

Extrem leichte und schnelle Mikroantriebe für hochpräzise Montageanwendungen

Von Dr. Reinhard Degen und Dr. Udo Kirsch, Mainz

Der Trend zur Miniaturisierung kann nicht übersehen werden. Der Einsatz von sehr kleinen elektronischen und opto-elektronischen Bauteilen in einer Vielzahl von unterschiedlichen Verbrauchs- und Investitionsgütern führt im Bereich der Produktionsanlagen für die Mikromontage zu einem zunehmenden Bedarf an Servoantrieben mit geringen Außenabmessungen. Die bisher entwickelte Generation von Mikrogetrieben und Mikroantrieben war nicht geeignet für derartige Anwendungen, da ihre Genauigkeit nicht ausreichend war.

Das *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe wurde 2001 als weltkleinstes spielfreies Getriebe in den Markt eingeführt. Es wird mithilfe eines modifizierten LIGA-Prozesses, dem so genannten *Direkt-LIGA-Prozess* produziert [1]. Dieses Verfahren ermöglicht die kosteneffiziente Herstellung von extrem genauen metallischen Zahnradkomponenten. In der Zwischenzeit konnte dieses Getriebe in vielfältigen Anwendungsbereichen von miniaturisierten Positionierantrieben implementiert werden, die sich durch ein spielfreies Übertragungsverhalten, eine exzellente Wiederholgenauigkeit und eine lange Lebensdauer auszeichnen.

Zusätzlich zu den oben erwähnten Vorteilen zeichnet sich dieses innovative Produkt durch die Möglichkeit aus, eine Hohlwelle zu integrieren. Dies ermöglicht dem Konstrukteur, beispielsweise eine Glasfaser, einen Laserstrahl oder Medien wie Flüssigkeiten, Druckluft oder Vakuum entlang der zentralen Drehachse des Mikroantriebs durchzuführen. Dadurch wird der konstruktive Aufbau von Maschinen für die Mikromontage, zum Beispiel in der Halbleiterfertigung, in der Konsumgüterindustrie sowie bei medizinischen und optischen Anwendungen stark vereinfacht.

Anforderungen an Systeme für die Mikromontage

Seit für miniaturisierte Systeme und hybride Mikrosysteme ein Bedarf für eine Großserienmontage

vorliegt, wird versucht, die Montageabläufe zu automatisieren. Bei derartigen Produkten, die aus Komponenten mit kleinsten Abmessungen bestehen, stellt die Montage oft den größten Kostenfaktor dar. Diese können dabei bis zu 80 Prozent der gesamten Herstellkosten ausmachen [2]. Manuelle Montage ist entweder zu teuer oder kann keine ausreichende Prozessstabilität gewährleisten. Eine automatisierte Mikromontage benötigt andererseits speziell angepasste Produktionseinrichtungen, um derartige kleine Komponenten handhaben zu können. Der Montageschritt benötigt typischerweise Bewegungen in mehreren Freiheitsgraden, die durch Antriebskomponenten, wie zum Beispiel Motoren, Getriebe, Kugelgewindespindeln usw. erzeugt werden.

Bis vor kurzem waren einerseits die physikalischen Abmessungen der Antriebskomponenten sehr viel größer als die Bauteile, welche gehandhabt werden sollten, und andererseits der Arbeitsraum nicht an die benötigten Größen angepasst. Dies führt dazu, dass viele Maschinen und Roboter für die Mikromontage Abmessungen besitzen, die weit größer als der notwendige Bauraum sind [2]. Mittlerweile existiert ein deutlicher Trend dazu, physikalisch kleinere Maschinen mit Mikroantriebstechnik auszurüsten. Derartige Maschinen benötigen gegenüber den früheren Maschinengenerationen eine sehr kleine Aufstellfläche, erzielen aufgrund der Miniaturisierung oft eine höhere Montagegenauigkeit, können durch die geringeren Massen eine größere Dynamik realisieren und somit wirtschaftlicher produzieren.

In derartigen Mikroantriebssystemen repräsentieren die Mikrogetriebe ein Schlüsselement. Erst durch den Einsatz geeigneter Getriebe können vorhandene Mikromotoren, die mit Drehzahlen von bis zu $100\,000\text{ min}^{-1}$ arbeiten und dabei Drehmomente im Bereich einiger μNm erzeugen [3], in einem breiten Spektrum von unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden. Um im Bereich der Mikroantriebssysteme den Zugang zu neuen inno-

vativen Anwendungsbereichen zu eröffnen, wurde bei der *Micromotion GmbH* eine neue Generation von hochpräzisen und spielfreien Mikrogetrieben entwickelt: die *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe (*Abb. 1*).

Das *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe

Mikrogetriebe sind keine besonders neue Entwicklung und klein bauende Mikrostrirradgetriebe oder Mikroplanetengetriebe sind seit einigen Jahren bereits am Markt erhältlich. Derartige Produkte leiden jedoch unter schlechter Positioniergenauig-



Abb. 1: *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe und Servoantrieb

keit und können daher kaum in Maschinen für Positionieranwendungen eingesetzt werden. Diese früheren Lösungen besitzen entweder Getriebeispiel oder können nur sehr geringe Belastungen aushalten. Was jedoch vom Markt benötigt wird, sind Mikrogetriebe, die nicht nur in ihren Abmessungen sehr klein bauen, sondern gleichzeitig eine hohe Wiederholgenauigkeit, Spielfreiheit, ein hohes Übersetzungsverhältnis und eine geringe Bauteilanzahl besitzen. Diese Anforderungen waren die Motivation für die Entwicklung eines neuartigen Mikrogetriebes, des *Micro Harmonic Drive*[®].

Das Funktionsprinzip ähnelt dem der konventionellen *makrotechnischen Harmonic Drive*[®]-Getriebe [4], mit dem Unterschied, dass der Wave-Generator eine Planetengetriebebestufe darstellt (*Abb. 2*). Dadurch können sehr große Übersetzungsverhältnisse auf kleinstem Bauraum realisiert werden (*Abb. 3*). Dies ist notwendig, da die meisten gegenwärtig verfügbaren Mikromotoren ihre Leistung durch sehr hohe Drehzahlen erzeugen. Eine hohe

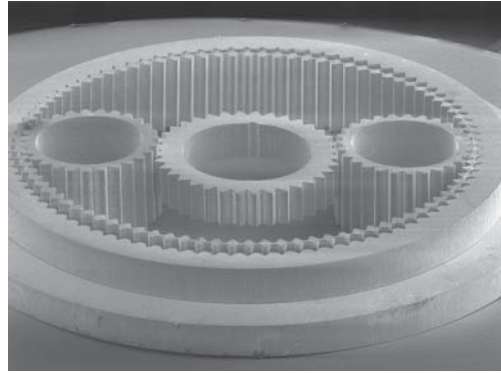


Abb. 2: Getriebeeinbausatz eines *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebes

Getriebeübersetzung wird benötigt, um einerseits genügend Drehmoment in praktischen Positionieranwendungen zur Verfügung zu haben und andererseits akzeptable Drehzahlen bereitzustellen.

Spezielle Entwicklungen für Anwendungen in der Mikromontage

Eines der Hauptanwendungsgebiete für Mikromontagemaschinen liegt bei der Elektronikbranche. Der Herstellungsprozess wird eingeteilt in den *Front-End*-Prozess, der die fotolithographische Strukturierung umfasst, und den *Back-End*-Prozess, der mit dem Zersägen der Wafer in die einzelnen Chips beginnt und mit dem Packaging der elektronischen Komponenten endet.

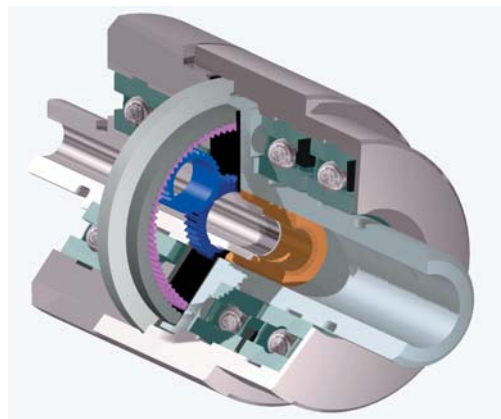


Abb. 3: *Micro Harmonic Drive*[®] MHD-Getriebebox

So genannte *die-attach*-Maschinen werden in der Phase der Montage im Rahmen des *Back-End*-Prozesses eingesetzt. Die neue *Easyline 8032*-Maschine der Firma *Alphasem*, eines weltweit führenden Herstellers von *die-attach*-Maschinen, ist ausgestattet mit einem neuartigen *Rotary Bond Tool*, das ein *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe benutzt, um gleichzeitig eine hohe Genauigkeit im Bereich weniger Winkelsekunden, eine kurze Positionierzeit im Bereich weniger Millisekunden und ein extrem geringes Eigengewicht von 30 Gramm zu realisieren. Diese auf kleine Bauraumabmessungen und geringe Masse optimierte Einheit wird verwendet, um mit großer Dynamik die Chips während der Montage hochpräzise in jede beliebige Winkelstellung verdrehen beziehungsweise ausrichten zu können.

Bei dieser kundenspezifischen Lösung ist der Motor parallel zum Getriebe angeordnet, sodass eine Hohlwelle durch die Getriebebox realisiert werden kann. Diese Hohlwelle dient einerseits für die Vakuumversorgung des Tools, mit dem der Chip gegriffen wird. Andererseits wird die Hohlwelle benötigt, um mit einem optischen Sensor auf der zentralen Drehachse durch das Getriebe hindurchzuschauen und somit prüfen zu können, ob der Chip richtig



Abb. 4: Rotary Bond Tool mit Hohlwelle und optischem Sensor (Foto: Alphasem AG)

gegriffen wurde. In *Abbildungen 4* und *5* sind Ausführungen von *Rotary Bond Tools* basierend auf der *Micro Harmonic Drive*[®]-Technologie mit extrem geringem Eigengewicht für Hochgeschwindigkeitsanwendungen dargestellt.

Das Herz dieser *Rotary Bond Tools* stellt das *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe in kundenspezifischer



Abb. 5: Rotary Bond Tool für Hochgeschwindigkeitsanwendungen mit einem Gesamtgewicht von 22 Gramm und einer Wiederholgenauigkeit von 0,005

Ausführung dar. Die Abtriebswelle ist mit vorgespannten Kugellagern aufgebaut, um die Rundlauffehler zu minimieren. Gleichzeitig ist in die Abtriebswelle der Werkzeugsitz integriert. Aufgrund der hohen Getriebeuntersetzung und dem spielfreien Übertragungsverhalten ist es möglich, diese Einheiten mit einfachen und robusten Schrittmotoren anzutreiben. In *Abbildung 6* ist der Schnitt durch einen kundenspezifischen Bondkopf gezeigt.

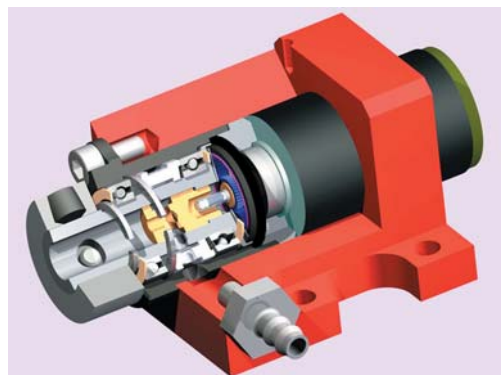


Abb. 6: Schnitt durch ein Rotary Bond Tool

Aufgrund der Integration von mehreren Funktionalitäten innerhalb der Getriebebox erhält man ein hochdynamisches System für hochpräzise Montageprozesse bei gleichzeitig minimierten Massen.

Die zuvor beschriebenen *Rotary Bond Tools* ermöglichen ein hochpräzises rotatorisches Ausrichten von Werkstücken. Es gibt jedoch eine Vielzahl an Mikromontageaufgaben, bei denen Bewegungen in drei Freiheitsgraden erforderlich sind. Für diese Art von Anwendungen hat die *Micromotion GmbH* einen Drei-Achs-Mikromanipulator entwickelt (Abb. 7). Dieses kompakte Gerät mit einem Durchmesser von nur 36,2 mm und einer axialen Länge von 50 mm ist mit zwei linearen und einer rotatorischen Achse ausgestattet. Die linearen Achsen werden durch Exzenterantriebe gebildet, die eine kleine Plattform in X- und Y-Richtung bewegen. In die Plattform ist der Antrieb für die theta-Achse integriert.



Abb. 7: Drei-Achs-Mikromanipulator

Dieser Aufbau bietet folgende Vorteile:

- Genauigkeiten im Sub- μm -Bereich;
- Aufgrund des Einsatzes von Schrittmotoren kann einfach im offenen Regelkreis gearbeitet werden;
- geringes Gewicht (50 g);
- hoch dynamische Positioniervorgänge.

Eine weitere wichtige Eigenschaft, insbesondere im Vergleich mit Piezoantrieben, ist der große Verstellweg der Linearachsen, bei gleichzeitig einfacher Regelung und hoher Prozessstabilität unter Produktionsbedingungen. Typischerweise werden derartige Einheiten zur Feinpositionierung verwendet

und sind *huckepack* an groben, schnellen Positionierachsen montiert. Hierbei ist das geringe Eigengewicht von besonderer Bedeutung. Der Trend zu immer kürzeren Zykluszeiten in der Montage hat eine Zunahme der Dynamik in den Grundachsen zur Folge, die oftmals als Lineardirektantriebe ausgebildet sind. Aufgrund der geringen Masse des *huckepack*-Mikromanipulators wird erreicht, dass die Temperaturzunahme der Linearmotoren bei gleichem Arbeitszyklus geringer ist. Dadurch können wiederum Probleme aufgrund von thermischer Instabilität der Maschine vermieden und somit die Positioniergenauigkeit der Gesamtmaschine gesteigert werden.

Ausblick

Einen neuartigen innovativen Ansatz zur Bewältigung der Anforderungen zukünftiger Aufgabenstellungen in der Mikromontage stellt der Mikro-SCARA-Roboter *Parvus* dar. Die *Micromotion GmbH* untersucht gemeinsam mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig den Einsatz der *Micro Harmonic Drive*[®]-Getriebe in einem Mikro-SCARA-Roboter. Der *Parvus* besitzt eine Parallelkinematikstruktur (Abb. 8), in deren Gelenken *Micro Harmonic Drive*[®]-Antriebstechnik integriert ist. Dieser Roboter ist ausgelegt, um

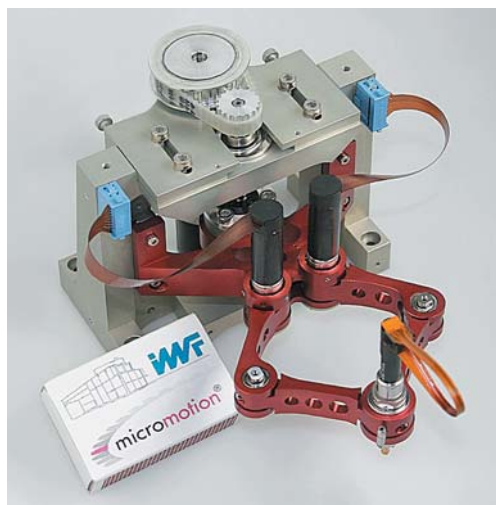


Abb. 8: Mikro-SCARA Roboter (Bild: IWF, TU Braunschweig)

Genauigkeiten im einstelligen Mikrometerbereich zu erzielen und eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten im Gebiet der Mikromontage.

Literatur

- [1] U. Kirsch, R. Degen: Direkt-LIGA Verfahren Mikroteile präzise produzieren; JOT 1.2007, Vieweg Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, S. X–XII
- [2] J. Hesselbach, A. Raatz: mikroPRO – Untersuchung zum internationalen Stand der Mikroproduktionstechnik; Vulkan Verlag, Essen, 2002
- [3] C. Thürigen, W. Ehrfeld, B. Hagemann, H. Lehr, F. Michel: Development, fabrication and testing of a multi-stage micro gear system; Proc. of Tribology issues and opportunities in MEMS, pp. 397–402, Columbus (OH), November 1997, Kluwer Academic Publishers, 1998
- [4] R. Degen, R. Slatter: Hollow shaft micro servo actuators realized with the Micro Harmonic Drive®; Proceedings of Actuator 2002, Bremen