eine exakte Fokussierung und damit das Löten von kleinsten Lötstellen. Besondere Vorteile dieses Verfahrens sind außerdem die berührungslose Wärmeübertragung, hohe Leistungsdichte und hohe Qualität der Lötstellen bei hoher Prozesssicherheit. Zu den Vorzügen laserstrahlgelöteter Verbindungen zählen auch das sehr feinkristalline Mikrogefüge und die geringe Ausbildung von intermetallischen Phasen im Bereich der Legierungszone.

Grundsätzlich ist das Laserstrahllöten durch eine kurzzeitige und lokale Energieeinbringung über Oberflächenabsorption in der Füge-

zone und nachfolgende Wärmeleitungs- und Grenzflächenprozesse gekennzeichnet. Der Fügeprozess wird dabei sowohl durch die Eigenschaften der Strahlquelle als auch durch die gewählten Prozessparameter und die thermophysikalischen Eigenschaften der Fügepartner bestimmt.

Die derzeit hauptsächlich zum Laserlöten eingesetzten Strahlquellen sind Diodenlaser. Im Laserkopf erfolgt die Strahlerzeugung und -formung. Mit der Optik wird der Laserstrahl



Laserlöten an SMD-Widerständen (Bauform 0603 mit Kupferlackdraht von 38 µm). Quelle: TU Braunschweig.