

Arbeitsgebiet: 5. Materialien und Technologien

Anwendungsbereich: Analytik

Druckluftunterstütztes Thermodiffusionsbonds zur Herstellung dünnwandiger Lab-on-a-Chip Kartuschen mit zwei fluidischen Ebenen

D. Kosse¹, F. Schwemmer², D. Buselmeier², R. Zengerle^{1,2} und F. von Stetten^{1,2}

¹HSG-IMIT, Georges-Köhler-Allee 103, 79110 Freiburg, Dominique.Kosse@HSG-IMIT.de

²Lehrstuhl für Anwendungsentwicklung, Institut für Mikrosystemtechnik - IMTEK, Universität Freiburg, Georges-Köhler-Allee 103, 79110 Freiburg

Zusammenfassung

Mikrothermoformen von Folienmaterialien ist eine neue sowie attraktive Technologie zur Herstellung dünnwandiger Lab-on-a-Chip Testträger. Der hier vorgestellte Prozess erlaubt das thermische Verbinden mehrerer mikrothermogeformter Folien zur Herstellung dünnwandiger mikrofluidischer 3D-Strukturen. Unter Verwendung von Druckluft wird der Folienstapel bestehend aus zwei mikrothermogeformten Folien außen und einer unstrukturierten Mittelfolie zusammengedrückt. Diese Vorgehensweise ermöglicht den Verzicht auf aufwendig strukturierte Siegelwerkzeuge und garantiert eine gleichmäßige und Geometrie-unabhängige Einleitung der Siegelkraft. Die Herstellbarkeit dünnwandiger Testträger mit zwei fluidischen Ebenen wird anhand einer LabDisk demonstriert.

Einleitung

Inspiziert durch den Erfolg der makroskopischen Blisterverpackungen (z.B. Tablettenverpackungen) wurden in der Vergangenheit verschiedene Konzepte zur Herstellung von Mikrostrukturen durch Mikrothermoformen entwickelt [1,2]. Die Technologie erlaubt die geometrietreue Replikation von Strukturen mit Abmessungen von Millimetern bis wenigen Mikrometern. Die dabei entstehenden dünnen Wandstärken eignen sich besonders gut für variotherme Analyseanwendungen bei gleichzeitig geringem Materialverbrauch. Bisher vorgestellte Testträger beschränkten sich auf nur eine fluidische Ebene und wurden durch das Deckeln einer mikrothermogeformten Folie mit einer planen Deckelfolie hergestellt [3]. Komplexe mikrofluidische Anwendungen wie die Erzeugung unterschiedlicher Mischungen aus mehr als zwei Flüssigkeiten bedürfen hingegen einer weiteren fluidischen Ebene [4]. Als Beispiel wurde kürzlich eine Verdünnungs-LabDisk präsentiert, die Mischungen aus drei verschiedenen Flüssigkeiten (je 2 – 3 µl) in 20 verschiedenen Mischverhältnissen realisiert [5].

Druckluftunterstütztes Thermodiffusionsbonds von 3 Lagen

Zur besseren Veranschaulichung der Prozesskette wird die aus [5] bekannte Verdünnungs-LabDisk als Beispielanwendung aufgegriffen. Die benötigten fluidischen Strukturen werden durch Mikrothermoformen mittels Soft-Lithographie [6] hergestellt und anschließend thermisch verbunden. Beim fluidisch dichten Verbinden der Mikrostrukturen gibt es gewöhnlich zwei Aufgabenstellungen: Erstens muss eine Kraft unabhängig von der Außengeometrie des zu fügenden Folienstapels für einen gleichmäßigen Anpressdruck sorgen. Zweitens müssen während des thermischen Siegelns die Mikrostrukturen erhalten bleiben.

Das druckluftunterstützte Thermodiffusionsbonds nutzt deshalb Druckluft um die benötigte Siegelkraft unabhängig von der Geometrie der Folienstrukturen einzuleiten. Dazu wird ein Folienstapel aus (1) einer thermogeformten Folie am Boden, (2) einer unstrukturierten flachen Zwischenfolie mit entsprechenden Durchgangslöchern und (3) einer weiteren thermogeformten Folie obenauf in einen Deckelungsaufbau gelegt (Bild 1). Der komplette Aufbau wird evakuiert und die Folien am äußeren Rand eingespannt. Ein eingeleiteter Druck von 2 bar sorgt für den benötigten Anpressdruck während der Folienstapel auf 125 °C erhitzt und für 2 Minuten auf der Temperatur gehalten wird. Anschließend wird der Aufbau auf 80 °C gekühlt und die gebondeten Folien können entnommen werden.

Die für thermische Verbindungsverfahren typische Deformation der Mikrostrukturen wurde durch eine spezielle Materialauswahl minimiert: Die Zwischenfolie besteht aus Topas COC 8007 mit einer niedrigen Glasübergangstemperatur ($T_g = 79 \text{ °C}$). Bei den mikrothermogeformten Folien werden co-extrudierte Folien eingesetzt, bestehend aus einer dicken temperaturstabilen Trägerschicht Topas COC 6013 ($T_g = 135 \text{ °C}$) und einer dünnen Lage Topas COC 8007. Die temperaturstabilere Komponente erhält dabei die Geometrie, während die niederschmelzende für die thermische Verbindung verantwortlich ist (Bild 2).

Die Siegelqualität wurde anhand verschiedener Schnitte beurteilt und zeigt fast keine Deformation der Kanalquerschnitte. Auch überkreuzende Mikrokanäle sind bis zum Kanalrand fluidisch dicht gedeckelt (Bild 3). Die abschließende Prozessierung der Verdünnungs-LabDisk bestätigte eine fluidisch dichte Verbindung bei einem auftretenden Innendruck von bis zu 0,2 bar.

Schlussfolgerung

Das druckluftgestützte Thermodiffusionsbonds erweist sich als universeller Prozess zur Herstellung dünnwandiger mikrofluidischer Testträger mit zwei aktiven Fluidikebenen. Die Druckluft verpresst die Folien unabhängig von deren Außengeometrien und Strukturierung wodurch aufwendige Werkzeuge, die als Widerlager dienen, überflüssig werden. Der Funktionsnachweis wurde anhand der Siegelung einer Verdünnungs-LabDisk mit zwei Fluidik-Lagen erbracht.

Wortzahl: 547

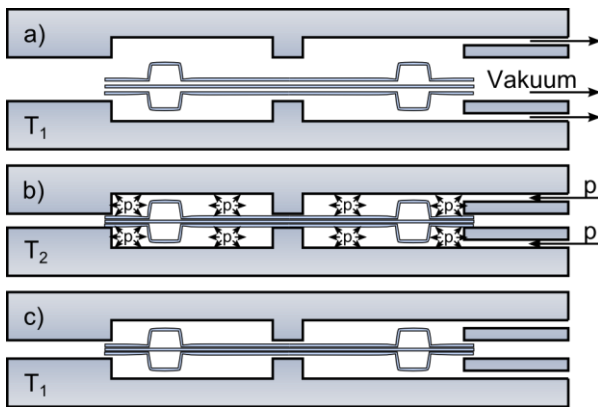


Bild 1: Aufbau zum Thermodiffusionsbonds; a) Die Folien werden zwischen ein oberes und unteres Werkzeug gelegt und evakuiert; b) nach dem Einklemmen verbleibt das Vakuum zwischen den Folien und ein Überdruck p verpresst diese; Für die thermische Siegelung wird der Aufbau erhitzt, c) Nach dem Abkühlen kann der verbundene Folientestträger entnommen werden.

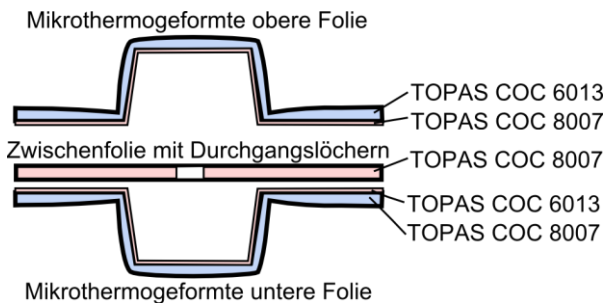


Bild 2: Folienstapel bestehend aus zwei mikrothermoformierten co-extrudierten COC-Folien außen und einer unstrukturierten flachen Zwischenfolie; Die temperaturstabilere COC 6013 Lage sorgt für die Form-beständigkeit, die niederschmelzendere COC 8007 Schicht für das Thermodiffusionsbonds.

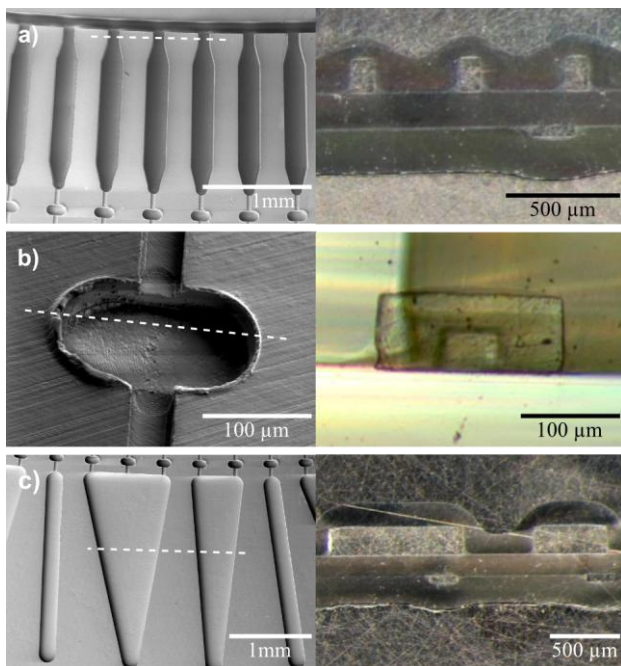


Bild 3: REM Bilder thermogeformter Strukturen (links) sowie Schliffbilder der gestrichelten Positionen (rechts). a) Aliquotierfinger; b) Geometrisches Ventil; c) Mischkammer zur Einstellung des Mischverhältnisses.

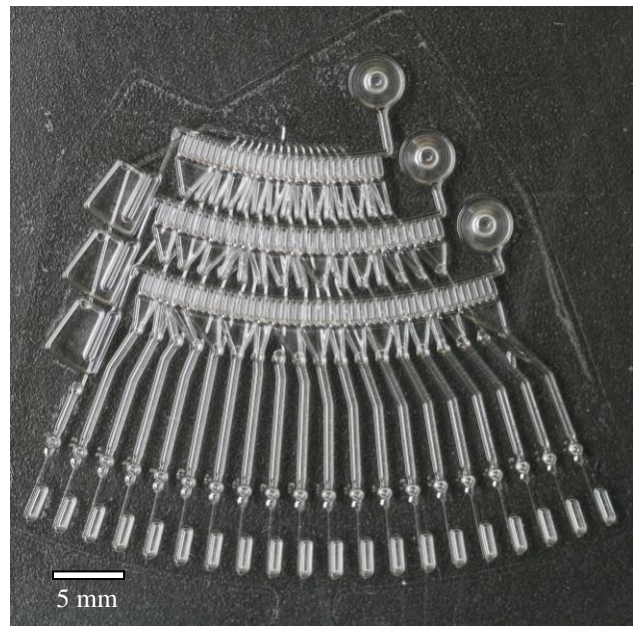


Bild 4: Anwendungsbeispiel Verdünnungs-LabDisk; Zwanzig verschiedene Mischverhältnisse aus drei Eingangsfüssigkeiten werden durch das Abmessen auf einer ersten fluidischen Lage und dem Verteilen der Aliquote über eine zweite fluidische Lage auf der Rückseite realisiert.

Literatur:

- [1] M. Focke, D. Kosse, C. Müller, H. Reinecke, R. Zengerle, F. von Stetten, *Lab-on-a-Foil: microfluidics on thin and flexible films*, LabChip, vol. 10, pp. 1365-86, 2010.
- [2] R. Truckenmuller, S. Giselsbrecht, N. Rivron, E. Gottwald, V. Saile, A. van den Berg, M. Wessling, C. van Blitterswijk, *Thermoforming of Film-Based Biomedical Microdevices*, Advanced Materials, vol. 23, pp. 1311-29, 2011.
- [3] D. Kosse, D. Buselmeier, C. Müller, R. Zengerle, F. von Stetten, *Druckluft-unterstütztes thermisches Deckeln folienbasierter Lab-on-a-Chip Kartuschen*, im Tagungsband Mikrosystemtechnik-Kongress, Darmstadt, Deutschland, Oktober 10-12, 2011; pp 579-582.
- [4] J Y. Jang, M. Hancock, S. B. Kim, S. Selimović, W. Y. Sim, H. Bae, A. Khademhosseini, *An integrated microfluidic device for two-dimensional combinatorial dilution*, LabChip, vol. 11, pp. 3277-86, 2011.
- [5] F. Schwemmer, S. Zehnle, N. Paust, C. Blanchet, M. Rössle, F. von Stetten, R. Zengerle, D. Mark, *SAXS-LabDisk: A Centrifugal Microfluidic Screening Plattform for Protein Structure Analysis* in proc. 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Okinawa, October 28 – November 1, 2012, pp. 1450-1452.
- [6] M. Focke, D. Kosse, D. Al-Bamerni, S. Lutz, C. Müller, H. Reinecke, R. Zengerle, F. von Stetten, *Microthermoforming of microfluidic substrates by soft lithography (μ TSL): optimization using design of experiments*, J. Micromech. Microeng., vol. 21, 115002 (11pp), 2011.