

(19) SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 700 015 B1

(51) Int. Cl.: B06B 1/06  
B06B 3/00 (2006.01)  
3/00 (2006.01)

**Erfolgspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00583/07

(73) Inhaber:  
Oerlikon Assembly Equipment AG, Steinhausen,  
Hinterbergstrasse 32  
6330 Cham (CH)

(22) Anmeldedatum: 04.04.2007

(72) Erfinder:  
Martin von Arx, 6314 Unterägeri (CH)  
Silvan Thürlemann, 6314 Unterägeri (CH)

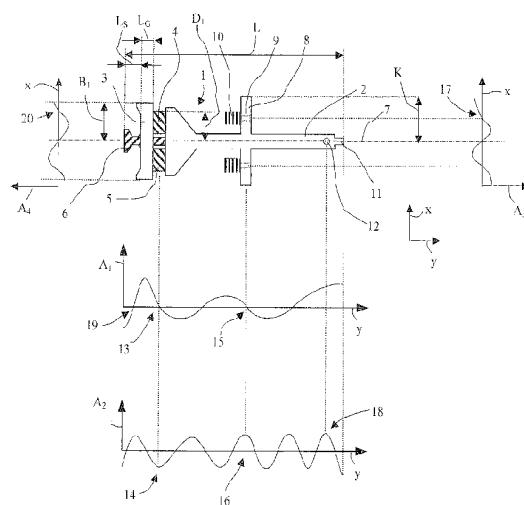
(24) Patent erteilt: 15.06.2010

(74) Vertreter:  
Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk, Eichholzweg 9A  
6312 Steinhausen (CH)

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.06.2010

### (54) Ultraschall Transducer.

(57) Ein Ultraschall-Transducer (1) umfasst ein längliches Horn (2), ein Gegenstück (3), zwei piezoelektrische Antriebe (4, 5) und eine Schraube (6). Das Gegenstück ist mittels der Schraube am Horn befestigt und klemmt dabei die beidseitig einer Längssachse (7) des Ultraschall-Transducers angeordneten piezoelektrischen Antriebe zwischen dem Horn und dem Gegenstück ein. Der Ultraschall-Transducer ist so konzipiert dass die Spitze einer im Horn eingespannten Kapillare in zwei verschiedenen Richtungen schwingen kann.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Transducer.

[0002] Solche Ultraschall-Transducer werden bei sogenannten Ball Wire Bondern verwendet. Ein Wire Bonder ist eine Maschine, mit der Halbleiterchips nach deren Montage auf einem Substrat verdrahtet werden. Ein Ball Wire Bonder ist ein Wire Bonder, bei dem der Draht durch eine Längsbohrung der Kapillare geführt und mittels der Kapillare auf den Anschlusspunkten befestigt wird, während bei einem sogenannten Wedge Wire Bonder anstelle der Kapillare ein spezielles Wedge-Werkzeug vorhanden ist, das auch als Sonotrode bekannt ist. Der Ultraschall-Transducer umfasst ein Horn und einen piezoelektrischen Antrieb für die Anregung einer Ultraschallschwingung im Horn. Die Kapillare ist an einer Spitze des Horns eingespannt. Bei der Herstellung der Drahtverbindung zwischen dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips und dem Anschlusspunkt des Substrats wird das aus der Kapillare ragende Drahtende zunächst zu einer Kugel geschmolzen. Anschließend wird die Drahtkugel, im Fachjargon «ball» genannt, auf dem Anschlusspunkt des Halbleiterchips mittels Druck und Ultraschall befestigt. Dabei wird die Drahtkugel zerquetscht. Diesen Prozess nennt man Ball-bonden. Dann wird der Draht auf die benötigte Drahtlänge durchgezogen, zu einer Drahtbrücke geformt und auf dem Anschlusspunkt des Substrats verschweisst. Diesen letzten Prozessteil nennt man Wedge-bonden. Nach dem Befestigen des Drahts auf dem Anschlusspunkt des Substrats wird der Draht abgerissen und der nächste Bondzyklus kann beginnen. Beim Ball-bonden und beim Wedge-bonden wird das Horn vom piezoelektrischen Antrieb mit Ultraschall beaufschlagt.

[0003] Ultraschall-Transducer sind bekannt, beispielsweise aus den Patenten US 5 603 445, US 5 595 328, US 5 364 005, US 5 180 093, US 5 368 216, US 5 469 011, US 5 578 888, US 5 699 953 und US 6 135 339.

[0004] Die bekannten Ultraschall-Transducer sind so konzipiert, dass sich im Horn eine stehende Ultraschallwelle ausbildet, deren Schwingungen in Längsrichtung des Horns gerichtet sind. Eine solche Ultraschallwelle wird auch als Longitudinalwelle bezeichnet. Der Bondkopf eines Ball Wire Bonders ermöglicht die Bewegung der Spitze der Kapillare in drei Raumrichtungen, wobei der Bondkopf allerdings nur drei Freiheitsgrade hat. Das Horn ist deshalb sowohl bei einem herkömmlichen, auf einem xy-Tisch gelagerten Bondkopf wie auch bei einem rotativen Bondkopf, wie sie aus den Patenten US 5 114 302, US 6 460 751 und WO 2006 036 669 bekannt sind, mehr oder weniger entlang einer vorbestimmten Richtung ausgerichtet, während die Drahtverbindungen in alle Richtungen verlaufen können. Dies führt einerseits dazu, dass die Haftung des Drahts auf den Anschlusspunkten des Substrats nicht bei allen Drahtverbindungen gleich stark ist, und andererseits, dass die Form der zerquetschten «balls» unterschiedlich ist.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Haftung des Drahts auf den Anschlusspunkten des Substrats und eine gleichmässigere Form der zerquetschten «balls» zu erreichen.

[0006] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0007] Ein erfindungsgemässer Ultraschall-Transducer umfasst ein längliches Horn, ein Gegenstück, zwei piezoelektrische Antriebe und eine Schraube. Das Gegenstück ist mittels der Schraube am Horn befestigt und klemmt dabei die beidseitig einer Längsachse des Ultraschall-Transducers angeordneten piezoelektrischen Antriebe zwischen dem Horn und dem Gegenstück ein. Das Horn weist einen Flansch mit mindestens einer Bohrung für die Befestigung des Ultraschall-Transducers an einem Bondkopf eines Wire Bonders auf. Im Ultraschall-Transducer bilden sich bei Beaufschlagung der beiden piezoelektrischen Antriebe mit ersten, gleichsinnigen Wechselspannungen erste Ultraschallschwingungen aus, die parallel zur Längsachse des Transducers gerichtet sind, und bei Beaufschlagung der beiden piezoelektrischen Antriebe mit zweiten, gegensinnigen Wechselspannungen zweite Ultraschallschwingungen, die transversal zur Längsachse des Transducers gerichtet sind. Der Ultraschall-Transducer ist so konzipiert, dass

- die piezoelektrischen Antriebe in einem ersten Knoten der ersten Ultraschallschwingungen liegen,
- die piezoelektrischen Antriebe in einem ersten Schwingungsbauch der zweiten Ultraschallschwingungen liegen,
- der Flansch in einem zweiten Knoten der ersten Ultraschallschwingungen liegt,
- der Flansch in einem zweiten Schwingungsbauch der zweiten Ultraschallschwingungen liegt, und
- die mindestens eine Bohrung des Flansches in einem weiteren Knoten der zweiten Ultraschallschwingungen liegt.

[0008] Das Horn weist eine Bohrung für die Aufnahme der Kapillare auf. Diese Bohrung ist bevorzugt im – gemessen von der Spitze des Horns – zweiten Schwingungsbauch der zweiten Ultraschallschwingungen angebracht.

[0009] Bevorzugt weisen die zweiten Ultraschallschwingungen wenigstens einen Knoten auf, der zwischen dem Kopf der Schraube und den piezoelektrischen Antrieben liegt.

[0010] Bevorzugt weisen die zweiten Ultraschallschwingungen im Gegenstück einen Knoten auf, der in der Nähe des Randes des Gegenstücks liegt.

[0011] Bevorzugt ist eine Breite des Gegenstücks grösser als ein Abstand eines äusseren Randes der piezoelektrischen Antriebe von der Längsachse des Ultraschalls Transducers.

[0012] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und anhand der Zeichnung näher erläutert. Die Figuren sind nicht massstäblich gezeichnet.

- Fig. 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Ultraschall-Transducer in Aufsicht,
- Fig. 2–5 zeigen die Amplitude von verschiedenen Ultraschallschwingungen, die sich im Ultraschall-Transducer bei Beaufschlagung mit einer entsprechenden Wechselspannung ausbilden,
- Fig. 6 die Bahn der Spitze einer Kapillare, die eine Lissajous-Figur schreibt, und
- Fig. 7 eine Steuereinheit für den Ultraschall-Transducer.

[0013] Die Fig. 1 zeigt in Aufsicht einen erfindungsgemäßen Ultraschall-Transducer 1. Die Achsen eines kartesischen Koordinatensystems sind mit x und y bezeichnetet. Der Ultraschall-Transducer 1 besteht aus einem länglichen Horn 2, einem Gegenstück 3, zwei piezoelektrischen Antrieben 4, 5 und einer Schraube 6. Das Gegenstück 3 wird mittels der Schraube 6 am Horn 2 befestigt, wobei die piezoelektrischen Antriebe 4, 5 zwischen dem Horn 2 und dem Gegenstück 3 eingeklemmt werden. Das Gegenstück 3 dient somit als Spannbalken, um die piezoelektrischen Antriebe 4, 5 mechanisch vorzuspannen. Das Horn 2 ist symmetrisch bezüglich seiner Längsachse 7 ausgebildet. Das Horn 2 weist einen Flansch 8 auf, der sich beidseitig der Längsachse 7 erstreckt und Bohrungen 9 aufweist, um den Ultraschall-Transducer 1 an dem in der Zeichnung nur angedeuteten Bondkopf 10 eines Wire Bonders zu befestigen. Das Horn 2 weist zudem in der Nähe seiner Spitze 11 eine senkrecht zur Zeichenebene verlaufende Bohrung 12 auf, in der eine Kapillare befestigbar ist. Die totale Länge des Transducers 1 ist mit dem Bezugszeichen L bezeichnetet, sie reicht vom Ende des Kopfes der Schraube 6 bis zur gegenüberliegenden Spitze 11 des Horns 2. Die Breite B(y) und auch die Dicke D(y) und damit die Masseverteilung des Horns 2 des Transducers 1 verändert sich in y-Richtung. Der vordere Teil des Horns 2 ist beispielsweise konisch ausgebildet.

[0014] Der Ultraschall-Transducer 1 dient dazu, die Spitze der im Horn 2 eingespannten Kapillare in Ultraschallschwingungen zu versetzen. Der Ultraschall-Transducer 1 stellt ein schwingendes System dar, bei dem alle Teile, nicht nur das Horn 2, schwingen. Der erfindungsgemäße Ultraschall-Transducer 1 ist so konzipiert, dass die beiden piezoelektrischen Antriebe das Horn 2 in einem ersten Betriebsmodus zu Ultraschallschwingungen, d.h. stehenden Ultraschallwellen, anregen, die in Längsrichtung des Horns 2 gerichtet sind, wobei dann auch die Spitze der Kapillare parallel zur Längsachse 7 des Horns 2 gerichtete Schwingungen ausführt. Solche Ultraschallschwingungen werden auch als Longitudinalschwingungen oder stehende Longitudinalwellen bezeichnet. Weil die Schwingungen der Spitze der Kapillare in y-Richtung verlaufen, wird dieser Modus im Folgenden als Y-Modus bezeichnet. Der erfindungsgemäße Ultraschall-Transducer 1 ist weiter so konzipiert, dass die beiden piezoelektrischen Antriebe das Horn 2 in einem zweiten Betriebsmodus zu Ultraschallschwingungen (d.h. wiederum stehenden Ultraschallwellen) anregen, die transversal zur Längsachse des Horns 2 gerichtet sind, wobei dann auch die Spitze der Kapillare transversal zur Längsachse 7 des Horns 2 gerichtete Schwingungen ausführt. Solche Ultraschallschwingungen werden auch als Biegeschwingungen bezeichnet. Weil die Schwingungen der Spitze der Kapillare hier in x-Richtung verlaufen, wird dieser Modus im Folgenden als X-Modus bezeichnet.

[0015] Im Y-Modus werden die beiden piezoelektrischen Antriebe 4, 5 mit gleichsinnigen Wechselspannungen beaufschlagt, so dass sie in y-Richtung immer gleichzeitig gedehnt und zusammengezogen werden. Im X-Modus werden die beiden piezoelektrischen Antriebe 4, 5 mit gegensinnigen Wechselspannungen angeregt, so dass der erste piezoelektrische Antrieb 4 in y-Richtung gedehnt wird, wenn der zweite piezoelektrische Antrieb 5 in x-Richtung zusammengezogen wird.

[0016] Im Folgenden werden verschiedene Eigenschaften erläutert, die der Transducer 1 entweder aufweisen muss oder bevorzugt aufweisen sollte, damit die Amplitude der Schwingungen der Spitze der Kapillare sowohl im Y-Modus als auch im X-Modus des Transducers 1 ein zum Drahtboden brauchbares Ausmass erreicht.

[0017] Die Fig. 2 zeigt die Amplitude A<sub>1</sub> der stehenden Ultraschallwellen entlang der Längsachse 7 des Transducers 1, die sich im Y-Modus einstellen. Die Fig. 3 zeigt die Amplitude A<sub>2</sub> der stehenden Ultraschallwellen entlang der Längsachse 7 des Transducers 1, die sich im X-Modus einstellen. Die Fig. 4 zeigt die Amplitude A<sub>3</sub> der stehenden Ultraschallwellen des X-Modus entlang der x-Achse des Flansches 8. Diese Ultraschallwellen sind in x-Richtung gerichtet. Die Fig. 5 zeigt die Amplitude A<sub>4</sub> der stehenden Ultraschallwellen des X-Modus entlang der x-Achse des Gegenstücks 3. An den Längsenden des Transducers 1 wie auch an den seitlichen Enden des Gegenstücks 3 und des Flansches 8 tritt naturgemäß ein Schwingungsbauch auf. Der Transducer 1 ist im Beispiel so konzipiert, dass die Ultraschallwellen des Y-Modus auf der Längsachse 7 des Transducers 1 n<sub>1</sub> = 5 Knoten aufweisen. Die Anzahl n<sub>1</sub> der Knoten kann aber auch eine andere sein. Der Transducer 1 ist des Weiteren erfindungsgemäss so konzipiert, dass

- A) der piezoelektrische Antrieb 4 und der piezoelektrische Antrieb 5 in einem ersten Knoten 13 (Fig. 2) des Y-Modus liegen. Vorzugsweise liegt das Zentrum der piezoelektrischen Antriebe 4, 5, oder ein Punkt nahe beim Zentrum, im ersten Knoten 13.
- B) der piezoelektrische Antrieb 4 und der piezoelektrische Antrieb 5 in einem ersten Schwingungsbauch 14 (Fig. 3) des X-Modus liegen. Vorzugsweise liegt das Zentrum der piezoelektrischen Antriebe 4, 5, oder ein Punkt nahe beim Zentrum, im ersten Schwingungsbauch 14.

- C) der Flansch 8 in einem zweiten Knoten 15 (Fig. 2) des Y-Modus liegt,
- D) der Flansch 8 in einem zweiten Schwingungsbauch 16 (Fig. 3) des X-Modus liegt, und
- E) die beiden Bohrungen 9 des Flansches 8 in einem seitlichen Knoten 17 (Fig. 4) des X-Modus liegen.

[0018] Die Eigenschaften A bis D lassen sich durch folgendes Vorgehen erreichen:

- Es wird die gewünschte Frequenz  $f_Y$  der Ultraschallwellen des Y-Modus festgelegt. Diese beträgt typischerweise etwa 125 kHz.
- Die Länge L des Transducers 1 wird so festgelegt, dass im Y-Modus n<sub>1</sub> Knoten auftreten. Die Länge L hängt im Wesentlichen von der Frequenz  $f_Y$  und der Schallgeschwindigkeit des Materials ab, aus dem das Horn 2 und das Gegenstück 3 bestehen. Das Horn 2 und das Gegenstück 3 bestehen vorzugsweise aus Titan.
- Die Breite B(y) und fakultativ auch die Dicke D(y) des Horns 2 werden lokal verändert, bis eine geeignete Biegeschwingung gefunden ist, deren Eigenfrequenz  $f_x$  in der Nähe der Frequenz  $f_Y$  liegt (d.h.  $|f_x - f_Y| << f_Y$ ) und die im Bereich des Zentrums der piezoelektrischen Antriebe 4, 5 einen Schwingungsbauch und im Bereich eines Knotens des Y-Modus einen Schwingungsbauch aufweist. Diese Biegeschwingung wird als X-Modus ausgewählt. Beim Beispiel können die Eigenschaften B und D und die Bedingung  $|f_x - f_Y| << f_Y$  in ausreichendem Maße erreicht werden.

[0019] Im Flansch 8 bilden sich ebenfalls stehende Ultraschallwellen, wobei an den Enden des Flansches 8 ein Schwingungsbauch auftritt. Die x-Lage und Anzahl der als seitliche Knoten bezeichneten Knoten hängt von der Länge K des Flansches 8 ab. Die Länge K wird so gewählt, dass im X-Modus mindestens ein seitlicher Knoten, nämlich im Beispiel der Knoten 17 (Fig. 4), auftritt. Die Eigenschaft E kann also durch entsprechende Wahl der Länge K des Flansches 8 erreicht werden.

[0020] Der Transducer 1 ist des Weiteren mit Vorteil so konzipiert, dass

- F) die Bohrung 12 für die Kapillare – im gemessen von der Spitze 11 des Horns 2 – zweiten Schwingungsbauch angeordnet ist, der sich im X-Modus einstellt und hier mit dem Bezugszeichen 18 bezeichnet ist.
- G) zwischen dem Kopf der Schraube 6 und den piezoelektrischen Antrieben 4, 5 im Y-Modus wenigstens ein Knoten, im Beispiel der Knoten 19 (Fig. 2), auftritt, und
- H) im X-Modus im Gegenstück 3 sowohl im Zentrum als auch in der Nähe des Randes ein seitlicher Knoten 20 (Fig. 5) auftritt, damit die ganze dem Gegenstück 3 zugewandte Fläche der piezoelektrischen Antriebe 4, 5 in der gleichen y-Richtung schwingt und somit (entsprechend der Frequenz  $f_x$ ) abwechselnd entweder einer Zug- oder Druckbelastung ausgesetzt ist. Auf diese Weise wird vermieden, dass ein Teil der Fläche in positiver y-Richtung bewegt wird, während gleichzeitig ein anderer Teil der Fläche in negativer y-Richtung bewegt wird.

[0021] Die Eigenschaft G lässt sich erreichen durch eine angepasste Wahl der Länge L<sub>G</sub> des Gegenstücks 3 und der Länge L<sub>s</sub> des Stücks der Schraube 6, das aus dem Gegenstück 3 herausragt. Die Eigenschaft H lässt sich erreichen durch Optimierung der geometrischen Form und damit der Masseverteilung des Gegenstücks 3. Im Beispiel ist das Gegenstück 3 eine Platte, deren von der Längsachse 7 des Transducers 1 entferntere Enden aus diesem Grund wie in der Fig. 1 dargestellt verbreitert sind. Bevorzugt ist eine Breite B<sub>1</sub> des Gegenstücks 3 grösser als der Abstand D<sub>1</sub> des äusseren Randes des piezoelektrischen Antriebs 4 bzw. 5 von der Längsachse 7 des Ultraschall-Transducers 1, so dass das Gegenstück 3 seitlich über die piezoelektrischen Antriebe 4 bzw. 5 hinausragt.

[0022] Der erfindungsgemäss Transducer 1 kann in drei Moden betrieben werden, nämlich nur im Y-Modus, nur im X-Modus oder in einem XY-Modus, bei dem sowohl der X-Modus als auch der Y-Modus gleichzeitig angeregt werden. Der Y-Modus eignet sich besonders zum Bonden von Drahtschläufen, die in y-Richtung verlaufen, der X-Modus eignet sich besonders zum Bonden von Drahtschläufen, die in x-Richtung verlaufen. Der XY-Modus ist ein völlig neuartiger Modus, bei dem sowohl der X-Modus als auch der Y-Modus gleichzeitig und unabhängig voneinander angeregt werden, jedoch so, dass die Amplituden der Schwingungen der Spitze der Kapillare in x-Richtung und in y-Richtung eine vernünftige Grösse aufweisen, bevorzugt sind sie etwa gleich gross. Die Schwingungen der Spitze der Kapillare in x-Richtung und in y-Richtung sind nicht korreliert, was dazu führt, dass die Spitze der Kapillare eine Lissajous-Figur schreibt. Die Spitze der Kapillare folgt also einer Lissajous-Bahn, die durch ein Rechteck begrenzt ist. Ein Beispiel einer Lissajous-Bahn ist in der Fig. 6 dargestellt.

[0023] Die Fig. 7 zeigt eine Steuerschaltung, die es ermöglicht, den Ultraschall-Transducer 1 in den drei oben erwähnten Moden zu betreiben. Die piezoelektrischen Antriebe 4, 5 sind identisch aufgebaut. Jeder piezoelektrische Antrieb 4, 5 ist gebildet als ein Stapel aus mehreren, typischerweise wie dargestellt vier oder sechs oder mehr Piezoelementen 21, die mit abwechselnder Polarisationsrichtung nebeneinander gestapelt sind, wobei zwischen den Piezoelementen 21 immer eine elektrisch leitende Platte 22 eingeklemmt ist. Die Polarisationsrichtung der Piezoelemente 21 ist durch die Reihenfolge der «+» und «-»-Zeichen charakterisiert. Die Steuerschaltung umfasst einen ersten Generator 23 für die Anregung des Y-Modus, einen zweiten Generator 24 für die Anregung des X-Modus und einen Transformator 25 mit einer Primärwick-

lung 26 und einer Sekundärwicklung 27. Die Sekundärwicklung 27 besteht aus zwei gleichen Wicklungen 28 und 29, die einen gemeinsamen Eingangsanschluss 30 und je einen Ausgangsanschluss 31 bzw. 32 aufweisen. Der Ausgang des ersten Generators 23 ist mit dem gemeinsamen Eingangsanschluss 30 der Sekundärwicklung 27 verbunden. Der Ausgang des zweiten Generators 24 ist mit einem ersten Anschluss der Primärwicklung 26 verbunden, während ein zweiter Anschluss der Primärwicklung 26 elektrisch an Masse liegt. Der Ausgangsanschluss 31 der Wicklung 28 ist mit den negativen Anschlüssen der Piezoelemente 21 des ersten piezoelektrischen Antriebs 4 verbunden. Der Ausgangsanschluss 32 der Wicklung 29 ist mit den negativen Anschlüssen der Piezoelemente 21 des zweiten piezoelektrischen Antriebs 5 verbunden. Die positiven Anschlüsse der Piezoelemente 21 der beiden piezoelektrischen Antriebe 4 und 5 sind elektrisch mit Masse verbunden.

[0024] Der erste Generator 23 liefert eine Wechselspannung  $U_1 = U_Y \cos(2\#f_Y t + \#y)$ , wobei  $t$  die Zeit und  $\#y$  die Phasenlage bezeichnen. Der zweite Generator 24 liefert eine Wechselspannung  $U_2 = U_X \cos(2\#f_X t + \#x)$ , wobei  $\#x$  die Phasenlage bezeichnet. Die folgende Tabelle gibt an, welche Wechselspannung in den drei genannten Moden an den piezoelektrischen Antrieben 4 und 5 anliegt:

	Piezoelektrischer Antrieb 4	Piezoelektrischer Antrieb 5
Y-Modus	$U_1$	$U_1$
X-Modus	$U_2$	$-U_2$
XY-Modus	$U_1 + U_2$	$U_1 - U_2$

#### Patentansprüche

1. Ultraschall-Transducer, umfassend ein längliches Horn (2), ein Gegenstück (3), zwei piezoelektrische Antriebe (4, 5) und eine Schraube (6), wobei das Gegenstück mittels der Schraube am Horn befestigt ist, wobei die piezoelektrischen Antriebe beidseitig einer Längsachse (7) des Transducers angeordnet und zwischen dem Horn und dem Gegenstück eingeklemmt sind, und wobei das Horn einen Flansch (8) mit mindestens einer Bohrung (9) für die Befestigung des Transducers an einem Bondkopf eines Wire Bonders aufweist, wobei sich im Transducer bei Beaufschlagung der beiden piezoelektrischen Antriebe mit ersten, gleichsinnigen Wechselspannungen erste Ultraschallschwingungen ausbilden, die parallel zur Längsachse des Transducers gerichtet sind, und wobei sich im Transducer bei Beaufschlagung der beiden piezoelektrischen Antriebe mit zweiten, gegensinnigen Wechselspannungen zweite Ultraschallschwingungen ausbilden, die transversal zur Längsachse des Transducers gerichtet sind, dadurch gekennzeichnet, dass
  - die piezoelektrischen Antriebe in einem ersten Knoten (13) der ersten Ultraschallschwingungen liegen,
  - die piezoelektrischen Antriebe in einem ersten Schwingungsbauch (14) der zweiten Ultraschallschwingungen liegen,
  - der Flansch in einem zweiten Knoten (15) der ersten Ultraschallschwingungen liegt,
  - der Flansch in einem zweiten Schwingungsbauch (16) der zweiten Ultraschallschwingungen liegt, und
  - die mindestens eine Bohrung des Flansches in einem weiteren Knoten (17) der zweiten Ultraschallschwingungen liegt.
2. Ultraschall-Transducer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Horn eine Bohrung (12) für die Aufnahme einer Kapillare aufweist und dass diese Bohrung im – gemessen von der Spitze des Horns – zweiten Schwingungsbauch (16) der zweiten Ultraschallschwingungen angebracht ist.
3. Ultraschall-Transducer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Ultraschallschwingungen wenigstens einen Knoten (19) aufweisen, der zwischen dem Kopf der Schraube und den piezoelektrischen Antrieben liegt.
4. Ultraschall-Transducer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Ultraschallschwingungen im Gegenstück einen Knoten (20) aufweisen, der in der Nähe eines Randes des Gegenstücks liegt.
5. Ultraschall-Transducer nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Breite ( $B_1$ ) des Gegenstücks grösser ist als ein Abstand ( $D_1$ ) eines äusseren Randes der piezoelektrischen Antriebe von der Längsachse des Transducers.

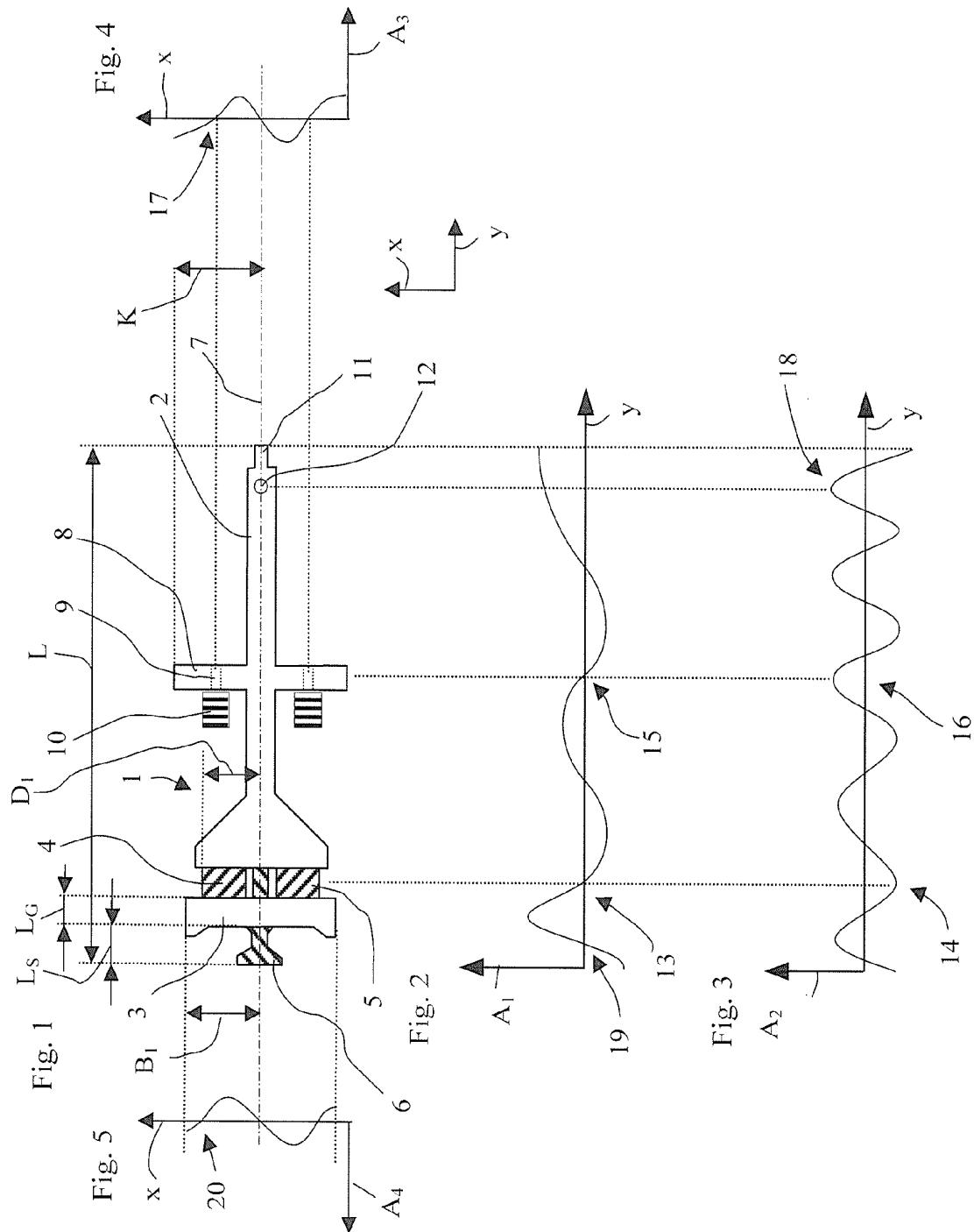


Fig. 6

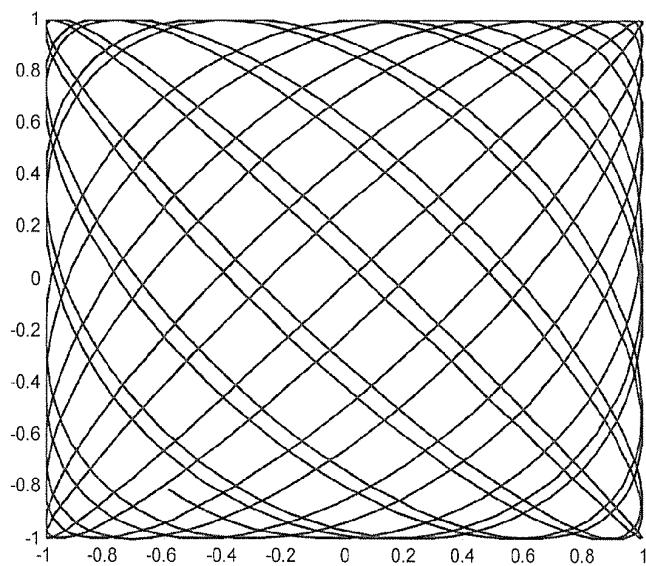


Fig. 7

