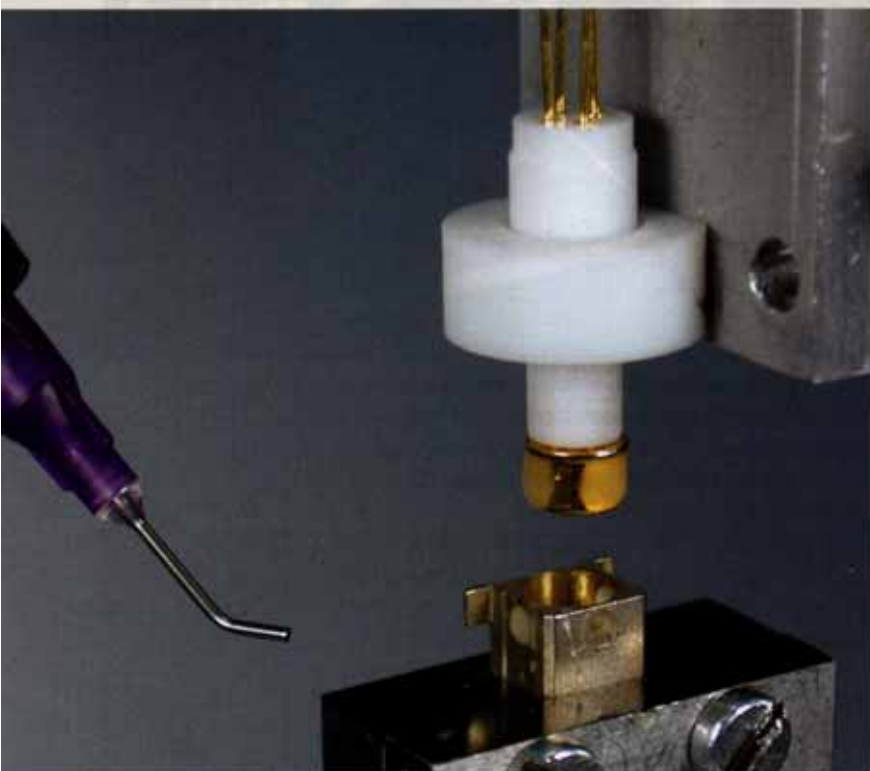


# Stressarmes Kleben in der Elektro-Optik

In der Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme gewinnt die Klebtechnik stetig an Bedeutung. Art und Qualität der Montage bestimmen direkt die Produktionskosten sowie die Leistung und **ZUVERLÄSSIGKEIT** des Gesamtsystems. Eine der Hauptursachen für Fehler und Ausfälle ist Stress in der Klebverbindung.



**Bild 1.** Eintauchen der VCSEL-Diode in das SMD-Gehäuse mit anschließendem Klebstoff-Dispensen in der Fertigung

## THOMAS GESANG, GERHARD FRIEDSAM UND VOLKER KLOCKE

Internet-Verbindungen und E-Mail-Verkehr nutzen zur Datenfernübertragung vielfach Glasfasern. Die Wandlung von elektrischen Signalen der PCs in optische und umgekehrt geschieht mittels spezieller Baugruppen. Anhand einer derartigen Baugruppe wurde das Einkleben einer VCSEL-Diode (Vertical Cavity Surface Emitting Laser Diode) in ein SMD-Gehäuse (Surface Mount Sevice) bei aktiver Rückkopplung untersucht (**Bild 1**). **Bild 2** links zeigt die Diode im TO-46-Gehäuse mit den elektrischen Anschlüssen, mittig silberfarbig das SMD-Gehäuse und rechts die Präzisions-Steckkupplung für die Glasfaser. Entscheidend bei dieser Anwendung ist die langzeitstabile Klebung bei spezifikationsgemäßer Einfügedämpfung. Die emittierte Wellenlänge beträgt 850 nm.

## > KONTAKT

INSTITUT  
**Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik  
 und Angewandte Materialforschung (IFAM)**  
 28359 Bremen  
 Tel. +49/421/2246-474  
 Fax +49/421/2246-77-474  
[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

Die besondere Schwierigkeit bei dieser Anwendung ist, dass die optische Achse der VCSEL-Diode um bis zu 0,25 mm von der geometrischen Achse des TO-46-Gehäuses differieren kann. Um die genannte Minimierung der Einfügedämpfung durch Bewegen der Diode zu ermöglichen, hat die Aufnahme des SMD-Gehäuses ein Übermaß von 0,5 mm bezogen auf den Außendurchmesser des TO-46-Gehäuses der VCSEL-Diode. Bei der Fertigung können also stark außermittige (nicht zentrosymmetrische) Klebungen notwendig werden. Die Dicke der Klebschicht kann im Extremfall zwischen fast null auf der einen Seite und 0,5 mm auf der anderen Seite variieren. Im Projekt wurden sowohl experimentelle Untersuchungen als auch Finite-Elemente-Modelling durchgeführt. Im Projekt haben die Gruppe 'Kleben in der Mikrofertigung' des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen, der Lehrstuhl für Aufbau- und Verbindungstechnik der TU Dresden (FEM) und das Unternehmen Spinner GmbH als Anwender zusammengearbeitet.

## Alterungsbedingte Dejustage ist zu berücksichtigen

Zur Herstellung der Klebung wird die VCSEL-Diode in das SMD-Gehäuse eingeführt, Klebstoff durch die Öffnungen im SMD-Gehäuse dispent, die von der VCSEL-Diode in die Glasfaser eingestrahlte Lichtintensität maximiert (durch Bewegen der Diode in X-, Y- und Z-Richtung) und der Klebstoff gehärtet. Bei optimaler Anordnung der Diode in der Fertigung beträgt die nachträgliche, maximal zulässige Verschiebung relativ zum SMD-Gehäuse (Dejustage)





Bild 2. Klebung einer VCSEL-Diode in ein SMD-Gehäuse

$\pm 10 \mu\text{m}$ , da ansonsten eine messbare Verschlechterung der Einfügedämpfung resultiert. Dies gilt für die noch verwendeten Multimode-Fasern. Für zukünftig zu verwendende Monomode-Fasern beträgt die geforderte Toleranz  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Diese Präzision ist in der Telekommunikation unter verschiedenen Alterungsbedingungen für 25 Jahre zu gewährleisten. In der Klebung eventuell vorhandener Stress führt während der Alterung (Temperatur, Zeit) zur Relaxation von Spannungen und somit zu Positionsveränderungen bis hin zur Dejustage. Das Alterungsverhalten und die daraus resultierende Dejustage der Verklebung sowie deren Optimierung sind heute weitgehend unbekannt. Sie sollten im Rahmen des Projekts untersucht und optimiert werden. **Bild 1** gibt den Fertigungsschritt des Eintauchens der VCSEL-Diode (oben) in das SMD-Gehäuse (unten) mit dem anschließenden Klebstoff-Dispensen wieder.

Das zur Füllung des Hohlzylinders zwischen SMD-Gehäuse und VCSEL-Diode notwendige Klebstoffvolumen wurde bestimmt und die dazu notwendige Klebstoffmasse klebstoffspezifisch über die Dichte berechnet. Dann wurden für jeden Klebstoff die hierfür notwendigen Dispensparameter (Druck-Zeit-Dispenser) ermittelt. Je ein Drittel dieser Masse wird in jede der drei dafür vorgesehenen Bohrungen in den Hohlzylinder eingebracht.

### Grundsätzliche klebtechnische Lösung

Zunächst wurde zur Auswahl potenziell geeigneter Klebstoffe ein umfangreiches Lastenheft erarbeitet, das Aspekte behandelt wie

- Temperatureinsatzbereich,
- Dispensfähigkeit,
- Rheologie (Fließverhalten),
- Härtung (Vollständigkeit, Dauer),
- Härtungsschrumpf,
- Haftung auf Gold und Neusilber,
- thermomechanische Eigenschaften (thermischer Expansionskoeffizient CTE, Elastizitäts-,

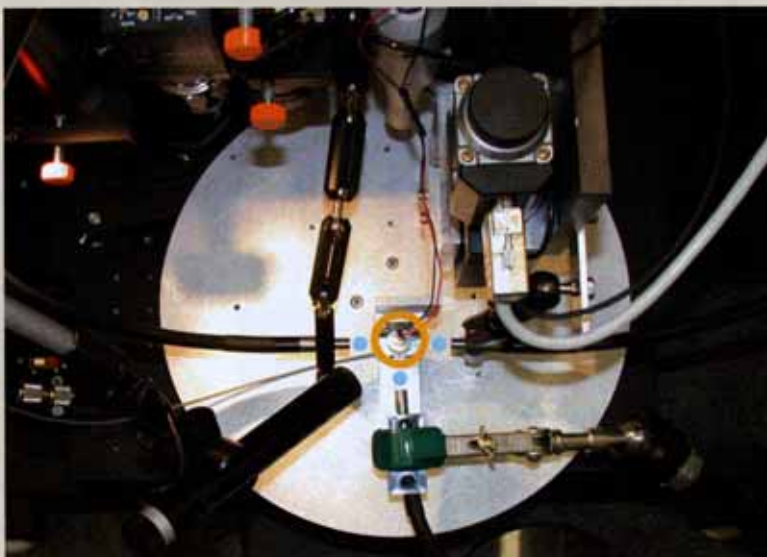


Bild 3. Montageprozess

Schubmodul) sowie

- Konfektionierung (Zahl der Komponenten, Gebindeart und -größe).

Die Klebstoffauswahl resultierte in 23 epoxid- oder acrylatbasierten Klebstoffen, die UV-härtend oder kombihärtend (UV + thermisch) waren. Ein Screening der Klebstoffe wurde zunächst anhand von Modellproben und später mittels realer Muster durchgeführt und betrachtete folgende Eigenschaften:

- Dispensfähigkeit,
- Benetzung im Zwischenraum von VCSEL-Diode und SMD-Gehäuse ohne Benetzung der Linse der VCSEL-Diode,
- sichere Härbarkeit im gesamten Klebstoffvolumen (auch im Schattenbereich),
- Verbundfestigkeit auf Gold und Neusilber sowie
- thermomechanisches Verhalten bei unterschiedlichen Temperaturzyklen.

Mit den besten Klebstoffen war ein Versagen der Beinchen der VCSEL-Diode erst bei einer Ausreißkraft von mehr als 250 N zu verzeichnen.

### Entwicklung der teilautomatisierten Montage

Zur Herstellung der Musterklebungen VCSEL-Diode in SMD-Gehäuse wurde ein Montageprozess entwickelt, der eine automatisierbare Mikromontage-Anlage des Herstellers Klocke Nanotechnik nutzt (**Bild 3**). **Bild 2** zeigt links die VCSEL-Diode mit den vier Anschlussdrähten. Silberfarbig ist das SMD-Gehäuse zu sehen. Vorn links und vorn oben sind insgesamt zwei der drei Bohrungen erkennbar, durch die der Klebstoff eingefüllt wird. Rechts verläuft die Glasfaser, die mit einer Präzisions-Keramikferrule in das SMD-Gehäuse eingeklinkt wird.

Für Diode und SMD-Gehäuse wurde jeweils ein spezifischer Adapter beziehungsweise Probenhalter gefertigt. Der Adapter der Diode dient der mechanischen Befestigung und trägt auch die elektrischen Zuleitungen. Bei dem Montageprozess ist die Anordnung vertikal orientiert (Diode oben, ähnlich Bild 1).



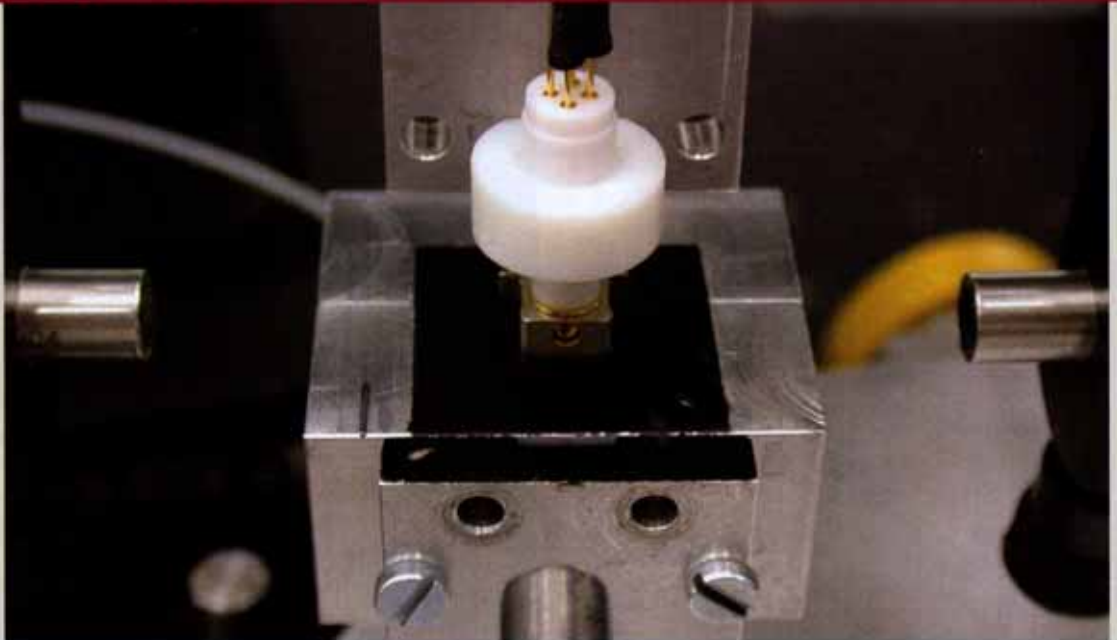


Bild 4. Detailaufnahme des Montageprozesses

Die leuchtende Diode wird mittels der Bewegungsachsen der Mikromontage-Anlage in das SMD-Gehäuse eingetaucht. Die Glasfaser leitet das eingekoppelte Licht in ein Intensitätsmessgerät. Mithilfe eines programmierten Algorithmus wird die Diode in X-, Y- und Z-Richtung bewegt, bis das eingekoppelte Signal maximal ist. Der Algorithmus findet zunächst in groben Schritten und dann mit feinen Schritten von typischerweise  $0,5 \mu\text{m}$  das Maximum.

Danach wird Klebstoff in die drei Einfüllbohrungen des SMD-Gehäuses dispensiert. Das zu dispensierende Volumen sowie die optimalen Dispensparameter waren in Vorversuchen bestimmt worden. Schließlich erfolgt die UV-Härtung mittels dreier UV-Lichtleiter, die vor den Einfüllbohrungen platziert sind. Sofern der Klebstoff kombihärtend war, erfolgte eine thermische Nachhärtung. **Bild 3** stellt die Anordnung in Draufsicht dar. Orange umkreist ist der Adapter der VCSEL-Diode, blau hervorgehoben ist die UV-Strahlung der Lichtleiter. Der Diodenadapter ist an einem Schrittmotor montiert, der die Bewegung in Z-Richtung erlaubt. Der Probenhalter des SMD-Gehäuses ist auf

dem in **Bild 3** gut sichtbaren Drehteller fixiert, der wiederum auf X- und Y-Achsen befestigt ist. **Bild 4** zeigt in einer Detailaufnahme den Adapter und den Probenhalter, die VCSEL-Diode und SMD-Gehäuse teilweise verdecken. **Bild 1** stellt die Komponenten ohne Verdeckung dar. **Bild 5** zeigt die in die Glasfaser eingekoppelte Intensität als Funktion der lateralen radialen Justage. Bei mehr als  $10 \mu\text{m}$  Abweichung von der optimalen lateralen Position (Abszisse) der Diode nimmt die Intensität rapide ab. Die axiale Justage ist weniger empfindlich. Aus diesem Grund muss eine bei der Positionierung der Diode eingenommene optimale Position bei den nachfolgenden Fertigungsschritten

- Klebstoffdispensen,
- UV-Härtung und
- gegebenenfalls thermische Nachhärtung sowie bei der
- Alterung im Einsatz

besser als  $10 \mu\text{m}$  eingehalten werden. Dies bedingt eine bezüglich Stressarmut optimierte Montage- und Klebtechnik.

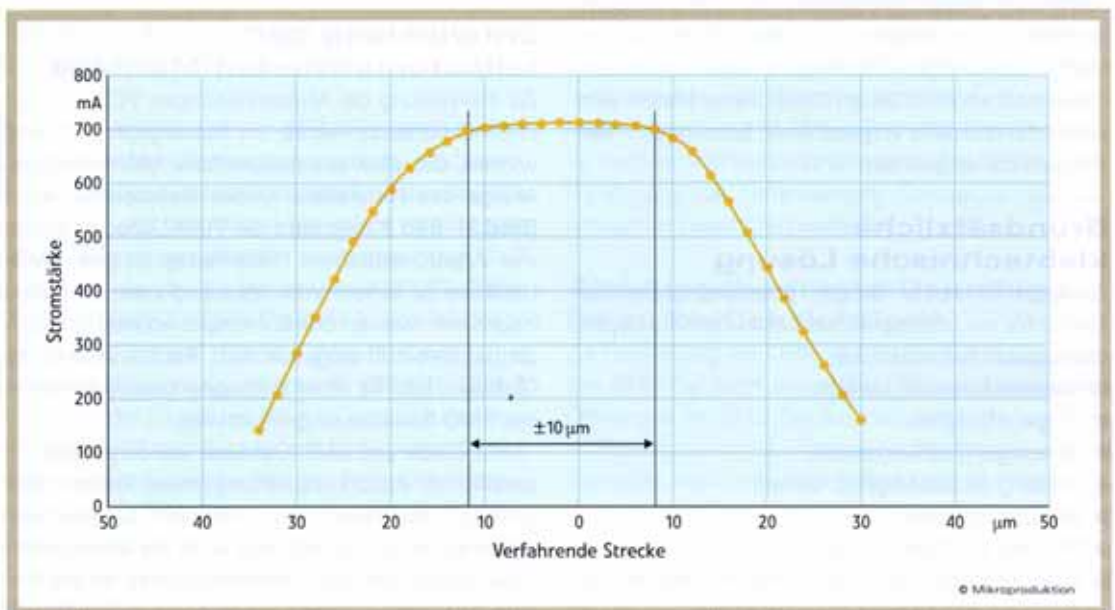


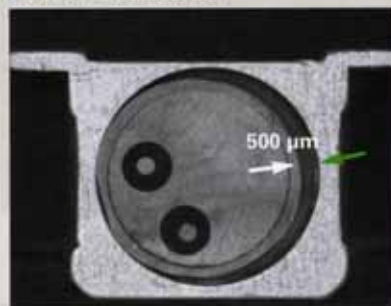
Bild 5. In die Glasfaser eingekoppelte Intensität als Funktion der lateralen Position der Diode



Bild 6. Modellklebung zur Analyse der Positionsstabilität



Bild 7. Probenpräparation für die Positionsvermessung



Zur Erzielung einer stressarmen Montagetechnik für die Klebung einer VCSEL-Diode in ein SMD-Gehäuse wurden folgende Herstellungsverfahren untersucht:

- zwei Klebstoffe (Schrumpf, E-Modul etc.),
- zwei Fügeteilgeometrien (drei beziehungsweise vier Einfüllbohrungen nach Optimierung),
- zwei Klebschichtgeometrien (durchgehend, nur bei den Einfüllbohrungen),
- zwei Positionierungsvarianten (mittig, außermittig),
- drei Härtungsvarianten,
- mit und ohne Bewegungsbehinderung (Fixierung während Härtung).

### Entwicklung stressarmer Kleb- und Montagetechnik

Diese Klebungen wurden bezüglich der Position der Diode relativ zum SMD-Gehäuse und bezüglich der in die Faser eingekoppelten Intensität untersucht. Dabei ist die in die Faser eingekoppelte Intensität die in der Praxis wichtige Größe und korreliert mit der Einfügedämpfung. Im Gegensatz dazu gestattet die Kenntnis der Veränderung der Diodenposition die Untersuchung der für Änderungen der Einfügedämpfung ursächlichen Phänomene. Hierbei kamen

folgende Zustände der Proben zur Untersuchung:

- eingekoppelte Intensität optimiert (grob),
- eingekoppelte Intensität optimiert (fein),
- Klebstoff dispent (eine gewisse Fixierung der Diode erfolgte durch ihre im Adapter befindlichen Anschlussdrähte, Bild 4),
- UV-Härtung gemäß Datenblatt,
- teilweise Wiederholung der UV-Härtung zur Untersuchung der Vollständigkeit der UV-Härtung,
- gegebenenfalls thermische Nachhärtung,
- nach 300 h bei 85 °C,
- nach 650 h bei 85 °C,
- nach 1000 h oder 1100 h bei 85 °C,
- nach 1250 h bei 85 °C sowie
- nach 2000 h (oder 2100 h) bei 85 °C.

Bei den in den ersten drei Punkten beschriebenen Zuständen sind nur Messungen der eingekoppelten Intensität, nicht aber der Diodenposition möglich. Ausgewählte Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend präsentiert.

Zur Vermessung der geometrischen Position der Diode musste ein geeignetes Messverfahren entwickelt werden. Voruntersuchungen hatten gezeigt, dass laterale Verschiebungen (X, Y = quer zur optischen



# IP-520

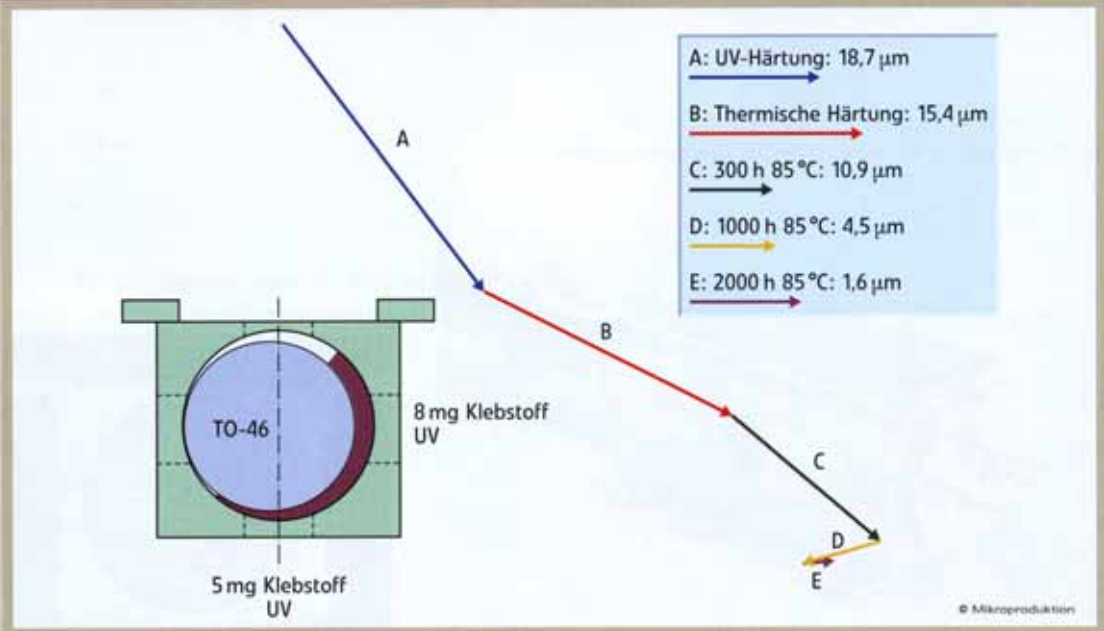
Automatisieren nach Schweizer Art

- Komponenten aufnehmen, Ausrichten und Platzieren mit Kraftüberwachung - sowie Fügen und Setzen
- Schrauben, Dosieren, Stempeln, Dippen in Flüssigkeiten und Pasten
- Ausmessen, Inspizieren, Prüfen, Kontrollieren, Steuern und Regeln
- Erkennen der absoluten oder relativen Position und der Winkellage
- Die- und Flipchip-Bonden
- Aushärten und Löten

**ZEVAC**  
MIKROPLATZIEREN • VERBINDEN • AUTOMATISIEREN

ZEVAC AG Deutschland  
D-85630 Grasbrunn / München  
Telefon: +49 (0)89 / 461 69 63  
www.zevac.de

Bild 8. Positionsmessungen bei Probe SV1



Achse) der Diode für die Einfügedämpfung deutlich kritischer sind als axiale Verschiebungen (Z = Strahlrichtung = optische Achse).

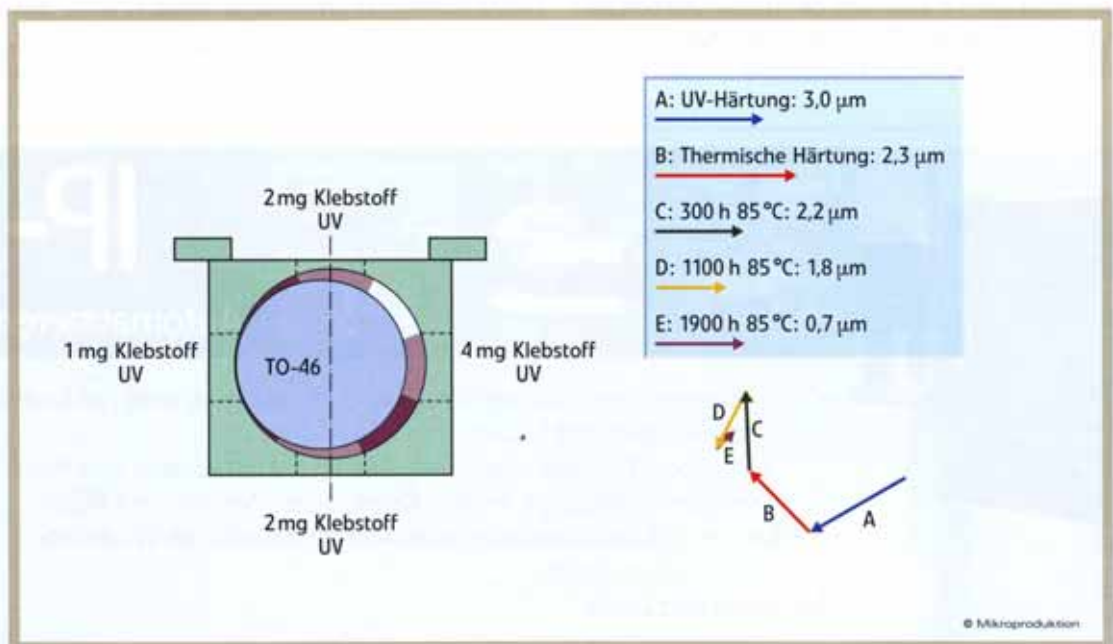
### Untersuchung der Positionsstabilität der Justage

Folglich sollte die laterale Position respektive Verschiebung der VCSEL-Diode relativ zum SMD-Gehäuse bestimmt werden. Aufgrund der Größe der Stirnfläche des SMD-Gehäuses war ein Messfeld von circa  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  notwendig. Wegen der Empfindlichkeit der Einfügedämpfung von lateralen Verschiebungen der Diode war eine Messgenauigkeit von besser  $2 \mu\text{m}$  erwünscht (Bild 5). Da Messungen bereits während der Herstellung der Klebungen beginnen sollten, musste sich die Messeinrichtung direkt innerhalb der Mikromontage-Anlage befinden. In umfangreichen Versuchsreihen konnte die Messaufgabe schließlich mittels digitaler Bilderfassung und Objekterkennung gelöst werden. Eine besondere Schwierigkeit stellte

dabei auch die Ausleuchtung der Proben dar, die über die gesamte Alterungsdauer der Proben (mehr als 2000 h) konstant bleiben und auch für gealterte Proben (Anlauffarben) geeignet sein musste. Die Untersuchung der Positionsstabilität erfolgte an Modellklebungen. Es wurden – mit den VCSEL-Dioden vergleichbare – preisgünstigere Transistoren ebenfalls in vergoldetem TO-46-Gehäuse in die SMD-Gehäuse eingeklebt (Bild 6).

Zur Anwendung des genannten Messverfahrens wurden die Klebungen metallografisch präpariert (Bild 7). Eingezeichnet ist auch das Ausmaß der Exzentrizität. Bei der späteren Interpretation der Ergebnisse war ergänzend die Verteilung des Klebstoffs im Fügeseit von Belang. Diese wurde nach Abschluss der Alterungen durch metallografische Untersuchungen ermittelt. Bild 8 zeigt die Positionsmessungen und die Klebstoffverteilung bei der nicht stressoptimierten Probe SV1. Mittig ist blau das TO-46-Gehäuse dargestellt, außen grün das SMD-Gehäuse.

Bild 9. Positionsmessungen bei Probe SV8





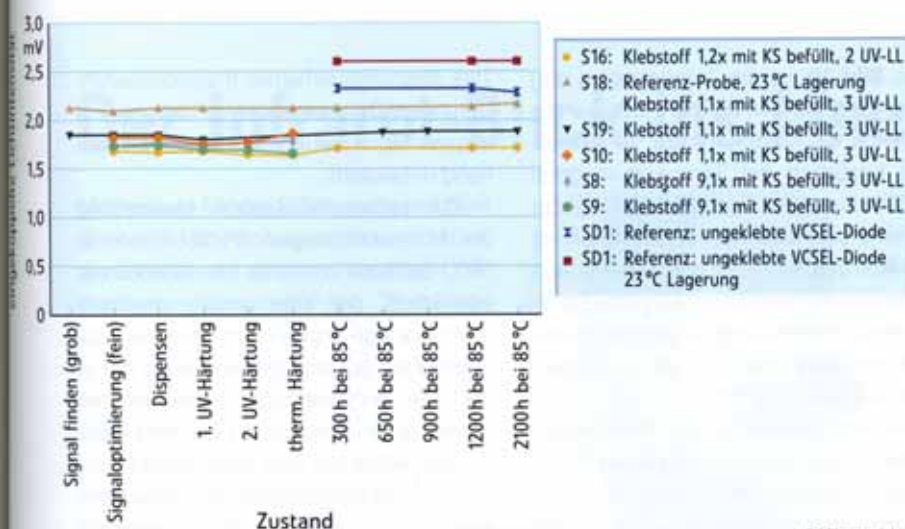


Bild 10. In die Faser eingekoppelte Lichtintensität

Das TO-46-Gehäuse ist außermittig platziert (ungünstigster Fall). Die Befüllung mit Klebstoff (Bild 1, lila in Bild 8) erfolgte durch zwei Einfüllbohrungen, bei denen später auch die UV-Härtung stattfand. Die UV-Härtung führt zu einer Verschiebung von 18,7 µm des TO-46-Gehäuses (Pfeil A in Bild 8) in Richtung des durch die Härtung schrumpfenden Klebstoffvolumens. Diese Verschiebung setzt sich bei der thermischen Härtung fort, indem im Schattenbereich befindliche Klebstoffanteile unter Schrumpfnachhärten. Die weitere, gleichgerichtete 10,9-µm-Verschiebung bei der 300-h-85°C-Alterung würde auf eine unvollständige thermische Härtung hindeuten, was jedoch laut Datenblatt nicht der Fall gewesen sein sollte. Bei der weiteren Alterung finden geringere Verschiebungen statt.

Die Probe SV8 stellt eine stressoptimierte Klebung dar (Bild 9). Das SMD-Gehäuse war mit vier Einfüllbohrungen versehen, sodass sich eine symmetrischere Verteilung des Klebstoffs und der Härtungsenergie erreichen ließ. Außerdem erfolgte eine schonendere UV-Härtung mit geringerer Intensität und über eine längere Zeit. Das präparative Ziel – das Vorliegen des Klebstoffs vor allem bei den vier Einfüllbohrungen – wurde unter anderem wegen der rheologischen Eigenschaften des Klebstoffs zwar nicht erreicht, aber dennoch weist diese stressoptimierte Klebung die mit Abstand geringste Gesamtverschiebung von 4,9 µm gegenüber der anfänglichen Justage auf.

### Untersuchung der Stabilität der Einfügedämpfung

Die oben untersuchten Verschiebungen der Relativposition VCSEL-Diode zu SMD-Gehäuse resultieren in einer Reduktion der in die Faser eingekoppelten Lichtintensität, wenn die laterale Verschiebung größer ist als etwa 10 µm. Bild 10 verdeutlicht für verschiedene Proben, dass die eingekoppelte Lichtintensität bei verschiedenen Zuständen der Proben im Verlauf der Herstellung und Alterung (85°C) praktisch konstant bleibt. Bei Referenzproben (Lagerung bei 23°C,

WIR SIND DIE  
NUMMER 1



## Miniatur-Wechsel-Parallelgreifer MWPG

Der kleinste schnell wechselbare Parallelgreifer der Welt.

MOTEK · Halle 1 · Stand 1501

www.schunk.com





Mechatronic and Micro-Mechatronic Systems

**MECHATRONIK TAGE**  
Internationale Konferenz und Fachmesse

**Die Konferenz - Die Themen**

- Ausbildung
- Automatisierung
- Anwendung
- Entwicklung
- Maschinenbau
- Mechatronische Systeme
- Medizintechnik
- Mikrosensoren
- Mikrosystemtechnik
- Nanotechnologie
- Optik
- Robotik

... und andere mehr

Sichern Sie sich **JETZT**  
Ihre Teilnahme unter:  
[www.mechatronik-tage.de](http://www.mechatronik-tage.de)

mit **Job-Börse**  
für Ingenieure

15. - 16. September 2008  
Kongresszentrum Karlsruhe

Veranstelt von:  
**KMK**  
IDEEN VERBINDEN.  
Karlsruhe  
Messen und Kongresse

siehe **Bild 10**) ist die Zuordnung zu den Alterungszuständen auf der Abszisse nur bezüglich der Zeiträume zu verstehen, nicht bezüglich der Temperaturangabe 85 °C. Anhand der Einfügedämpfung des Systems sind also während Herstellung und Alterung keinerlei durch Dejustage bedingte Verschlechterungen zu beobachten. Insbesondere liegt die eingekoppelte Lichtintensität immer über dem spezifizierten Niveau von 1,0 mW.

Bei den durchgeführten Messungen wurde die Justage mittels aktiver Rückkopplung vorgenommen, was zumeist zu eher mittigen Klebungen der VCSEL-Diode relativ zum SMD-Gehäuse führte. Bei den anfangs untersuchten Verschiebungen wurde jedoch bis auf eine Ausnahme der ungünstigste Fall mit außermittiger Platzierung des TO-46-Gehäuses im SMD-Gehäuse gewählt und damit ein hoher Stress erzeugt. Diese Ausnahme zum Vergleich mit den Ergebnissen aus Bild 10 ist Probe SV3, die mittig verklebt wurde. Hier lag nach der UV-Härtung eine Verschiebung von 8,3 µm vor, die eventuell aus dem ±10-µm-Plateau geführt haben könnte (**Bild 5**). Nach der thermischen Härtung befindet sich das TO-46-Gehäuse jedoch bis auf 3,2 µm wieder in der gleichen Position wie nach der Justage. Die Alterung resultiert in weiteren, kleinen Verschiebungen mit einer schlussendlichen Gesamtverschiebung von 3,9 µm relativ zur ursprünglichen Justageposition. Die Messung der eingekoppelten Lichtintensität bestätigt dieses Ergebnis tatsächlich. Bei der zur Probe SV3 korrespondierenden Probe S19 ist der leichte Einbruch der Lichtintensität bei der UV-Härtung bei ansonsten etwa konstant hoher Intensität gut zu erkennen. Mit den entwickelten Verfahren und Parametersätzen wurden stressoptimierte Demonstrator-Klebungen der VCSEL-Diode im SMD-Gehäuse aufgebaut. Dies demonstriert die industrielle Umsetzbarkeit des Montageprozesses in einer teilautomatisierten Fertigung.

### Zusammenfassung

Der untersuchte Mikroklebprozess ist die Klebung einer VCSEL-Diode in ein SMD-Gehäuse bei aktiver Rückkopplung. Wegen der Toleranzen der zu verklebenden Bauteile können stark inhomogene Klebschichtdicken notwendig werden. Die Klebung muss eine Justage von besser ± 10 µm unter Einsatzbedingungen für 25 Jahre spezifikationsgemäß gewährleisten.

Das Alterungsverhalten (Positionsveränderungen/ Dejustage) der Verklebung und dessen Optimierung sind heute weitgehend unbekannt.

Zur teilautomatisierten Herstellung der Musterklebungen ›VCSEL-Diode in SMD-Gehäuse‹ wurde ein Montageprozess entwickelt, der eine programmierbare Mikromontage-Anlage nutzt. Nach der automatisierten Justage (Maximierung der in die Faser eingekoppelten Lichtintensität) erfolgt die UV-Härtung des Klebstoffs in der Anlage und später eine thermische Nachhärtung. Die Plateaubreite des genannten Maximums wurde zu ±10 µm bestimmt und legt die bei den nachfolgenden Fertigungsschritten und die im Einsatz langzeitstabil erforderliche Positionsstabilität fest. Es wurde deutlich, dass die größten Positionsverschiebungen während der UV-Härtung, der thermischen Nachhärtung und in den ersten 300 Stunden der 85-°C-Alterung auftreten. Diese Verschiebungen können bei nicht stressoptimierten, außermittigen Klebungen (stark inhomogene Klebschichtdicken) jeweils 10 bis 20 µm betragen und fast gleich gerichtet sein. In Summe ergibt sich eine Verschiebung von über 40 µm, wobei nur 10 µm zulässig sind. In Bezug auf die genannten Einflussbereiche stressoptimierter Klebungen betragen diese Verschiebungen 3,0 µm mit einer Gesamtverschiebung von 4,9 µm gegenüber der anfänglichen Justage. Somit bleiben nur die stressoptimierten Klebungen sicher im erlaubten Bereich.

Die Untersuchungen wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen ›Otto von Guericke e.V.‹ (AiF) (AiF-Nr.: 13.361, N/DVS-Nr.: 10.031) gefördert und von der Forschungsvereinigung ›Schweißen und verwandte Verfahren e.V.‹ des DVS unterstützt. ■ MI100230

### AUTOREN

Dr. THOMAS GESANG ist am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Bereich ›Klebtechnik und Oberflächen‹, zuständig für das ›Kleben in der Mikrofertigung‹; [ge@ifam.fraunhofer.de](mailto:ge@ifam.fraunhofer.de)

Dr.-Ing. GERHARD FRIEDSAM ist Gruppenleiter der Entwicklung Optische Technologie bei der Spinner GmbH  
Dr. VOLKER KLOCKE leitet das Unternehmen Dr. Volker Klocke Nanotechnik in Aachen; [info@nanomotor.de](mailto:info@nanomotor.de)