

# Solder Bumping – ein neues, flexibles AVT-Verfahren für optoelektronische Systeme



Erik Beckert



Thomas Burkhardt



Ghassem Azdasht<sup>1</sup>



Thomas Oppert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pac Tech GmbH, Nauen

Das präzise Fügen ist neben dem Justieren der wichtigste Teilprozess im Aufbau optischer und optoelektronischer Systeme, da in diesem letzten Schritt der Montageprozesskette wesentliche Funktionsparameter der montierten Komponente wie Position sowie elektrische und thermische Kontaktierung innerhalb des Mikrosystems dauerhaft fixiert werden. Das in der Optik und in der Mikrosystemtechnik verbreitete Standardfügeverfahren Kleben ist bezüglich bestimmter Einsatzbedingungen limitiert, da polymerbasierte Klebstoffe in der Regel eine eingeschränkte elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie eine begrenzte Temperatur- und Langzeitstabilität aufweisen. Das bedeutet, dass Klebstoffe ungeeignet für Anwendungen im Vakuum, unter Strahlenlast oder in kryogener Umgebung sind. Eine Alternative zum Kleben sollte ähnliche Freiheitsgrade bezüglich der einfachen Applizierung des polymerfreien Fügehilfsstoffs innerhalb geometrisch komplexer Mikrosysteme zur Verfügung stellen.

## Laserstrahllöten als alternatives Fügeverfahren

Das Löten als stoffschlüssiges Fügeverfahren erfüllt die Forderung nach einem mechanisch stabilen und strahlungsresistenten Fügehilfsstoff, der darüber hinaus elektrisch und thermisch leitend ist. Im Gegensatz zu Reflow-Prozessen der Elektronikfertigung ist eine Metallisierung der Fügeflächen auf den optischen Komponenten z. B. aus Glas notwendig. Zur Vermeidung

der Kontamination optischer Funktionsflächen ist es erforderlich, flussmittelfrei (Flussmittel dienen der Verbesserung der Benetzung) zu arbeiten. Weiterhin ist die Reflow-Energie räumlich und zeitlich diskret einzutragen, um Beschädigungen der empfindlichen Bauelemente zu vermeiden.

## Solder Bumping

Das laserbasierte Solder Bumping nach /1, 2/ ist eine Technologie, die in einem Gerät die Teilprozesse der Bereitstellung, des Umschmelzens und der Applizierung von Lot an beliebigen Fügestellen vereint und sich deshalb besonders zur flexiblen Applizierung von kleinen Lotvolumina in komplexen Montageumgebungen eignet. Der Verfahrensablauf des laserbasierten Solder Bumping ist in Abb. 1 dargestellt. In einem Vorratsbehälter werden als Schüttgut Lotkugeln gleichen Durchmessers bereitgestellt, wobei gegenwärtig Durchmesser im Bereich von 100 µm bis 760 µm genutzt werden können. Die Lotlegierung ist weitgehend frei wählbar aus einer Palette von niedrigschmelzenden BiSn-Loten über Standard SnAgCu-Lote der Bleifrei-Elektronik bis hin zum bekannten hochschmelzenden AuSn-Lot der Optoelektronik. Eine aus dem Vorratsbehälter vereinzelt Lotkugel wird zu Beginn des Lötprozesses in eine Platzierkapillare gefördert und mittels Stickstoff-Überdruck gegen deren Ausgang gepresst, welcher einen geringfügig kleineren Durchmesser als die Lotkugel selbst aufweist.

# Solder Bumping – a new and flexible packaging technology for optoelectronic systems



Precise joining is, apart from the optical alignment itself, the most crucial sub-task when assembling optoelectronic systems. Within this last task of the assembly process chain, important functional parameters of the packaged components such as position, but also electrical and thermal connections, have to be fixed precisely and long term stable. Polymeric adhesive bonding, the most commonly used joining technology in micro optics and micro system technology, is in certain application environments limited due to the fact that polymer based adhesives exhibit disadvantages in terms of electrical and thermal conductivity as well as temperature and long term stability. Adhesives are therefore not suitable for applications in vacuum, cryogenic or radiation environments. Alternatives should exhibit the same degree of freedom for easy application of a polymer free joining media within miniaturized and geometrically complex micro systems.

## Laser based soldering

Soldering as an adhesion based technology offers the advantages of a mechanically, thermally and radiation stable metallic joining media that is also electrically and thermally conductive. But in contrast to reflow technology in electronics manufacturing it is a prerequisite to create metallization for wetting of the solder on optical components that are usually made of glass. To prevent contamination of optically functional surfaces it is further necessary to work in a fluxless regime, resulting in difficult wetting behaviour. A local and time-restricted reflow energy input is also required in order to prevent damage to the sensitive and brittle components.

## Solder bumping

Laser based solder bumping /1, 2/ is a technology that offers all these capabilities and unites the tasks of solder feeding, its reflow and application on various wetting geometries and thus is particularly suitable for flexible application of small solder volumina in complex assembly environments. The process regime of laser based solder bumping is shown in Fig. 1. From a reservoir solder spheres with a very tight tolerated diameter are fed to the bumping device. Currently solder sphere diameters range from 100  $\mu\text{m}$  to 760  $\mu\text{m}$ , while the alloy can be chosen from the wide range of low melting BiSn solders to standard SnAgCu solders known from Pb-free electronics manufacturing to the high melting AuSn solder of optoelectronics. At the beginning of the process the singulated solder sphere gets transferred into a bumping capillary, where it is pressed by nitrogen pressure against the capillary outlet, which is slightly smaller in diameter than the solder sphere.

Abb. 1:  
Prinzip des laserbasierten Solder Bumping.

Fig. 1:  
Basic principle of laser based solder bumping.



Wird nach dem Bereitstellen der Lotkugel durch die Kapillare ein Laserimpuls (Dauer bis zu 25 ms) auf das Lotvolumen fokussiert, absorbiert dieses die applizierte Energie weitgehend, schmilzt um und wird durch den Stickstoff-Überdruck aus der Platzierkapillare ausgestoßen. Im flüssigen Zustand legt das Lotvolumen mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 m/s einen Weg zwischen 1 mm und max. 6 mm im Freiflug in der Inertgasatmosphäre (Stickstoff) zurück. Gleichzeitig trifft der durch die nun freie Kapillare austretende Laserstrahl die anvisierte Benetzungsfläche und wärmt diese lokal kurzzeitig vor. Trifft das flüssige Lotvolumen auf der Benetzungsfläche auf, gibt dieses aufgrund des extrem guten thermischen Kontakts (Flüssigphase des Lots) die im Volumen gespeicherte Energie an die zu benetzende Oberfläche ab und formt bei Erstarrung die zur Verbindungsbildung notwendigen intermetallischen Phasen.

Durch die Dynamik des Vorgangs gelingt es, die zur Verbindungsbildung notwendige Energieverteilung sehr lokal zu konzentrieren und Wärmeleitung von der Fügestelle weg weitgehend zu vermeiden. Mit der Parametrisierung der im Lotvolumen gespeicherten Energie kann weiterhin flexibel auf verschiedene Benetzungsverhältnisse (Wärmesenken-Verhalten der Fügepartner) wie auch empfindliche Komponenten (z. B. spröde Glasbauteile mit Metallisierung) reagiert werden. Da lediglich der Vereinzelungs-

vorgang auf der Schwerkraft beruht, kann die Platzierkapillare nach der Vereinzelung einer Lotkugel prinzipiell frei im Raum, z. B. durch einen Roboter, bewegt und geschwenkt werden. Dies erlaubt es, Lot in komplexe und schwer zugängliche Geometrien oder auch an senkrecht stehende Benetzungsflächen (Abb. 2) zu applizieren. Mit der in Abb. 3 gezeigten Gerätekonfiguration konnten Bump-Richtungen erfolgreich erprobt werden, die bis zu 45° von der Vertikalen abwichen. Freifluglängen des flüssigen Lots im Bereich 1 mm bis maximal 6 mm wurden realisiert mit dabei erreichten Zielgenauigkeiten von  $\pm 30 \mu\text{m}$  bis  $\pm 150 \mu\text{m}$ . Weiterhin ist es möglich, mit Lotkugeldurchmessern von 400  $\mu\text{m}$  Fügespalte bis zu ca. 100  $\mu\text{m}$  zu überbrücken. Damit ist eine ausreichende Flexibilität gewährleistet, um auch in komplexen Geometrien oder variablen Justierzuständen den Fügehilfsstoff zu applizieren.

## Montage von FAC-Linsen vor Diodenlaserbarren

Hauptziel der Montage in der optoelektronischen Mikrosystemtechnik ist es, den oft mit viel Aufwand eingestellten Justierzustand während des Fügens und anschließend innerhalb der Produktlebensdauer im Rahmen der vorgegebenen Toleranzgrenzen zu erhalten. Die durch das aus der Flüssigphase erstarrende und auf Raumtemperatur abkühlende Lot eingetragene thermomechanischen Spannungen beeinflussen den Justierzustand. Dies kann durch kleine Fügespalte und minimale Lotvolumina reduziert werden.

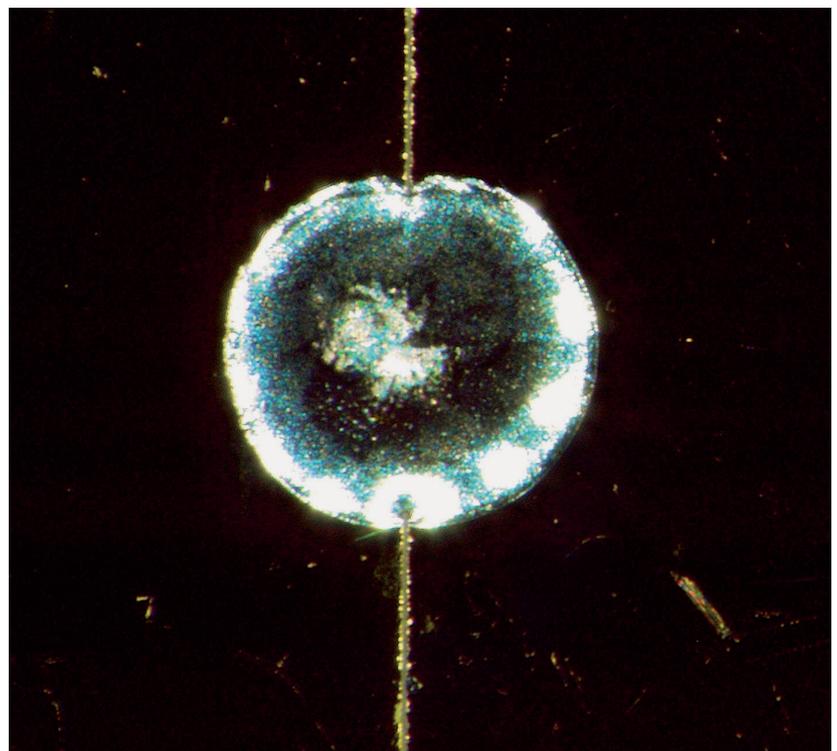


Abb. 2:  
Lot-Bump, appliziert an senkrecht stehenden Fügeflächen.

Fig. 2:  
Solder bump, applied to a vertical arranged joining area.



Then a laser pulse (length ranging up to 25 ms) focuses onto the solder sphere, which absorbs the reflow energy, melts and is pushed out of the capillary by the nitrogen pressure. Now liquid, the solder volume moves with a speed of approx. 1 m/s along a free flow path with lengths ranging from 1 mm up to 6 mm and within an inert nitrogen atmosphere, while in parallel the laser focus now heats up the target wetting area. When the liquid solder volume hits the wetting area, it transfers its energy, due to the very good thermal contact of the liquid solder and the wetting surface, to the metallization, where during resolidification and formation of intermetallic phases a strong bump bond is created.

This process is fast, thus it is possible to restrict the thermal energy transfer to the wetting area itself and limit energy transfer to the surrounding bulk material even in case of high

thermal conductivities. By parametrizing the reflow energy the process can thus flexibly be adapted to different wetting properties due to varying heat sink behaviours of the components to be joined as well as to the components' brittleness (glass parts with metallizations). And since only the singulation of the solder spheres relies on gravity forces the bumping capillary can in principle be moved around and tilted in space in all six degrees of freedom after the sphere is singulated and pressed against the capillary outlet. When this is done e.g. by a robot this feature enables the application of solder on complex, hard to reach, even vertically arranged wetting surfaces (Fig. 2).

Using the bumping device environment shown in Fig. 3 bumping direction angles up to 45° were demonstrated. Moving on free flow paths up to 6 mm the target wetting area can be hit by the molten solder with an accuracy

of  $\pm 30 \mu\text{m}$  to  $\pm 150 \mu\text{m}$ , depending on the actual distance. It was further shown that solder spheres with a diameter of 400  $\mu\text{m}$  can bridge joining gaps up to approx. 100  $\mu\text{m}$ . This enables for enough flexibility to apply the solder in complex geometries or within different alignment states.

### Mounting FAC lenses in front of diode laser bars

The main goal of the assembly of optoelectronic micro systems is usually to maintain the precise and often with high technological effort aligned position of the component during joining and also during the life time cycle of the product itself within tolerable limits. But during resolidification of the liquid solder and its downcooling to room temperatures thermomechanical stress is introduced into the assembly and thus the alignment state is affected. This can be minimized by a small joining gap and using reduced solder volumina.

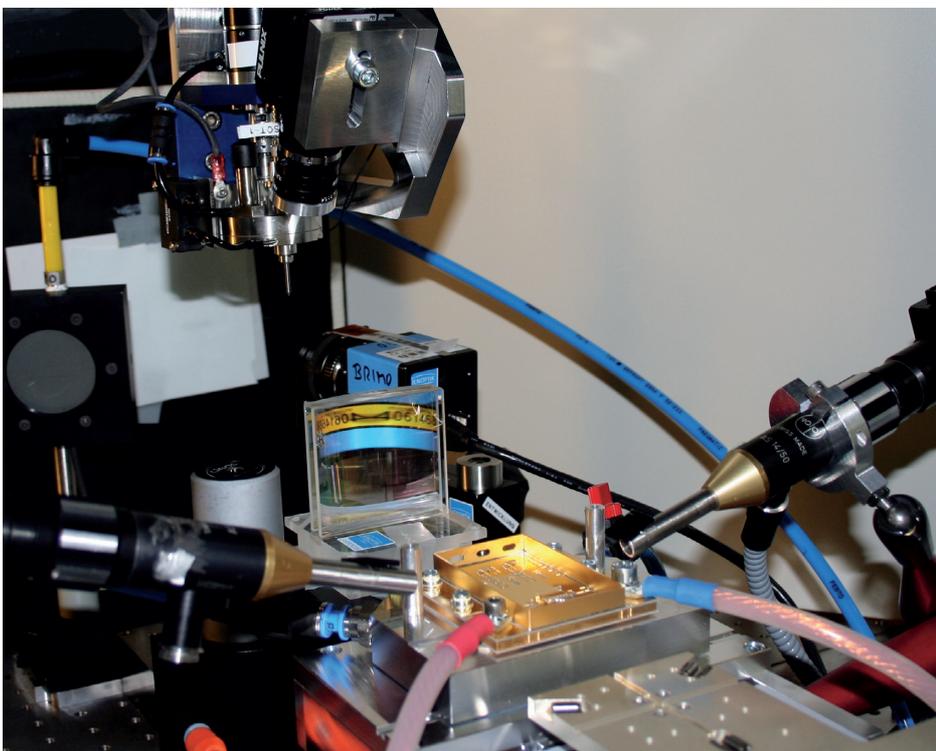


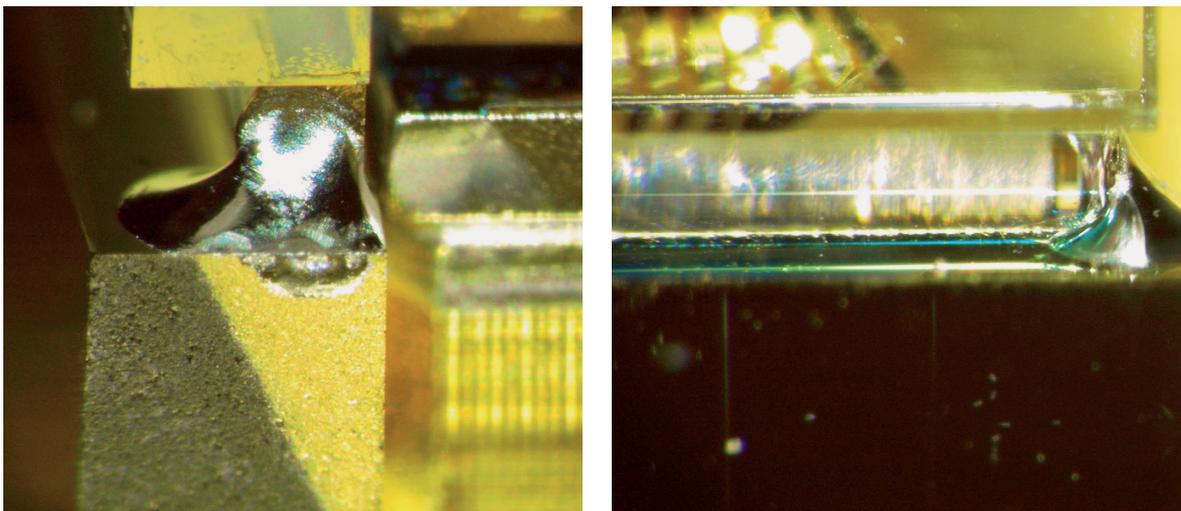
Abb. 3:  
Bump-Vorrichtung, montiert an einem Knickarm-roboter, in Montageumgebung.

Fig. 3:  
Bump device, assembled on a robot and within the assembly environment.

Beispielhaft kann dies anhand des Fügevorgangs asphärischer zylindrischer FACs (Fast Axis Collimator) von Diodenlaserbarren gezeigt werden. Zum Einsatz kommen Bottom-Tabs, die bei Wahrung der notwendigen Justierfreiheitsgrade für die FAC minimale Fügespalte zwischen FAC, Bottom Tab und der Wärmesenke des Lasers als Montagereferenz bereitstellen. Das Justieren und Fügen dieser Baugruppe ist ein komplexer Vorgang, insgesamt werden vier Solder Bumps appliziert, u. a. an den metallisierten Stirnflächen der FAC (Abb. 4). Ein typischer Verlauf der FAC-Dejustierung senkrecht zur Strahlrichtung des Laserbarrens während des gesamten Montagevorgangs ist in Abb. 5 dargestellt. Deutlich wird, dass für die Dejustierung nicht allein die Applizierung des Lots verantwortlich ist, sondern diese sich aus der Gesamtheit der durch Handhabung, Justierung und Fügen der jeweiligen Komponenten eingetragenen mechanischen Spannungen zusammensetzt. Nach einer ersten Prozessoptimierung wurden hier Dejustierungen im Bereich  $\pm 0,5 \mu\text{m}$  nachgewiesen.

Abb. 4:  
Front- und Seitenansicht einer an den Stirnseiten verlöteten FAC-Linse.

Fig. 4:  
Front and side view of an FAC lens that is joined by solder bumps at its end faces.



## Zukünftige Entwicklungen

Neben einer Evaluierung des nutzbaren Parameterfeldes des Solder Bumping unter Berücksichtigung verschiedener Materialkombinationen und Fügegeometrien sollen in Zukunft statistisch auswertbare Experimentaldaten zur Festigkeit der Lötverbindung generiert werden. Hauptgegenstand weiterer Untersuchungen wird die Reproduzierbarkeit der Verbindungsbildung hinsichtlich der sich einstellenden Dejustierung sein, um geeignete Strategien zur Kompensation im Submikrometerbereich ableiten zu können. Weiterhin wird eine Erweiterung des Anwendungsbereiches des Solder Bumping hin zu extrem empfindlichen Baugruppen durch den Einsatz niedrigschmelzender Lote oder zu extremen Einsatzbedingungen wie kryogenen Temperaturen durch die entsprechende Materialqualifikation von Lotlegierungen und eine FEM-basierte Optimierung der Fügegeometrien angestrebt. Damit wird die Prozess- und Produktionsreife des vorgestellten Fügeverfahrens erreicht und nachgewiesen.

## Danksagung

Teile der vorgestellten Arbeiten wurden durch das BMBF im Rahmen des Projektes BRIMO (FKZ 13N8616) gefördert.

### Literatur:

- /1/ DE 10132567: Verfahren und Vorrichtung zum Aufbringen eines Lötmittels auf einem Substrat.
- /2/ Zakel, E.; Oppert, T.; Azdasht, G.: Laser assisted Wafer Level Packaging for MEMS. In: Proceedings of the Semicon Europa (Munich, Germany), April 19, 2004.
- /3/ Banse, H.; Eberhardt, R.; Beckert, E.; Stöckl, W.: Laser Beam Soldering – a New Assembly Technology for Microoptical Systems. In: Microsystems Technologies 11, 2005, pp.186–193.



An example are cylindrical aspheric Fast Axis Collimator (FAC) lenses that need to be assembled in front of diode laser bars. The usage of Bottom Tabs allows for all necessary six degrees of freedom for alignment while simultaneously creating virtually zero joining gaps between FAC and Bottom tab as well as Bottom Tab and heat sink of the diode bar, which is the assembly reference in this case. Alignment and joining of this assembly is a complex process in which overall four solder bumps are applied, inter alia at the end faces of the FAC lens (Fig. 4). A typical development of the dealignment of the FAC lens vertically to the beam and in the fast axis direction during the whole assembly process is shown in Fig. 5. It is evident that dealignment not only occurs due to application of the solder, but also due to overall handling, alignment and joining and the resulting mechanical and thermomechanical stress. After basically optimizing the process first results indicate that it is possible to reach a dealignment of the FAC lens in the range of  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ .

## Future developments

Besides the further evaluation of usable parameter fields for the solder bumping process, taking different material combinations and joining geometries into account, in future it is planned to generate statistical experiment data e.g. for mechanical strength of the bumped solder joints. The main subject for subsequent evaluations will be the reproducibility of the bumping process in terms of dealignment, in order to deduce potential strategies for compensation in the sub-micron range. Further application fields for the solder bumping technology will include the usage of low melting solder alloys for very sensitive assemblies or for extreme usage in assemblies for cryogenic environments by a respective material qualification and an accompanying FEM simulation. As a result the process and production stability of the solder bumping technology will have been attained and proven.

## Acknowledgements

This research and development project was partially funded by the German federal ministry of education and research (BMBF) within the project "BriMo" (fund number 13N8616) and managed by the Project Management Agency VDI-Technologiezentrum (VDI-TZ) within the framework "Optische Technologien".

### References:

- /1/ DE 10132567: Verfahren und Vorrichtung zum Aufbringen eines Lötmittels auf einem Substrat.
- /2/ Zakel, E.; Oppert, T.; Azdasht, G.: Laser assisted Wafer Level Packaging for MEMS. In: Proceedings of the Semicon Europa (Munich, Germany), April 19, 2004.
- /3/ Banse, H.; Eberhardt, R.; Beckert, E.; Stöckl, W.: Laser Beam Soldering – a New Assembly Technology for Microoptical Systems. In: Microsystems Technologies 11, 2005, pp.186–193.

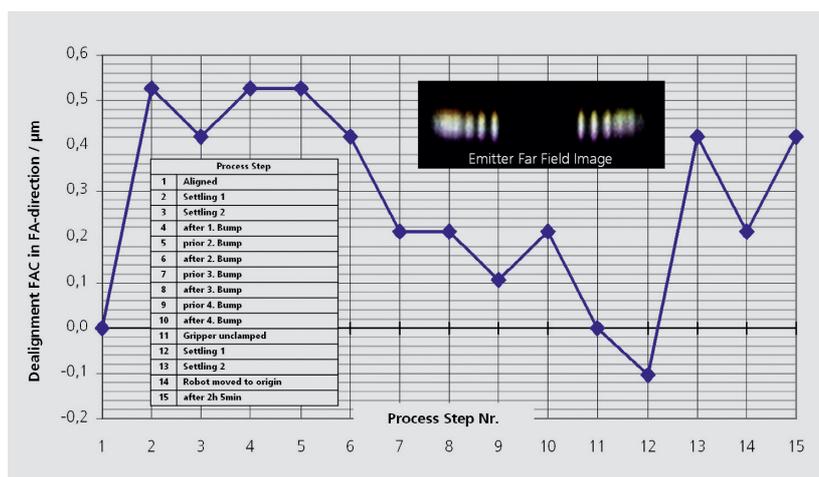


Abb. 5: Verlauf der Dejustierung der FAC senkrecht zur Strahlrichtung während des gesamten Montagevorgangs.

Fig. 5: Dealignment development of the FAC lens in fast axis direction during a whole assembly process.