

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit konnte ein Beitrag zur Entwicklung und Herstellung von kostengünstigen Mikroventilen mit magnetisch-induktivem Antrieb geleistet und an Demonstratoren die Funktionsweise des Antriebs nachgewiesen werden. Die Grundlagen für eine Serienfertigung dieser Mikrokomponenten mit dem kostengünstigen AMANDA-Verfahren wurden erarbeitet.

Das Mikroventil verbraucht im geschlossenen Zustand keine Energie und die Ventilmembran des geöffneten Ventils befindet sich in der Nähe eines labilen Gleichgewichtes, so dass nur wenig Energie benötigt wird, um das Ventil geöffnet zu halten. Bei Abschalten der Aktorkraft schließt das Ventil von alleine wieder.

Die Ventilmembran steht unter einer mechanischen Druckspannung, so dass sie sich gegen den Ventilsitz wölbt und ihn verschließt. In der Membran ist eine Leiterbahn aus Gold angebracht und außen an den Ventilen werden zwei Magnete montiert. Ein elektrischer Strom durch die Leiterbahn ruft eine Lorentzkraft hervor, die auf die Membran wirkt und sie vom Ventilsitz abhebt und damit das Ventil öffnet. Mit Hilfe von FEM-Magnetfeldsimulationen wurde die Geometrie für das Mikroventil bestimmt. Die Abmessungen des Ventils betragen $1,8 \times 12 \times 1,5 \text{ mm}^3$, zusammen mit den Permanentmagneten aus Eisen-Neodym-Bor und einem Joch zur Erzeugung eines externen Magnetfelds sind die Gesamtabmessungen $16 \times 15 \times 18 \text{ mm}^3$.

Zur Herstellung des Mikroventils wurde das kostengünstige AMANDA-Verfahren eingesetzt und weiterentwickelt. Dazu wurden Verfahren zur Herstellung von Gehäuseteilen untersucht. Das Heißprägen, das am Institut für Mikrostrukturtechnik am Forschungszentrum Karlsruhe möglich ist und hier erstmals im Zusammenhang mit dem AMANDA-Verfahren eingesetzt wurde, erwies sich dabei als günstigste Abformtechnik. Durch das senkrechte Eintauchen des Formeinsatzes in das Halbzeug sind beim Heißprägen die lateralen Belastungen des Formeinsatzes erheblich geringer als beim Spritzguss, bei dem der Formstoff mit Drücken bis zu 800 bar seitlich eingespritzt wird. Es wurden erstmals beidseitig abgeformte Gehäuseteile mit Heißprägen hergestellt. Die mit dem AMANDA-Verfahren im Nutzen hergestellten Komponenten wurden bisher mit einer Wafersäge vereinzelt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mittels beidseitiger Abformung Bruchkanten in den Nutzen vorgesehen und erstmals fertig verklebte Nutzen durch Brechen vereinzelt. Entlang der Bruchkanten wurde eine Klinge angesetzt und mit einem Schlag wurden die Nutzen zerteilt. Durch die Führung der Klinge in den abgeformten Bruchkanten liegt die Genauigkeit der Vereinzlung bei ca. $20 \mu\text{m}$.

Die Ausbeute der Kammerklebetechnik wurde dadurch von ca. 30 % auf ca. 85 % gesteigert, dass die Nutzen vor der Verklebung in einem Sauerstoffplasma aktiviert und die Ventilauslassöffnungen verschlossen werden.

Zur Charakterisierung der Mikroventile wurden fluidische Tests mit Wasser und Stickstoff durchgeführt. Bei den Tests mit Stickstoff konnte das Schaltverhalten der Membran im Magnetfeld nachgewiesen werden. Außerdem konnte das erwartete Hysterese-Verhalten der Membran reproduzierbar beobachtet werden. So bewegte sich die Membran bei einem Strom von 150 mA aus der Ruheposition, konnte dann mit einem verringerten Strom von 50 mA gehalten werden und schnappte nach der Absenkung unter 50 mA in die Ruhelage zurück. Bei Tests mit Wasser waren die Ventile dicht bis 35 hPa, bei Druckluft bis 70 hPa. Dauertests zeigten, dass die Ventilmembran zukünftig in einer Goldschicht eingeschlossen werden muss, damit sie beim Kontakt zum Wasser nicht quillt und dadurch die Funktion des Mikroventils beeinträchtigt wird.

Development of a microvalve with magnetic inductive actuation employing the AMANDA process

In the course of the work described in this paper a contribution for the development and production of cost-effective microvalves with a magnetic inductive actuation was provided and the functionality of the actuation was demonstrated. The basis for the series production of the microcomponents with the AMANDA process was established.

The microvalve is normally closed and the valve membrane is near a labile equilibrium in the opened state, so once switched only little power is consumed to keep the valve open. Removing the actor force closes the microvalve automatically.

The valve membrane is subject to mechanical stress giving it a convex shape and thereby sealing a valve seat. Inside the membrane is a gold conductor and two permanent magnets with yoke are placed on the outside of the valve. An electric current running through the conductor produces a Lorentz force, acting on the membrane and lifting it of the valve seat, thereby opening the valve. The geometry of the microvalve was determined with FEM-simulation of the magnetic field. The size of the valve is $1,8 \times 12 \times 1,5 \text{ mm}^3$ and with the iron-neodym-bor permanent magnets and yoke to create an external magnetic field the size of the valve is $16 \times 15 \times 18 \text{ mm}^3$.

For the production of the microvalve the cost-effective AMANDA process was employed and further developed. Techniques for the production of valve housings were examined. The hot embossing, available at the Institute for Mikrostructure Technology at the Karlsruhe Research Center, was used for the first time in combination with the AMANDA process and proved to be the most convenient molding technique. Due to the vertical movement of the molding tool into the molding material lateral stress on the microstructures on the molding tool is considerably smaller than that created by injection molding, where the mold is injected horizontally with pressure up to 800 bar. For the first time double sided hot embossing was performed on the microvalve batches. Since now the components produced with the AMANDA process were separated with a wafer saw. In the course of the work presented here breaking edges were designed into the valve batches and for the first time completely glued microcomponents were separated by means of breaking. A cutter blade was inserted into the breaking edges and the batch diced with one blow. Due to the guidance of the cutter blade in the molded breaking edges the precision of the breaking is ca. $20 \mu\text{m}$.

The yield of the chamber glueing technique was raised from ca. 30 % to ca. 85 % by activating the batches in an oxygen plasma and sealing the valve openings before glueing.

The microvalves were characterized in tests with water and nitrogen. The tests with nitrogen showed the switching behavior of the membrane in the magnetic field. The expected hysteresis effect of the membrane was shown. The membrane moved from its resting position after raising the electrical current over 150 mA and stayed in the deflected state until the electrical current was reduced to 50 mA. After reducing the electrical current further, the membrane returned to its resting position. Tests with water showed no leakage up to 35 hPa, with nitrogen up to 70 hPa. Long-term tests showed, that in the future the valve membrane has to be covered by a gold layer to prevent the swelling of the membrane inhibiting the functioning of the microvalve.