Hochgenaue Lagejustierung von Koppelelementen in optischen Übertragungsstrecken

Andreas Schubert und Bertram Schulz, Fraunhofer IWU Chemnitz

Die mikrometergenaue Lagejustierung von Koppelelementen zu Lichtwellenleitern in elektro-optischen Leiterplatten ist bislang nur mit hohem manuellem Aufwand im Labor umsetzbar. In diesem Beitrag wird ein neu entwickeltes hochgenaues Mikromontagesystem vorgestellt, das neben der mikrometergenauen bauteilindividuellen Lagerfassung eine dreidimensionale Feinpositionierung und zusätzlich eine greiferintegrierte Winkelfeinstellung am gegriffenen Bauteil ermöglicht.

Genauigkeitsanforderungen an die Lagejustierung

Die Forschungsarbeiten zum Thema „optische Leiterplatte“ konzentrierten sich bislang vorrangig auf die optische Übertragungsstrecke mit ihren Funktionselementen und deren Integration in hybride elektrisch-optische Leiterplatten. Der inzwischen erreichte Stand der Forschungsarbeiten führt jedoch mehr und mehr zum Bedarf nach entsprechend hochpräziser Anlagentechnik zum Aufbau optischer Übertragungs-strecken. Ein grundlegendes Problem besteht dabei in der hochgenauen Lagezuordnung von elektro-optischen Sende- und Empfangsmodulen beziehungsweise optischen Koppelelementen an den Wellenleiterstirnflächen.

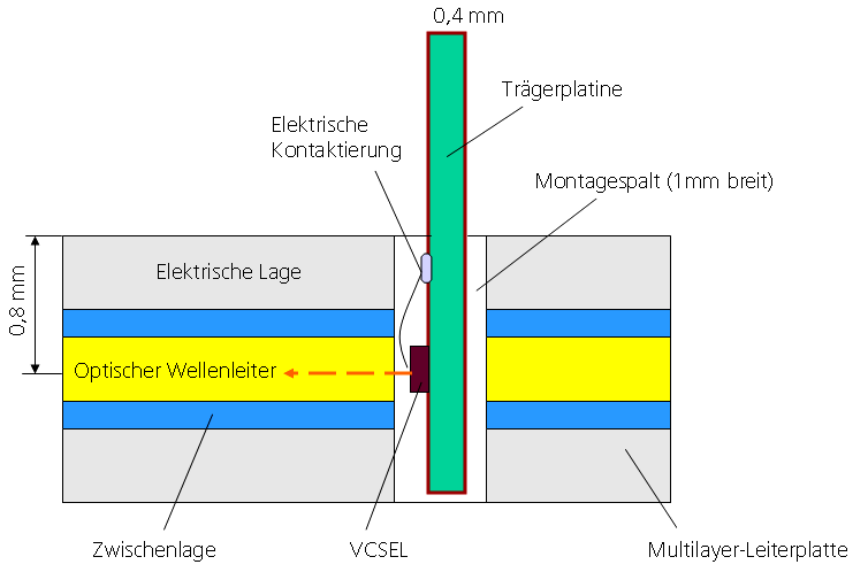

Bild 1: Schema - direkte Lichteinkopplung

Es werden zwei grundsätzliche Koppelprinzipien, die direkte und die indirekte Lichteinkopplung, unterschieden. Bei der direkten Methode (siehe Bild 1) befindet sich die Strahlaustrittsfläche des Sendeelementes (bzw. die Detektorfläche) vis-a-vis zur Wellenleiterquerschnittsfläche. Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) emittieren ihre Strahlung senkrecht zum pn-Übergang und liefern ein kreisförmiges Strahlprofil bei gleichzeitig geringer Divergenz. Zur Wandlung des Lichtsignals in ein elektrisches Signal

werden sogenannte PIN-Dioden (Positive Intrinsic Negative Diode) eingesetzt [1]. Die integrierten Wellenleiter befinden sich im vorliegenden Fall genau in der Mitte einer Mehrlagen-Leiterplatte.

Im Gegensatz dazu ist die indirekte Methode durch eine Umlenkung des Lichtstrahls gekennzeichnet. Dabei wird das Bauelement an der Oberfläche der Leiterplatte – Face-Down – platziert. Die Richtungsänderung des Laserstrahls wird hierbei durch ein optisches Element (z. B. eine 45° - Spiegelfläche) erreicht (siehe Bild 2).

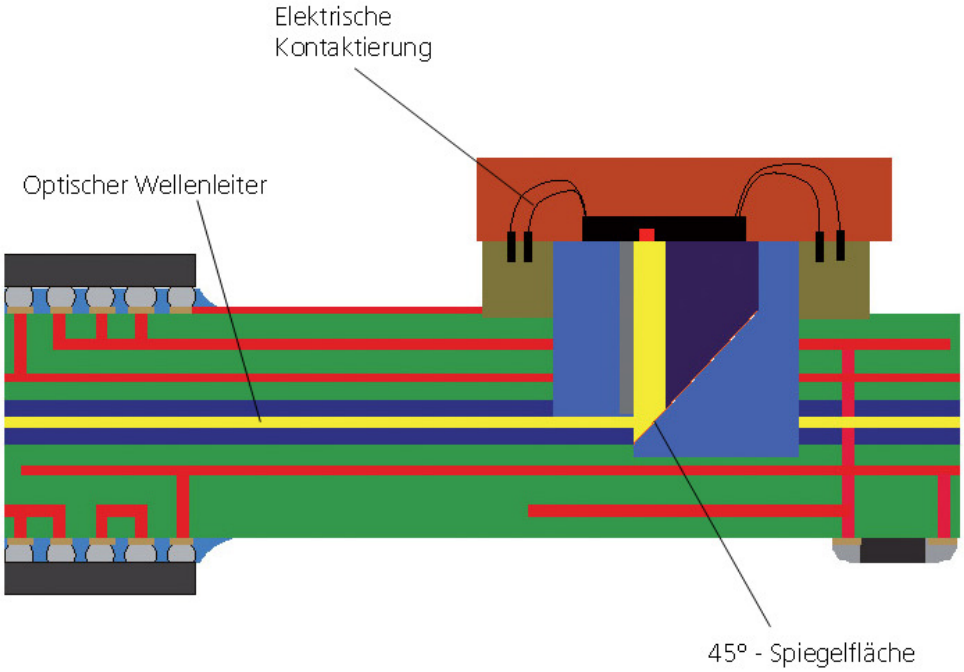

Bild 2: Indirekte Lichteinkopplung (Quelle: Fraunhofer IZM) [2]

Beide Prinzipien verlangen eine hochpräzise dreidimensionale Positionierung und individuelle räumliche Ausrichtung der Koppelelemente. Jede einzelne Laser- bzw. Photodiode sollte möglichst genau in der Mitte des Wellenleiters platziert werden. Ein typischer Wellenleiterquerschnitt ist z.B. 45 µm x 45 µm. Eine Lasserdiode hat einen Durchmesser von ca. 10 µm. Für eine verlustarme Laserlichteinkopplung dürfen vertikale und horizontale Positionierfehler nicht größer als 5 µm sein. Für die Lagejustierung sind dabei sehr feinfühlige Stellschritte von 0,5 µm auszuführen. Aufgrund der Mehrfach-anordnung der Wellenleiter nebeneinander ist der Winkelfehler in der Einkoppelebene gegenüber dem translatorischen Versatz besonders kritisch. Bei einem Pitch von 250 µm und 12facher Anordnung ergibt sich eine einzuhaltende Winkeltoleranz von ± 0,05°. Um auftretende Winkelfehler in diesem Bereich feinfühlig ausgleichen zu können, sind für die Winkellagekorrektur kleinste Stellschritte von 0,07 mrad erforderlich (Bild 3) [3].

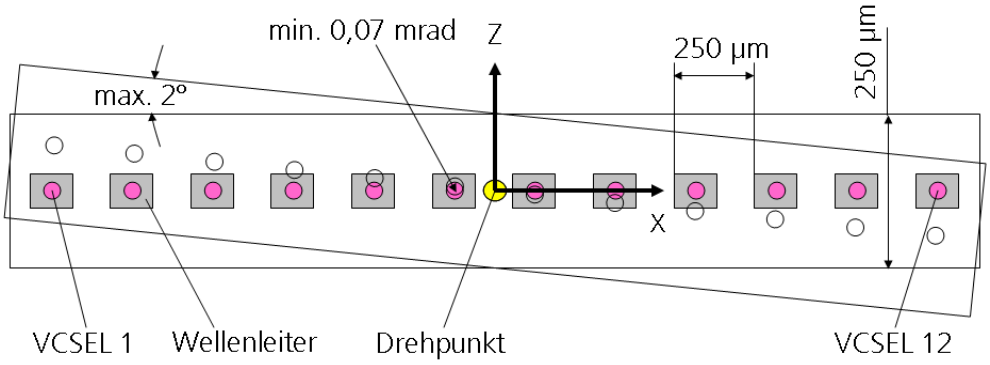

Bild 3: Winkelfehlerausgleich in der Lichteinkoppelebene [3]

Die Drehung des Bauteils muss dabei exakt um einen auf dem gegriffenen Bauteil liegenden Punkt, in diesem Fall dem Chip-Mittelpunkt erfolgen. Von den derzeit am Markt befindlichen Bestückanlagen der Oberflächenmontage kann ein derart definiertes Versenken und Halten der Bauelemente in vertikaler Richtung nicht realisiert werden. Steckbare optische Koppelelemente sind aus fertigungstechnischen Gründen nicht präzise genug herstellbar.

Montagestrategie mit bauteilindividueller Lagekorrektur

Die Montagestrategie für das direkte Koppelprinzip (Bild 4) sieht ein mehrstufiges Greifen und Ausrichten der Sende- und Empfangsmodule mit nachfolgender Lagevermessung und Lagekorrektur vor. Der Multilayer mit optischer Lage (Optofoil) befindet sich auf einem Werkstückträger [4].

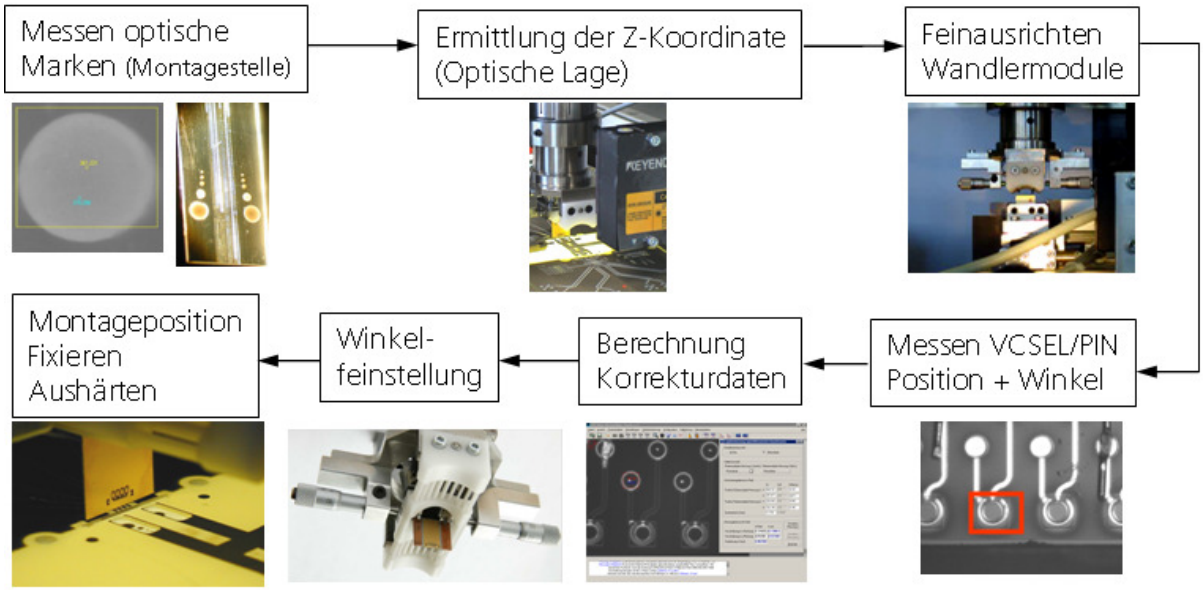

Bild 4: Montagestrategie (direktes Koppelprinzip) [5]

Mithilfe einer ersten in das Positioniersystem integrierten Kamera wird die aktuelle Position (X, Y) anhand von eingebrachten optischen Marken festgestellt und mit einer Sollposition (z. B. CAD-Daten) verglichen. Über eine Z-Abstandsmessung (Laser-

Triangulations-Sensor) an mehreren Messpunkten wird die Oberfläche des Multilayers abgetastet und die Höhenlage der Optofoil mit einer Genauigkeit von 1 µm festgestellt. Die zu montierenden Sende- und Empfangsmodule werden in Formnestern vorsortiert und vorausgerichtet im Fangbereich des Greifers (Toleranz ± 100 µm) bereitgestellt. Die nunmehr vorausgerichteten Bauteile werden in eine definierte Messposition vor eine stationär angeordnete Kamera gebracht und mit einer Bildauflösung von 1 µm in ihrer aktuellen (gegriffenen) Lage gemessen. Als Messobjekte werden hierbei die Funktionselemente VCSEL bzw. PIN selbst genutzt, wodurch geometrisch bedingte Fehlereinflüsse wie z. B. an ungenauen Bauteilkanten erheblich gemindert werden. Anschließend erfolgen die Winkellagekorrektur in der Einkoppelebene unmittelbar im Greifer und nachfolgend die Korrektur des horizontalen und vertikalen Versatzes durch das Positioniersystem.

Systemkonzept für das Mikromontagesystem

Das Grundkonzept sieht ein Positioniersystem (von LPKF Motion & Control GmbH Suhl) mit 4 translatorischen Achsen (X, Y, Z1, Z2) und einer Drehachse (C) vor (Bild 5). Die Wiederholgenauigkeit der translatorischen Achsen liegt bei 0,5 µm, die der Drehachse bei 12 Winkelsekunden. Die Positioniergenauigkeit im Arbeitsraum (800 x 150 x 50 mm^3) beträgt ± 2 µm. Eine integrierte Kamera dient zum Messen der Positionsmarken des Multilayers und kann zum Beobachten des Montagefügespaltes benutzt werden. Im Arbeitsraum des Positioniersystems ist ein Werkstückträger mit zusätzlicher φ-Feinstellung (entwickelt von Xenon Automatisierungstechnik GmbH Dresden) angeordnet, der die optische Leiterplatte aufnimmt, sowie die Formnester und eine pneumatisch ansteuerbare Ausrichtstation, an der eine stationäre Messkamera 2 angeordnet ist [4]. Im nachfolgenden Bild 5 sind die wesentlichen Systemkomponenten bezeichnet [5]:

A Präzisionsachsen X, Y, Z1, Z2, C
B Tiltgreifer mit mechanischer Schnittstelle
C Integrierte CCD-Messkamera (1), mitbewegt
D stationäre Messkamera (2)
F Kamera, zentrisch zur Z-Achse, mitbewegt
G Werkstückträger mit zusätzlicher Winkelfeinstellung
H Klebestation; XYZ-Bewegung, 2fache Dosiereinrichtung

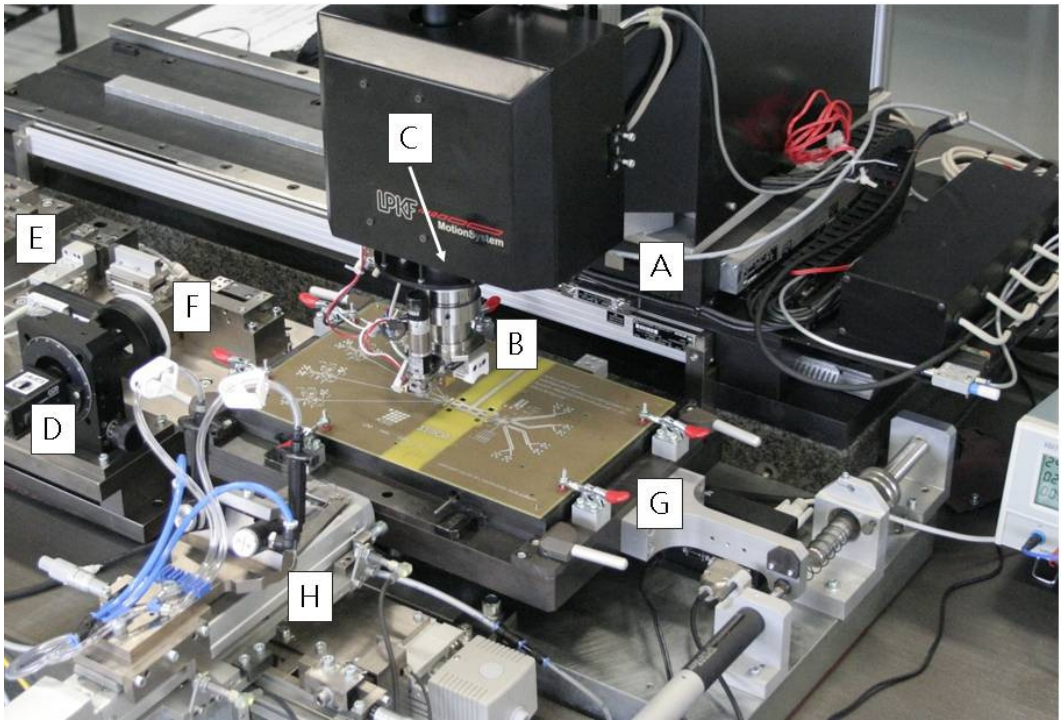

Bild 5: Systemkomponenten des Anlagendemonstrators [5]

Ein von GPPmbH Chemnitz neu entwickeltes Softwareprogramm *GPP Vision Mikrohandling* berechnet aus den Messdaten des Bildmesssystems im Vergleich zu hinterlegten Solldaten sowohl die erforderlichen Korrekturdaten als auch die aktuelle Montageposition und gibt die dafür notwendigen Positionierdaten an die Achssteuerung weiter [4].

Greiferintegrierte Winkelfeinstellung

Eine wesentliche Komponente des Handlingsystems ist ein neuentwickelter Präzisionsgreifer mit Tiltfunktion (Bild 6). Eine spezielle Biegegelenkstruktur gestattet das spielfreie Einstellen und Halten kleinster Winkellagen (bis 0,004°) in einem Stellbereich von ± 2° zusätzlich zur Greiffunktion. Die spezielle Neigung der Biegegelenke um einen außerhalb der Struktur liegenden Drehpunkt ermöglicht ein Drehen der gegriffenen Mikrokomponente um einen auf dem Bauteil liegenden Drehpunkt. Das ist für hochgenaue Ausrichtvorgänge sehr wichtig, weil eine herkömmliche Greiferschwenkbewegung über Nebenachsen zu einer Verlagerung des gesamten Bauteils führen würde. Durch Variation der Greiferspitzenlänge und der Greifhöhe am Bauteil lässt sich die Grundanordnung für unterschiedliche Bauteilgrößen anpassen. Als Greifwerkzeuge kommen pneumatisch ansteuerbare Miniaturgreifer (von Xenon Automatisierungstechnik GmbH Dresden) zum Einsatz, deren Greifspitzen bauteiloptimiert angepasst werden können und leicht auswechselbar sind.

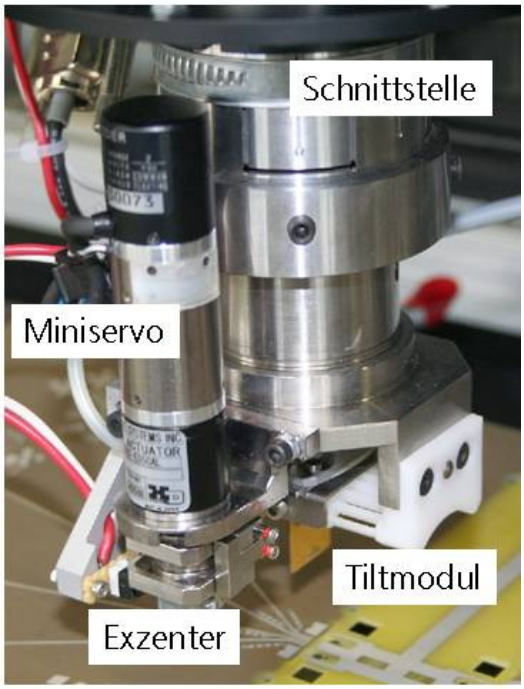

Bild 6: Präzisionsgreifer mit Winkelfeinstellung

Die V-förmige Anordnung der sehr schlanken und leichten Greifer ermöglicht die zentrische Freistellung für den Strahlengang eines Makroobjektives. Für die Ankopplung des Greifmoduls in das Führungssystem wurde eine massereduzierte mechanische Greiferschnittstelle mit einer Lagereproduzierbarkeit < 2 µm entwickelt.

Mit dem Miniservoantrieb RH-5A von HarmonicDrive® steht ein standardmäßiger elektromotorischer Antrieb zur Verfügung. Die Getriebeuntersetzung liegt bei 100:1. Zur Umwandlung der Rotationsbewegung in eine geradlinige Antriebsbewegung für das Tiltmodul kommt eine Sonderlösung mit Exzenter von Micromotion zum Einsatz. Für eine komplette 360° Drehung stehen in Verbindung mit der LPKF-Servosteuerung in jede Auslenkungsrichtung (max. 2°) 80.000 mögliche Stellschritte zur Verfügung [5].

Anwendungsbeispiele und erste Ergebnisse

Das beschriebene Systemkonzept wurde zuerst für die Platzierung von Sende- und Empfangsmodulen nach dem direkten Koppelprinzip umgesetzt und erprobt. Dabei waren die Bauteile im passiven Zustand, also ohne Signalrückkopplung, zu montieren. In mehreren gestaffelten Versuchsreihen wurden komplette Montagedurchläufe erprobt und insgesamt 10 Testmuster eines Demonstrators der optischen Leiterplatte (Bild 7) erfolgreich bestückt. Die Montagegenauigkeit im automatisierten Ablauf lag in dem vorgegebenen Toleranzbereich von ± 5 µm/ ± 0,05°. Mit dem Funktionieren der optischen Übertragungsstrecke bei allen montierten Platinen konnte der Nachweis erbracht werden, dass das Anlagenkonzept und die neuartige Lösung einer greiferintegrierten Winkelfeinstellung einen entscheidenden Beitrag zur hochgenauen Lagezuordnung von Mikrobauteilen unmittelbar im Montageablauf leisten kann.

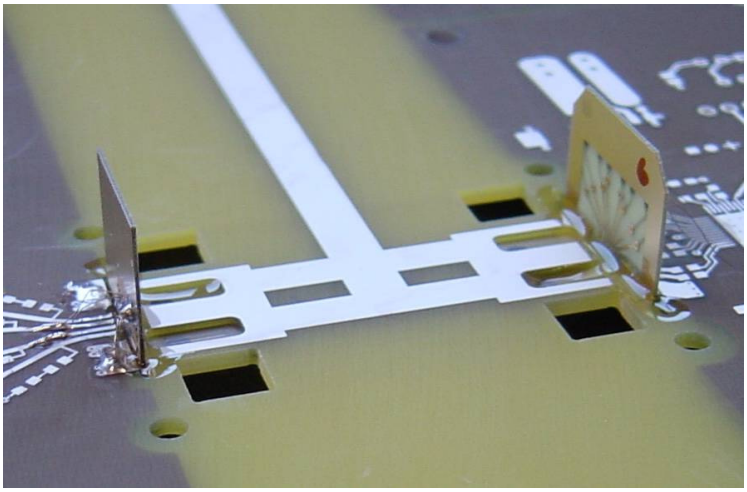

Bild 7: Mit Sende- und Empfangsmodul bestückte Platine (direkte Lichteinkopplung)

Das vom BMBF im Rahmenprogramm „Mikrosysteme 2004 bis 2009“ geförderte Verbundprojekt „Montageintegrierte Multisensor-3D-Messtechnik“ MIMS [3] knüpfte an diese Forschungsarbeiten an und hat durch eine gezielte und systematische Erforschung von Möglichkeiten zur kontaktfreien dreidimensionalen Bauteilvermessung im Montageprozess das vorhandene Grundkonzept eines flexibel einsetzbaren Mikromontagesystems auf eine qualitativ höhere Entwicklungsstufe geführt. Im Ergebnis ist ein schnellerer Prozessablauf bei hoher Prozesssicherheit und –genauigkeit möglich.

Im Rahmen dieses Verbundprojektes entwickelte sich eine Kooperation mit dem parallel laufenden Projekt NegIT (New Generation Interconnection Technolgy), in dem u.a. die Entwicklung von Technologien und Verfahren für das Anbringen von Verbindungs- und Justierungselementen in den optischen Lagen bzw. den Wellenleitern im Mittelpunkt stand [2]. Mit der realisierten Anpassung des Anlagenkonzeptes auf die Justage der Bauelemente aus dem Negit-Projekt (Negit-Pin (Bild 8) und U-Ferrule) konnte an den aktuellen Stand der Forschung auf dem Feld der optischen Leiterplatte angeknüpft werden. Neben Zuverlässigkeit und Genauigkeit konnte damit auch die Modularität und Anpassfähigkeit des Anlagenkonzeptes überzeugend demonstriert werden.

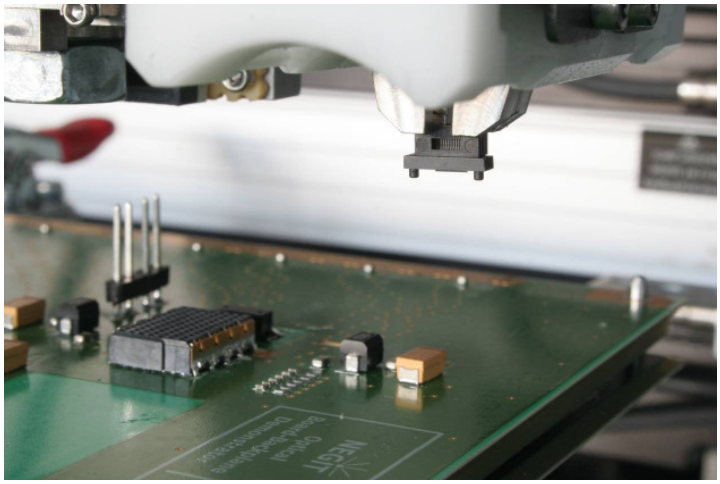

Bild 8: Negit-Pin im Montagegreifer

Mithilfe des neu entwickelten modularen Präzisionsgreifers lassen sich Mikromontagestrategien mit prozessintegrierter bauteilindividueller Lagekorrektur besser umsetzen. Im Zusammenspiel von greiferintegrierter Winkelfeinstellung mit hochgenauen Achskinematiken zur Greiferführung können Lagekorrekturverfahren sowohl mit als auch ohne Signalrückkopplung hochgenau ausgeführt werden. Mit dem neuartigen Funktionsprinzip zur hochpräzisen Winkelfeinstellung können Montagegenauigkeiten kleiner 5 µm besser anlagentechnisch beherrscht werden und das manuelle Feinausrichten kann aus der Prozesskette der Mikromontage herausgelöst werden.

Quellenangaben:

[1] Schmieder, K.: Aspekte der Aufbau- und Verbindungstechnik elektro-optischer Verdrahtungsträger. Dissertation, TU Dresden 2002, In: Themenreihe Elektronik-Technologie in Forschung und Praxis, Vol. 10, Sauer, W.; Wolter, K.-J. (Herausgeber), Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, 2003

[2] Schröder, H.: Elektro-optische Leiterplatten und Mikrosysteme zur optischen Kopplung. http://www.elektroniknet.de/home/elektromechanik/fachwissen/uebersicht/l/verbindungstechnik/negit-new-generation-interconnection-technology/druckversion/

[3] BMBF-Verbundprojekt MIMS. http://www.mstonline.de/foerderung/projektliste/pdf/V3MPT037.pdf

[4] Schubert, A.; Schulz, B.; Freitag, H.: Modular System Concept for Ultra-Precision Assembly. In: Proceedings of the 6th euspen International Conference – Baden bei Wien, May 2006, Volume 2, pp. 76-79

[5] Schubert, A.; Neugebauer, R.; Schulz, B.: System Concept and Innovative Component Design for Ultra-Precision Assembly Processes. In: Towards Synthesis of Micro-/Nano-systems, The 11th International Conference on Precision Engineering (ICPE), August 16-18, 2006, Tokyo, Japan, Kimura, F. ; Horio, K. (Eds.), Springer-Verlag London, pp. 29-34

Angaben zu den Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schubert

Leiter der Professur für Mikrofertigungstechnik
an der Technischen Universität Chemnitz;

Abteilungsleiter Präzisions- und Mikrofertigung
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz

andreas.schubert@iwu.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Bertram Schulz

wiss. Mitarbeiter/ Projektleiter
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz

Aufgabengebiet :
Komponenten und Betriebsmittel für die Mikrofertigung

bertram.schulz@iwu.fraunhofer.de Internet: www.iwu.fraunhofer.de