



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **217 088 A1**4(51) H 01 L 21/607
H 01 L 21/66**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 01 L / 254 314 3	(22)	29.08.83	(44)	02.01.85
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	Akademie der Wissenschaften der DDR, 1199 Berlin, Rudower Chaussee 5, DD
(72)	Schmidt, Winfried, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches beim Ultraschallbonds

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches der für die Herstellung von Mikrokontakten mit Hilfe eines Ultraschallschweißgerätes zwischen einem Metalldraht und einer Kontaktfläche auf Halbleiterchips, Dünnschichtsubstrate oder auf Halbleitergehäuse notwendigen Schweißparameter. Die Erfindung hat zur Aufgabe, die Qualität bei der Herstellung von Mikrokontakten auch bei sich ändernden Eigenschaften der Werkstückoberflächen oder bei einem Driften des Arbeitspunktes von Ultraschallschweißgeräten zu erhöhen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß in einem ersten Verfahrensschritt durch Testschweißungen rechnergestützt der Arbeitsbereich vom Ultraschallspannungspegel und dem statischem Ausdruck so eingestellt wird, daß die Anwendung eines bekannten Verfahrens zur Erkennung einer stattgefundenen Verschweißung möglich ist und in einem zweiten Verfahrensschritt, dem Produktionsschritt, nach jedem Schweißprozeß eine Nachregelung von Ultraschallspannungspegel und statistischem Ausdruck derart stattfindet, daß die Erkennung der erfolgten Verschweißung mit konstanter Genauigkeit durchgeführt wird.

Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches beim Ultraschallschweißen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches der notwendigen Schweißparameter bei der Herstellung von Mikrokontakten mittels eines Ultraschallschweißverfahrens. Bei den erforderlichen Schweißparametern handelt es sich um den statischen Andruck, den Ultraschallspannungspegel und die Schweißzeit. Die Kontaktierung erfolgt dabei zwischen einem Metalldraht und einem mit einer kontaktierbaren Oberfläche versehenen Halbleiterchip und/oder einen Anschlußstift eines Halbleitergehäuses und/oder einem Hybridschaltkreissubstrat.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannt ist eine Einrichtung zur Ultraschallschweißung bestehend aus einem Schweißkopf, der unterteilt werden kann in einen Wandler, der elektrische Schwingungen in mechanische Schwingungen umwandelt, einen Vibrationsaufnehmer, der die mechanischen Schwingungen in ein proportionales elektrisches Signal verwandelt, dessen Frequenz der Resonanzfrequenz des Wandlers entspricht und das an den Eingang eines Ultraschallgenerators gelangt, einer Einstellmöglichkeit für den statischen Andruck sowie einem Ultraschallgenerator. Die mechanischen Schwingungen des Wandlers werden über einen Schweißrüssel mit einer Sonotrode auf die Schweißstelle übertragen. Der Ultraschallgenerator enthält einen Vorverstärker mit einer Möglichkeit zur Amplitudeneinstellung und einen Leistungsverstärker. Das Ausgangssignal des Leistungsverstärkers stellt das Erregersignal für den oben genannten Wandler dar. Ferner enthält der Ultraschallgenerator ein Zeitglied, das es gestattet, den Schweißvorgang zeitlich zu begrenzen sowie einen Leistungsschalter, der es ermöglicht, die Erregerspannung abzuschalten. Das System Schweißkopf-Ultraschallgenerator stellt ein eigenenerregtes Schwingensystem dar.

Bisher werden die günstigsten Einstellungen für die Parameter Zeit, Erregerspannungsamplitude und statischer Andruck durch eine Reihe von Vorversuchen ermittelt. In der Praxis ergeben sich dann bei konstant gehaltenen Parametern auf Grund schwankender Werkstoffeigenschaften der Schweißpartner sowie durch ein mögliches, unkontrolliertes Driften der Schweißparameter stark schwankende Haftfestigkeiten der Schweißstellen.

Neuere Verfahren beinhalten, bei konstant gehaltenem statischen Andruck und konstant gehaltener

Erregerspannungsamplitude, den Zeitpunkt einer stattgefundenen Verschweißung festzustellen und den Schweißvorgang zu diesem Zeitpunkt abzubrechen. Dabei nutzen diese Verfahren die Änderung einer charakteristischen elektrischen Größe während des Schweißprozesses aus und unterbrechen den Schweißprozeß, wenn die Änderung eine bestimmte Grenze bzw. Bezugsgröße überschreitet. Eine solche, den Schweißprozeß charakterisierende Größe, stellt beispielsweise die Ausgangsspannung des Vibrationsaufnehmers dar.

Mit zunehmender Festigkeit der Schweißstelle setzt eine stärkere Dämpfung des Wandlers ein. Damit sinkt die Amplitude des Vibrationsaufnehmers ab und erreicht im Augenblick der größten Festigkeit der Schweißstelle ihr Minimum. Bei weiterer Zuführung von Schweißenergie wird die Schweißstelle wieder gelockert bzw. zerstört. Damit verringert sich die Dämpfung des Wandlers bzw. die Amplitude des Vibrationsaufnehmers steigt wieder an. Eine diesen Effekt ausnutzende Einrichtung zur Erkennung einer erfolgten Verschweißung besteht aus einem Hüllkurvendemodulator, einem differenzierend wirkenden Amplitudenabtaster, einer Einrichtung zur Wahl entsprechender Bezugsgrößen und einem Komparator, der einen Leistungsschalter triggert, wodurch die Erregerspannung abgeschaltet wird. Die Werte für die Bezugsgrößen müssen dabei je nach Erregerspannungsamplitude, statischem Andruck und den Werkstückeigenschaften empirisch durch Vorversuche gefunden werden, wobei die Bezugsgrößenwerte und die Schweißparameter Erregerspannungsamplitude und statischer Andruck während des folgenden Produktionsprozesses konstant bleiben (DD-WP 83 289, DE-OS 2 937 538A1, US 3 734 382, US 3 784 079).

Technisch erfolgt die Abschaltung der Erregerspannung immer zeitlich verzögert zum Eintreffen der Abschaltbedingungen während des Schweißprozesses. Bei reproduzierbarem Verlauf des Schweißprozesses bzw. des Signalverlaufes der charakteristischen elektrischen Größe ergibt sich eine konstante prozentuale Abschaltverzögerung zur Gesamtzeit des Schweißprozesses bei konstanten Bezugsgrößen. Schwanken jedoch die Schweißparameter bzw. die Werkstückeigenschaften und damit auch der Signalverlauf der, den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe bei konstant gehaltenen Bezugsgrößen, ergeben sich unterschiedliche prozentuale Abschaltverzögerungen und damit auch eine unterschiedliche Qualität der Schweißstellen im Verlauf des Produktionsprozesses. Bereits bekannte Verfahren berücksichtigen diese Tatsache nicht, gehen also von relativ konstanten Geräte- und Werkstoffeigenschaften aus oder versuchen durch eine konstruktive Umgestaltung des Schweißkopfes der unterschiedlichen Ausprägung des Signalverlaufes der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe zu begegnen (DE-AS 2 316 598).

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zu finden, daß auch bei sich während des Produktionsprozesses verändernden Ultraschallschweißgeräteeigenschaften und veränderlichen Werkstoffeigenschaften die Erkennung einer erfolgten Verschweißung nach einem an sich bekannten Verfahren mit gleichbleibender Genauigkeit ermöglicht und damit eine gleichmäßige Qualität der Schweißstellen zu erreichen. Ferner soll die Einstellung des optimalen Arbeitsbereiches der Schweißparameter unabhängig von der Erfahrung der Arbeitskraft vorgenommen werden können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Erzielung einer reproduzierbaren Änderung einer den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe vorzuschlagen, um ein an sich bekanntes Verfahren zur Erkennung einer stattgefundenen Verschweißung zweier Werkstücke mittels des Ultraschallschweißverfahrens mit gleichbleibender Genauigkeit anwenden zu können, unabhängig von sich ändernden Geräte- oder Werkstückeigenschaften.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches von Erregerspannungspegel und statischem Andruck der Signalverlauf der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe über eine getaktete Abtastvorrichtung bekannter Art mit einer Taktfrequenz von $> 3,0$ kHz abgetastet und in einer digitalen Regeleinrichtung gespeichert wird, daß nach Beendigung des Schweißprozesses eine Bewertung des aufgezeichneten Signalverlaufes nach einem festen Programm vorgenommen wird, und davon ausgehend die Erregerspannungsamplitude und der statische Andruck so eingestellt werden, daß die Änderung der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe konstant bleibt.

Das vorgeschlagene Verfahren wird in zwei Verfahrensschritten realisiert. Im ersten Schritt werden Testschweißungen bei konstanter Schweißzeit durchgeführt, und die optimale Erregerspannungsamplitude und der statische Andruck eingestellt. Gleichzeitig werden die für die Anwendung des an sich bekannten Verfahrens zur Erkennung einer stattgefundenen Verschweißung notwendigen Bezugsgrößen rechnergestützt ermittelt.

Im zweiten Schritt, der den eigentlichen Produktionsschritt beinhaltet, werden bei konstanten Bezugsgrößen die Schweißparameter statischer Andruck und Erregerspannungsamplitude nach jedem Schweißprozeß so nachgeregelt, daß die Anwendung eines an sich bekannten Verfahrens zur Erkennung einer stattgefundenen Verschweißung mit gleichbleibender Genauigkeit ermöglicht wird. Die Einstellung der optimalen Erregerspannungsamplitude und des statischen Andruckes im ersten Verfahrensschritt erfolgt auf Grund der Bewertung des aufgezeichneten Signalverlaufes der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe so,

daß die Änderung der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe innerhalb eines material- und gerätespezifischen Zeitintervalls, das empirisch gefunden werden kann und konstant bleibt, auftritt, daß die Ausprägung der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe so stark erfolgt, daß unter Berücksichtigung der für den augenblicklichen Arbeitspunkt gleichzeitig ermittelten Bezugsgröße die Unterbrechung des Schweißprozesses so erfolgen würde, daß die technisch bedingte Abschaltverzögerung nicht mehr als ein Drittel des Zeitintervalls zwischen theoretischem Abschaltzeitpunkt und dem Beginn der Verschweißung und die Einschwingzeit der Sonotrode des Schweißkopfes nicht größer als die Hälfte des Zeitintervalls zwischen theoretischen Abschaltzeitpunkt und dem Beginn der Verschweißung beträgt.

Die Ermittlung der notwendigen Schweißzeit erfolgt dabei entsprechend einem an sich bekannten Verfahren zur Erkennung einer erfolgten Verschweißung. Werden die o.g. Kriterien nicht erfüllt, so wird die Erregerspannungsamplitude in diskreten Schritten eingestellt und eine Testschweißung wiederholt. Die Einstellung des statischen Andruckes wird dann geändert, wenn die technisch bedingten Grenzen des Einstellbereiches der Erregerspannungsamplitude erreicht sind. Ist auf diese Weise der Arbeitsbereich des Ultraschallschweißgerätes eingestellt, kann der zweite Verfahrensschritt durchgeführt werden. Die Nachregelung der Erregerspannungsamplitude erfolgt hierbei nach den gleichen Kriterien wie im ersten Verfahrensschritt, jedoch bleibt die Bezugsgröße jetzt konstant. Es kann jetzt eine Optimierung des statischen Andruckes so erfolgen, daß die Nachregelrate innerhalb des Produktionsprozesses ein Minimum erreicht.

Statt des oben erwähnten Zeitintervalls läßt sich auch ein Differentialquotient der Änderung der den Schweißprozeß charakterisierenden elektrischen Größe über die Zeit definieren.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll anhand eines Beispiels näher erläutert werden.

In Figur 1 ist ein Beispiel für eine Anwendung des Verfahrens dargestellt.

Die Anordnung dient zur Verbindung eines Metalldrahtes 3 mit der Kontaktfläche 4 eines Halbleiterchips 5, der durch eine Halterung 6 positioniert wird, mit Hilfe des Ultraschallschweißverfahrens. Ein dazu eingesetztes Ultraschallschweißgerät beinhaltet einen Ultraschallspannungswandler 8, der die elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt. Die mechanische Energie in Form mechanischer Vibration wird über einen Schweißrüssel 2 mit einer Sonotrode 1 auf die Werkstücke 3, 4 übertragen. Die mechanische Vibration wird durch einen Vibrationsaufnehmer 7 gemessen und in eine proportionale elektrische Wechselspannung umgewandelt. Diese wird in einem Vorverstärker 16 phasenrichtig verstärkt und über einen Leistungsverstärker 15 dem Ultraschallspannungswandler 8 als Erregerspannung zugeführt.

Das den Schweißprozeß charakterisierende elektrische Signal ist im vorgestellten Ausführungsbeispiel das Ausgangssignal des Vibrationsaufnehmers 7.

Figur 2 zeigt den typischen Verlauf des Ausgangssignals eines hinter dem Vibrationsaufnehmer 7 geschalteten Hüllkurvendemodulators 9, das ein Maß für den Vibrationsamplitudenverlauf des Schweißrüssels 2 darstellt. t_0 kennzeichnet den Zeitpunkt, zu dem die Erregerspannung an den Ultraschallspannungswandler 8 geschaltet wird. Bis zum Zeitpunkt t_s findet jetzt ein Einschwingvorgang statt. Die Länge des Zeitintervalls ($t_m - t_0$) ist abhängig vom eingestellten Arbeitspunkt von statischem Andruck und Erregerspannungspegel sowie den Werkstückeigenschaften. Während dieser Zeit wird die Ultraschallenergie über den Schweißrüssel 2 und die Sonotrode 1 auf den Draht 3 übertragen und bewirkt, daß der Draht 3 auf der Kontaktfläche 4 hin und her bewegt wird. Durch die dabei auftretende Reibungswärme wird der Draht 3 sowie die Kontaktfläche 4 an der Oberfläche aufgeschmolzen, und es findet eine Verschweißung statt. Mit Beginn der Verschweißung wird die Bewegung der Sonotrode 1 bzw. auch des Schweißrüssels 2 gehemmt. Damit sinkt auch die Amplitude des Ausgangssignals des Hüllkurvendemodulators 9 und erreicht zum Zeitpunkt t_m ihr Minimum A_m . t_m kennzeichnet den Augenblick, wo die Verschweißung erfolgt ist und ihre theoretisch größte Haltbarkeit besitzt. Eine weitere Schweißenergiezuführung führt zu einer Verringerung der Haltbarkeit bzw. zur Zerstörung der Schweißstelle. t_a kennzeichnet den Abbruch des Schweißvorganges, die Zeitdifferenz $t_a - t_m$ die technologisch bzw. technisch bedingte Abschaltverzögerung. Bedingt durch technologische Faktoren schwankt die Zeitspanne $t_m - t_0$ sehr stark, ebenfalls die Amplitudendifferenz $A_s - A_m$. Ferner ist der in Fig. 2 idealisiert dargestellte Amplitudenverlauf durch Störsignale elektrischer oder auch mechanischer Ursache überlagert, so daß die Triggerung des Leistungsschalters 14 durch eine Einrichtung zur Erkennung einer erfolgten Verschweißung mit einer bestimmten Hysterese erfolgt, die durch geeignete Bezugsgrößenwerte, im vorgestellten Beispiel die Abschaltsschwelle $\Delta A = A_s - A_m$, bestimmt wird. Durch eine digitale Regeleinrichtung 12 erfolgt während jedes Schweißprozesses die Abarbeitung eines Steuerprogramms für die Ansteuerung der getakteten Amplitudenabstasteinrichtung 10 und die Aufzeichnung des Ausgangssignals des Hüllkurvendemodulators 9 sowie die Triggerung eines Leistungsschalters 14 nach einer konstanten Schweißzeit im ersten Verfahrensschritt oder nach einem Verfahren zur Feststellung einer erfolgten Verschweißung im zweiten Verfahrensschritt. Nach jeder Schweißung erfolgt eine Einstellung der Amplitude der Erregerspannung über ein digitales Stellglied 13 entsprechend einer durchgeführten Bewertung des aufgezeichneten Amplitudenverlaufes des Hüllkurvendemodulators 9 bei gleichzeitiger Ausgabe von Kontrollsignalen über eine Bedieneinrichtung 11.

Eine Erhöhung der Erregerspannungsamplitude wird dann eingestellt,

wenn kein Minimum A_m der Hüllkurve der Vibrationsamplitude innerhalb des Schweißprozesses aufgetreten ist, wenn bei gegebener Abschaltsschwelle $\Delta A = A_s - A_m$ die Abschaltverzögerung $t_a - t_m$ größer als ein Drittel der Zeitdifferenz $t_m - t_0$ ist,

Eine Erniedrigung der Erregerspannungsamplitude wird dann eingestellt, wenn das Minimum A_m der Hüllkurve der Vibrationsamplitude zum Zeitpunkt t_g auftritt oder die Zeit t_m kleiner als eine Zeitgrenze t_u ist.

Das Zeitintervall $t_g - t_u$ kennzeichnet den Zeitbereich, in dem ein Verfahren zur Erkennung einer erfolgten Verschweißung unter Berücksichtigung des mechanischen Aufbaus der Schweißvorrichtung, der Leistungsfähigkeit der digitalen Regeleinrichtung sowie der auftretenden Störungen des Signalverlaufes des Hüllkurvendemodulators 9 noch ausreichend genau angewandt werden kann. Die Grenzen dieses Intervalls sind gerätespezifisch und können empirisch ermittelt werden. Statt der Bewertung der Lage von t_m in bezug auf das Zeitintervall $t_g - t_u$ zur Regelung der Erregerspannungsamplitude kann auch der Kurvengradient des in Fig. 2 dargestellten Signalverlaufes im Bereich $t_m - t_s$ benutzt werden.

Innerhalb des ersten Verfahrensschrittes erfolgt durch die digitale Regeleinrichtung 12 nach jeder Schweißung die Ermittlung einer notwendigen Abschaltswelle $\Delta A = A_s - A_m$ so, daß eine Triggerung des Leistungsschalters 14 im zweiten Verfahrensschritt nicht durch eine zufällige Störung auf der Hüllkurve des Ausgangssignals des Vibrationsaufnehmers 7 hervorgerufen wird, sondern erst nach Auftreten des Minimums A_m .

Eine notwendige Änderung des statischen Andruckes wird dann signalisiert, wenn die technisch bedingten Grenzen für die Einstellung der Erregerspannungsamplitude erreicht sind.

Das Erreichen eines optimalen Arbeitsbereiches innerhalb des ersten Verfahrensschrittes wird durch die digitale Regeleinrichtung 12 über die Bedieneinrichtung 11 signalisiert.

Durch eine Arbeitskraft erfolgt jetzt die Wahl des zweiten Verfahrensschrittes über die Bedieneinrichtung 11. Die Abschaltswelle $\Delta A = A_s - A_m$ wird jetzt konstant gehalten, und die Triggerung des Leistungsschalters 14 erfolgt durch die digitale Regeleinrichtung 12 nach dem Erkennen des Minimums A_m des Hüllkurvenverlaufes. Die Steuerung der Erregerspannungsamplitude wird nach dem Schweißprozeß entsprechend der oben genannten Kriterien und des aufgezeichneten Hüllkurvenverlaufes vorgenommen. Eine Manipulation des statischen Andruckes kann so vorgenommen werden, daß die Stellrate der Stelleinrichtung 13 ein Minimum wird.

Erfindungsansprüche:

1. Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches beim Ultraschallbonds (statischer Andruck, Erregerspannungspegel, Zeit) von Metalldrähten auf Kontaktflächen von Halbleiterchips, Dünnschichtsubstraten oder Halbleitergehäusen, **gekennzeichnet dadurch**,
 - daß zur Ermittlung des optimalen Erregerspannungspegelbereiches der Vibrationsamplitudenverlauf über eine getaktete Abtasteinrichtung bekannter Art mit einer Taktfrequenz von $>3,0\text{ kHz}$ abgetastet und in einer digitalen Regeleinrichtung gespeichert wird,
 - daß beim Ultraschallbonds durch mehrere Testschweißungen mit konstanter Schweißzeit ein optimaler Erregerspannungspegelbereich eingestellt wird bei gleichzeitiger Ermittlung einer notwendigen Bezugsgröße zur Erkennung einer erfolgten Verschweißung, und der Anfangspegel der Erregerspannung und der statische Andruck der Sonotrode zu Beginn willkürlich gewählt sein können,
 - daß in bekannter Weise mit dem eingestellten Erregerspannungspegel, dem eingestellten Andruck und der konstanten Bezugsgröße Schweißungen durchgeführt werden,
 - daß nach jeder Schweißung an Hand des aufgezeichneten Vibrationsamplitudenverlaufs eine automatische Nachregelung des Erregerspannungspegels so erfolgt, daß die Abschaltverzögerung $t_s - t_m$ nicht größer als ein Drittel der Zeitdifferenz $t_m - t_s$ und die Einschwingzeit der Sonotrode $t_s - t_0$ nicht größer als die Hälfte der Zeitdifferenz $t_m - t_s$ ist,
 - daß die Gesamtschweißzeit t_0 innerhalb eines gerätespezifischen Zeitintervalls ($t_0 - t_0$) liegt, welches empirisch ermittelt werden muß, und dann für alle Anwendungsfälle konstant oder aber andernfalls der Pegel der Erregerspannung entsprechend eines festen Programmes schrittweise nachzuregeln ist.
2. Verfahren zur Einstellung eines optimalen Arbeitsbereiches beim Ultraschallbonds nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß bei großen Losgrößen der prozentuale Anteil von Schweißungen, nach denen eine Nachregelung des Erregerspannungspegels durchgeführt wird, als Kenngröße für den optimalen statischen Andruck dienen kann und bei einem optimalen statischen Andruck am kleinsten ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

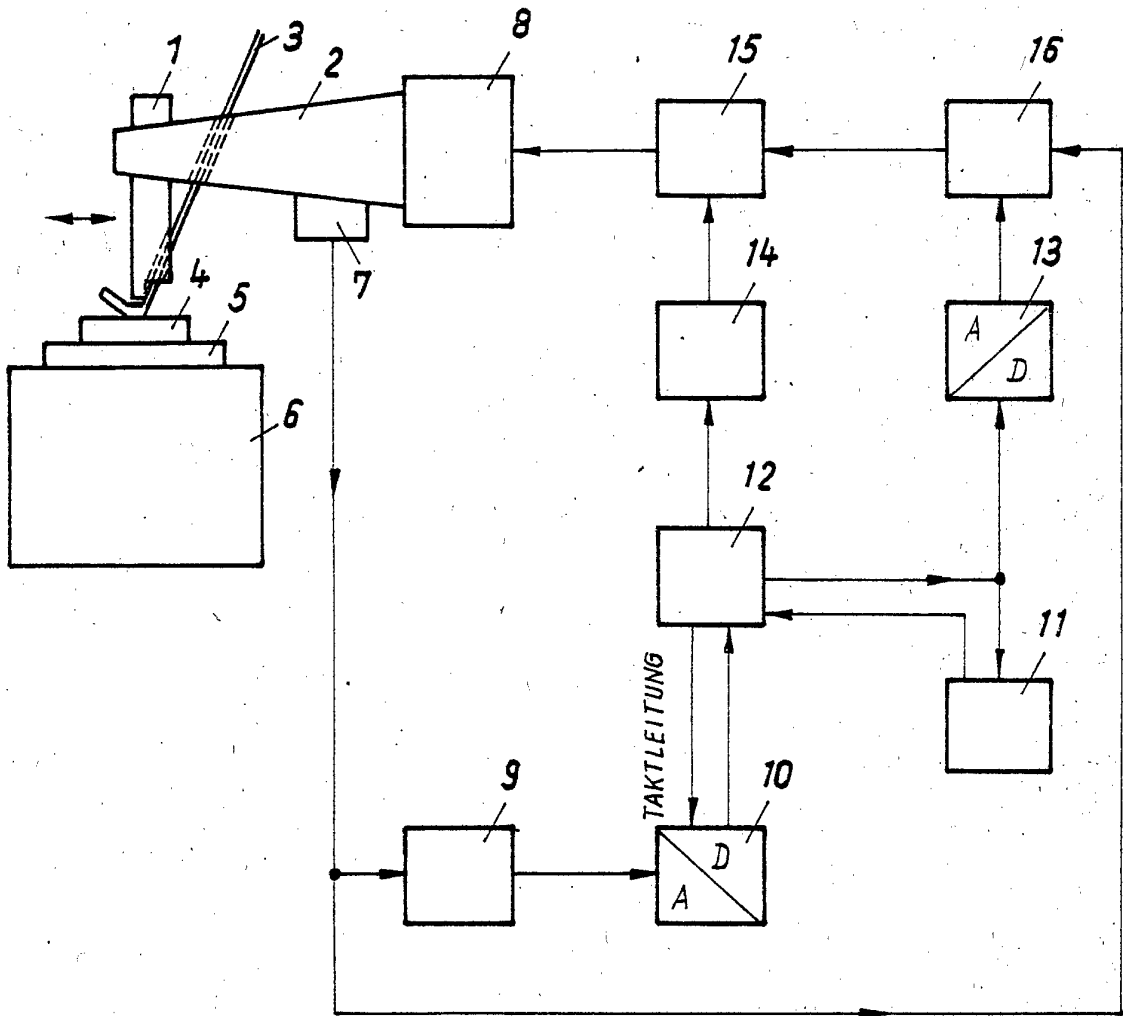


Fig. 1

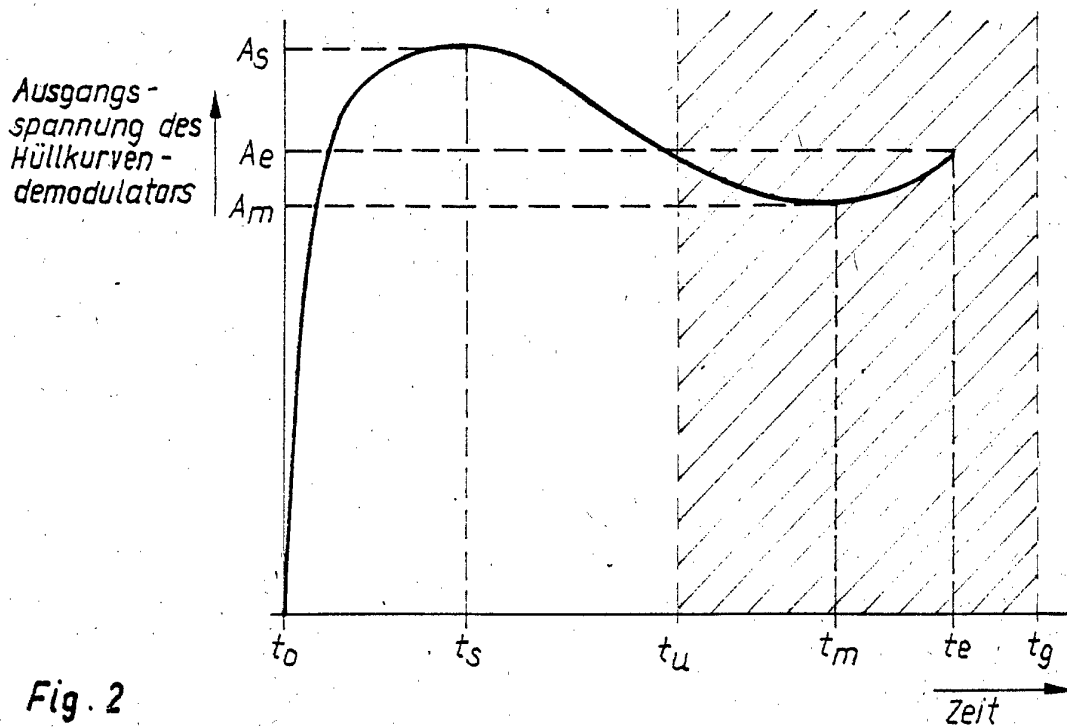


Fig. 2