

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 844 395 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG(43) Veröffentlichungstag:
27.05.1998 Patentblatt 1998/22(51) Int. Cl.⁶: **F04B 43/04**, F04B 53/10

(21) Anmeldenummer: 97119955.9

(22) Anmeldetag: 14.11.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 25.11.1996 DE 19648694

(71) Anmelder:
**Vermes Mikrotechnik GmbH
99097 Erfurt (DE)**

(72) Erfinder:
• **Heun, Peter
99099 Erfurt (DE)**
• **Klingner, Holger
99096 Erfurt (DE)**

(74) Vertreter: **Enders, Hans
Nordstrasse 10
99195 Grossrudestedt (DE)**

(54) Bidirektionale dynamische Mikropumpe

(57) Bidirektionale dynamische Mikropumpe für kleine Flüssigkeitsmengen, die mit einfachen Mitteln den Fluidstrom in Menge und Richtung variiert. Die auf einem gemeinsamen (100) orientierten Si-Wafer durch anisotropes Ätzen eingebrachten Strukturen von Pumpkammer und zweier unterschiedlicher Kanäle ist gekennzeichnet durch unterschiedliche Geometrie dieser Kanäle, die nichtlineare Strömungswiderstände darstellen und zwischen einer laminaren und einer turbulenten Strömung gesteuert werden. Durch Umkehr des Impulses, der vorzugsweise die Form eines Sägezahnbesitzt, wird ein Richtungswechsel der Fluidströmung erreicht.

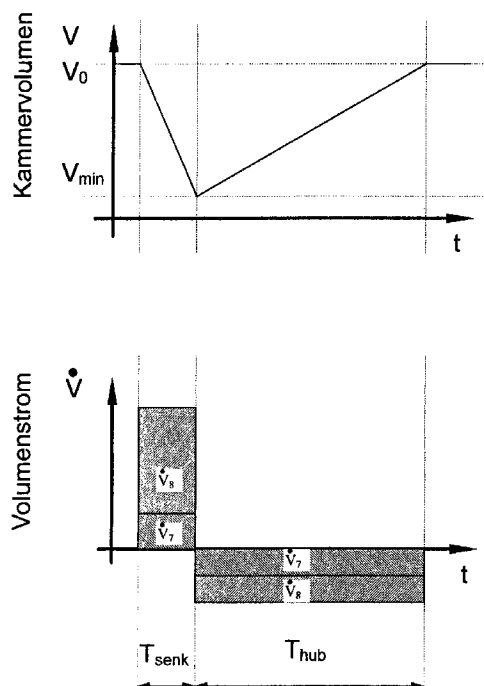


Fig. 4

EP 0 844 395 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine bidirektionale dynamische Mikropumpe für kleine Flüssigkeitsmengen, bei der mit einfachen Mitteln der Fluidstrom in Menge und Richtung variierbar ist, die in einen Silizium-Wafer geätzt ist.

Allgemein bekannt sind bidirektionale Pumpen mit rotatorischen Antrieben, die mit Hilfe von Zahnrad- oder Propelleranordnungen eine gerichtete Beschleunigung des Fluides bewirken. Hierbei erfolgt die Richtungsumkehr durch Umkehrung der Rotationsrichtung. Diese Anordnungen bestehen aus einer Anzahl mechanisch bewegter Elemente, die dem Verschleiß unterliegen und deren Miniaturisierung große Probleme bereitet bzw. begrenzt ist. Außerdem ergeben sich an den Lagerstellen Dichtungsprobleme.

Weiterhin bekannt sind bidirektionale Pumpen, bei denen ein ungerichteter Volumenstrom erzeugt wird, dem durch geeignete Maßnahmen eine variable Richtung gegeben werden kann. Bei diesen Anordnungen wird der Volumenstrom durch Volumenänderung einer Kammer, in der Regel durch Verwendung von Pumpmembranen; erreicht und die Richtungsbestimmung erfolgt durch aktiv gesteuerte mechanische Ein- und Auslaßventile. Nachteilig ist hierbei, daß außer des Pumpantriebes weitere Antriebe für die Ventile erforderlich sind und sich ein hoher Steuerungsaufwand ergibt.

Bekannt sind auch Mikropumpen mit gerichteten passiven Ventilen, die eine Vorzugspumprichtung besitzen und bei denen eine Richtungsumkehr durch Ausnutzung von Resonanzerscheinungen möglich ist. Diese bestehen aus einer Anzahl sehr exakt zueinander ausgerichteter Elemente /1/. Die Mengensteuerung in der Umkehrrichtung ist sehr stark eingegrenzt und die mögliche Fördermenge unterscheidet sich von der Vorzugsrichtung. In den Patentschriften DE 42 23 019 und DE 44 22 743 sind dynamische Mikropumpen ohne mechanische Ventile enthalten, die auf Basis gerichteter Strömungswiderstände arbeiten und eine festgelegte Strömungsrichtung aufweisen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, mit einer geringen Anzahl von Funktionselementen eine leicht reproduzierbare miniaturisierte Pumpeinrichtung zu schaffen, die mit einfachem Steueraufwand einen in beide Richtungen in weiten Grenzen variablen Fluidstrom erzeugt und sich durch sehr geringe Abmessungen auszeichnet.

Die Lösung dieser Aufgabe besteht in einer miniaturisierten Anordnung von einer Membranpumpe und zwei angeschlossenen Strömungskanälen derart, daß sich infolge der Anregung mit speziellen Impulsen in den Strömungskanälen zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Widerstandsverhältnisse ausbil-

den.

Die Erfindung wird nachstehend an einem konkreten Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 - Schnittdarstellung der Pumpanordnung

Figur 2 - Darstellung der Kanalgeometrie

Figur 3 - Widerstandsverlauf eines Strömungswiderstandes in Abhängigkeit von der Flußgeschwindigkeit

Figur 4 - Volumenströme und Kammervolumen beim Pumpvorgang

Figur 5 - Volumenströme und Kammervolumen beim Pumpvorgang in Gegenrichtung

Im beschriebenen Ausführungsbeispiel wird in einen (100) orientierten Si-Wafer 1 durch anisotropes Ätzen eine Struktur eingebracht, die zusammen mit einer durch anodisches Bonden aufgetragenen Glasdeckschicht 2 eine Anordnung von Pumpkammer 4 und Kanälen 7,8 ergibt (Fig. 1).

Die Pumpkammer verwendet als Antriebsmembran ein Piezo-Bimorph-System, das durch Aufbringen einer Piezoplatte oder Piezoschicht 3 auf Glasdeckschicht oder Kammerboden gebildet wird. Zwischen Piezoaktor 3 und Glasdeckschicht 2 befindet sich eine Metallisierung 6 und auf dem Piezoaktor 3 eine weitere Metallisierung 5 zur elektrischen Kontaktierung des Aktors 3 (Fig. 2).

Die Pumpkammer 4 ist rechteckig mit trapezförmigem Querschnitt. Unmittelbar vor und hinter der Pumpkammer befinden sich Kanäle 7,8 mit dreieckigem oder trapezförmigem Querschnitt unterschiedlicher Querschnittsfläche, die bezüglich der Strömungsgeschwindigkeit einen nichtlinearen Strömungswiderstand darstellen.

Die Funktionsweise der bidirektionalen dynamischen Mikropumpe beruht darauf, daß in den Kanälen der Pumpstruktur bis zu einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit laminare Strömungen mit definierten Strömungswiderständen vorherrschen und daß beim Überschreiten dieser Strömungsgeschwindigkeit der Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung erfolgt (Fig. 3). Daraus resultiert eine Erhöhung des Strömungswiderstandes von R_l auf R_t im betroffenen Kanal.

Erfindungsgemäß wird dieser Effekt genutzt, indem für die Kanäle 7 und 8 unterschiedliche Geometrien gewählt werden (d.h. Kanal 7 besitzt im Verhältnis zum Kanal 8 einen deutlich geringeren Querschnitt und damit eine höhere Strömungsgeschwindigkeit, jedoch einen vergleichbaren laminaren Strömungswiderstand R_l) und der Piezoaktor 3 der Pumpkammer 4 mit einer für die Pumprichtung charakteristischen Impulsform

/1/ Prof. Dr. I Ruge, Dr. P. Woias, S. Kluge: Mikro-Membranpumpe (Informations-u. Datenblatt); Fraunhofer Institut Festkörpertechologie

beaufschlagt wird. Vereinfacht wird davon ausgegangen, daß die Volumenänderung der Pumpkammer 4 linear zur am Piezoaktor 3 angelegten Spannung ist.

Pumpvorgang in Richtung Kanal 8 (Fig. 4):

Der Piezoaktor 3 wird mit einer Impulsflanke ange-
regt, die für das Zeitintervall T_{senk} einen steilen negati-
ven Anstieg besitzt (Fig. 4). Dadurch wird eine schnelle
Volumenverringerng $\Delta V_1 = V_0 - V_{\text{min}}$ in der Pump-
kammer 3 verursacht, aus der eine hohe Fluidströ-
mungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ resultiert. Im Kanal 7 mit dem
geringeren Querschnitt führt dieser Fluidstrom hoher
Geschwindigkeit zum Übergang zu turbulenter Strö-
mung und demzufolge zu einem erhöhten Strömungs-
widerstand R_t (Fig. 3). Die Erhöhung dieses
Widerstandes betrage x mit $x > 1$, d.h. $R_t = x \cdot R_{l1}$.

Im Kanal 8 tritt wegen des größeren Querschnittes eine
geringere Strömungsgeschwindigkeit auf und der Über-
gang zu turbulenter Strömung und damit zu einem
erhöhten Strömungswiderstand wird nicht erreicht. Das
aus der Pumpkammer verdrängte Volumen teilt sich im
umgekehrten Verhältnis der Strömungswiderstände auf
die Kanäle 7 und 8 auf, d.h. der Anteil im Kanal 7
beträgt $(R_l)/(R_l + R_t) \cdot \Delta V_1 = 1/(1+x) \cdot \Delta V_1$ und der
Anteil im Kanal 8 beträgt $(R_t)/(R_l + R_t) \cdot \Delta V_1 = x/(1+x) \cdot \Delta V_1$.

Die Rückstellung des Piezoaktors 3 von V_{min} auf V_0
erfolgt mit einer Impulsflanke, die für das Zeitintervall
 T_{hub} einen flachen positiven Anstieg besitzt. Dadurch
wird eine langsame Volumenerhöhung $\Delta V_2 = -\Delta V_1$ in
der Pumpkammer 3 verursacht, aus der eine niedrige
Fluidströmungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ resultiert. Sowohl in
Kanal 7 als auch in Kanal 8 tritt demzufolge eine gerin-
gere Strömungsgeschwindigkeit auf und der Übergang
zu turbulenter Strömung und damit zu einem erhöhten
Strömungswiderstand wird in beiden Kanälen nicht
erreicht. Das in die Pumpkammer 3 einströmende Volu-
men teilt sich gleichmäßig auf die Kanäle 7 und 8 auf,
d.h. der Anteil im Kanal 7 beträgt $(R_l)/(R_l + R_l) \cdot \Delta V_2 = 1/2 \cdot \Delta V_1$ und der Anteil im Kanal 8 beträgt dementsprechend $(R_l)/(R_l + R_l) \cdot \Delta V_2 = 1/2 \cdot \Delta V_1$.

Somit ist der Betrag der Fluidströme während der
Senk- und Hubbewegung unterschiedlich, d.h. über den
gesamten Betrachtungszeitraum hinweg resultiert ein
Fluidstrom in Richtung Kanal 8.

Pumpvorgang in Richtung Kanal 7 (Fig. 5):

Der Pumpvorgang in Richtung Kanal 7 stellt sich
dar als Umkehrung des Pumpvorgangs in Richtung
Kanal 8.

Der Piezoaktor 3 wird mit einer Impulsflanke ange-
regt, die für das Zeitintervall T_{senk} einen flachen negati-
ven Anstieg besitzt (Fig. 5). Dadurch wird eine
langsame Volumenverringerng $\Delta V_1 = V_0 - V_{\text{min}}$ in der
Pumpkammer 3 verursacht, aus der eine niedrige Fluid-
strömungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ resultiert. Sowohl in
Kanal 7 als auch in Kanal 8 tritt demzufolge eine

geringe Strömungsgeschwindigkeit auf und der Über-
gang zu turbulenter Strömung und damit zu einem
erhöhten Strömungswiderstand wird in beiden Kanälen
nicht erreicht. Das aus der Pumpkammer verdrängte
Volumen teilt sich gleichmäßig auf die Kanäle 7 und 8
auf, d.h. der Anteil im Kanal 7 beträgt
 $(R_l)/(R_l + R_l) \cdot \Delta V_1 = 1/2 \cdot \Delta V_1$ und der Anteil im Kanal 8
beträgt dementsprechend $(R_l)/(R_l + R_l) \cdot \Delta V_1 = 1/2 \cdot \Delta V_1$.

Die Rückstellung des Piezoaktors 3 von V_{min} auf V_0
erfolgt mit einer Impulsflanke, die für das Zeitintervall
 T_{hub} einen steilen positiven Anstieg besitzt (Fig. 5).
Dadurch wird eine schnelle Volumenerhöhung
 $\Delta V_2 = -\Delta V_1$ in der Pumpkammer 3 verursacht, aus der
eine hohe Fluidströmungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ resultiert.
Im Kanal 7 mit dem geringeren Querschnitt führt dieser
Fluidstrom hoher Geschwindigkeit zum Übergang zu
turbulenter Strömung und demzufolge zu einem erhöh-
ten Strömungswiderstand R_t (Fig. 3). Die Erhöhung die-
ses Widerstandes beträgt x mit $x > 1$, d.h. $R_t = x \cdot R_{l1}$ (s.o.).
Im Kanal 8 tritt wegen des größeren Querschnittes eine
geringere Strömungsgeschwindigkeit auf und der Über-
gang zu turbulenter Strömung und damit zu einem
erhöhten Strömungswiderstand wird nicht erreicht. Das
in die Pumpkammer einströmende Volumen teilt sich im
umgekehrten Verhältnis der Strömungswiderstände auf
die Kanäle 7 und 8 auf, d.h. der Anteil im Kanal 7
beträgt $(R_l)/(R_l + R_t) \cdot \Delta V_2 = 1/(1+x) \cdot \Delta V_1$ und der
Anteil im Kanal 8 beträgt $(R_t)/(R_l + R_t) \cdot \Delta V_2 = x/(1+x) \cdot \Delta V_1$.

Somit ist der Betrag der Fluidströme während der
Senk- und Hubbewegung unterschiedlich, d.h. über den
gesamten Betrachtungszeitraum hinweg resultiert ein
Fluidstrom in Richtung Kanal 7.

Die Fördermenge ergibt sich aus der Differenz von
Hub- und Senkstrom und kann durch Variation der
Ansteueramplitude und der Impulsfolgefrequenz sehr
flexibel in beide Pumprichtungen gesteuert werden.
Der Wirkungsgrad der beschriebenen Anordnung (d.b.
das Verhältnis von Fördermenge zu Volumenverdrän-
gung) steigt mit dem erreichten Verhältnis von R_t zu R_l ,
also mit dem Betrag des Wertes x .

Ein Optimum der Fördermenge bei bekanntem
Widerstandsverhältnis x (turbulent/laminar) kann
erreicht werden, wenn der laminare Strömungswider-
stand der Kanäle 7 und 8 nicht wie oben beschrieben
gleich ist, sondern wenn das laminare Widerstandsver-
hältnis des Kanals 8 (bei dem kein Strömungsumschlag
und somit keine Widerstandserhöhung verursacht wird)
zum Kanal 7 den Betrag der Wurzel aus der Wider-
standsänderung im Kanal 7 annimmt, d.h. $R_{8l} = y \cdot R_{7l}$
mit $y = x^{-1/2}$ und $1 < x = R_{7t}/R_{7l}$.

(Hierbei sind: * R_{8l} - der laminare Widerstand des
Kanals 8,
* R_{7l} - der laminare Widerstand des
Kanals 7,
* R_{7t} - der turbulente Widerstand des
Kanals 7.)

Patentansprüche

1. Bidirektionale dynamische Mikropumpe für kleine und kleinste Flüssigkeitsmengen mit Pumpkammer und zwei unterschiedlichen Kanälen **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kanäle (7 und 8) unterschiedliche Querschnittsform oder -fläche oder unterschiedliche Länge oder eine Kombination daraus aufweisen, nichtlineare ungerichtete Strömungswiderstände unterschiedlicher Charakteristik darstellen und deren variable Fluidströme zwischen laminarer und turbulenter Strömung mit geeigneten an den Aktor (3) angelegten Impulsen mit unsymmetrischer Flankensteilheit richtungsabhängig gesteuert werden. 5
10
15
2. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Struktur durch anisotropes Ätzen in einen Si-Wafer (1) eingebracht, mit einer Abdeckung verschlossen und mit einem Piezoaktor (3) versehen ist. 20
3. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser Impuls während mindestens eines Zeitraumes einer Periode eine Flankensteilheit aufweist, die in diesem Zeitraum in einem der Kanäle eine turbulente Strömung hervorruft. 25
4. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet**, daß als einfachste Form des Impulses ein Sägezahn mit einer steilen und einer flachen Flanke geeignet ist. 30
5. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet**, daß durch Vertauschen der Steilheit der Anstiegs- und Abfallflanke des Impulses eine Richtungsumkehr hervorgerufen wird. 35
40
6. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet**, daß der Arbeitsbereich bezüglich Frequenz und Amplitude des Ansteuersignals für beide Pumprichtungen gleich ist. 45
7. Bidirektionale dynamische Mikropumpe nach Anspruch 1 bis 7 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steilheit der Anstiegsflanke des Ansteuersignals das den Wirkungsgrad festlegende Verhältnis zwischen turbulentem und laminarem Strömungswiderstand bestimmt. 50
55

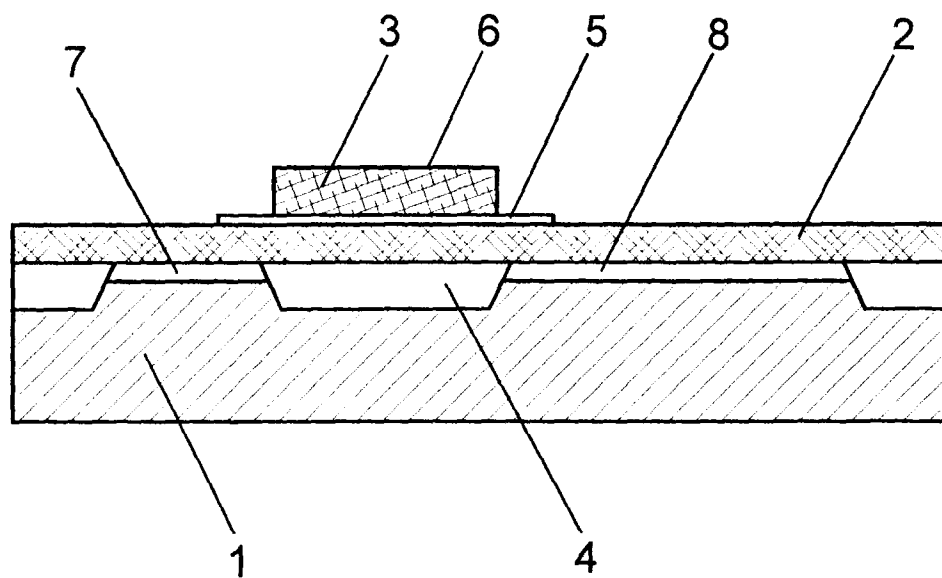


Fig. 1

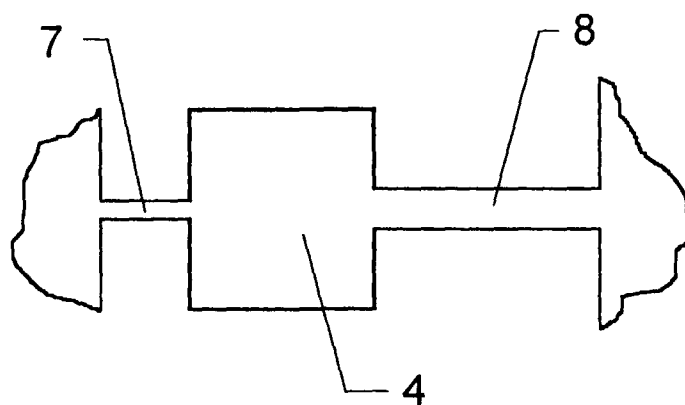


Fig. 2

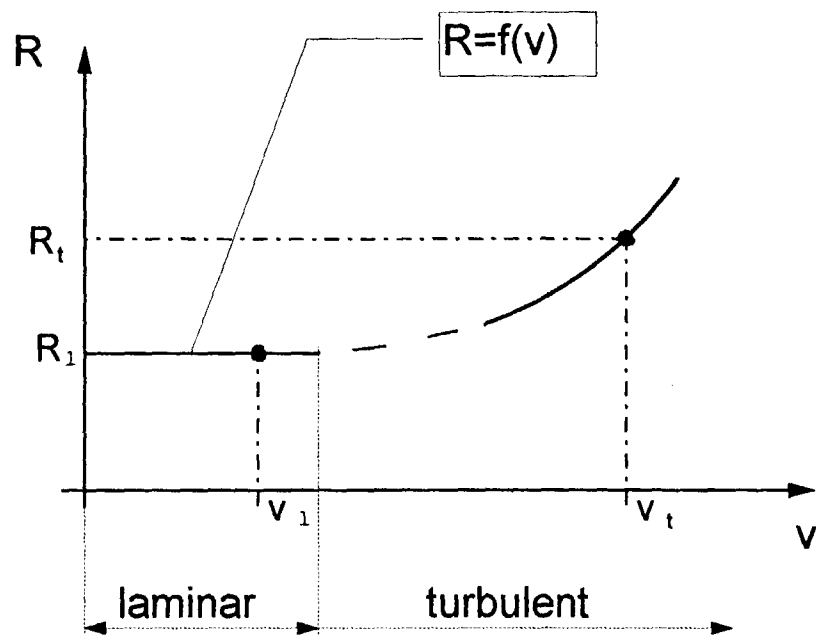


Fig. 3

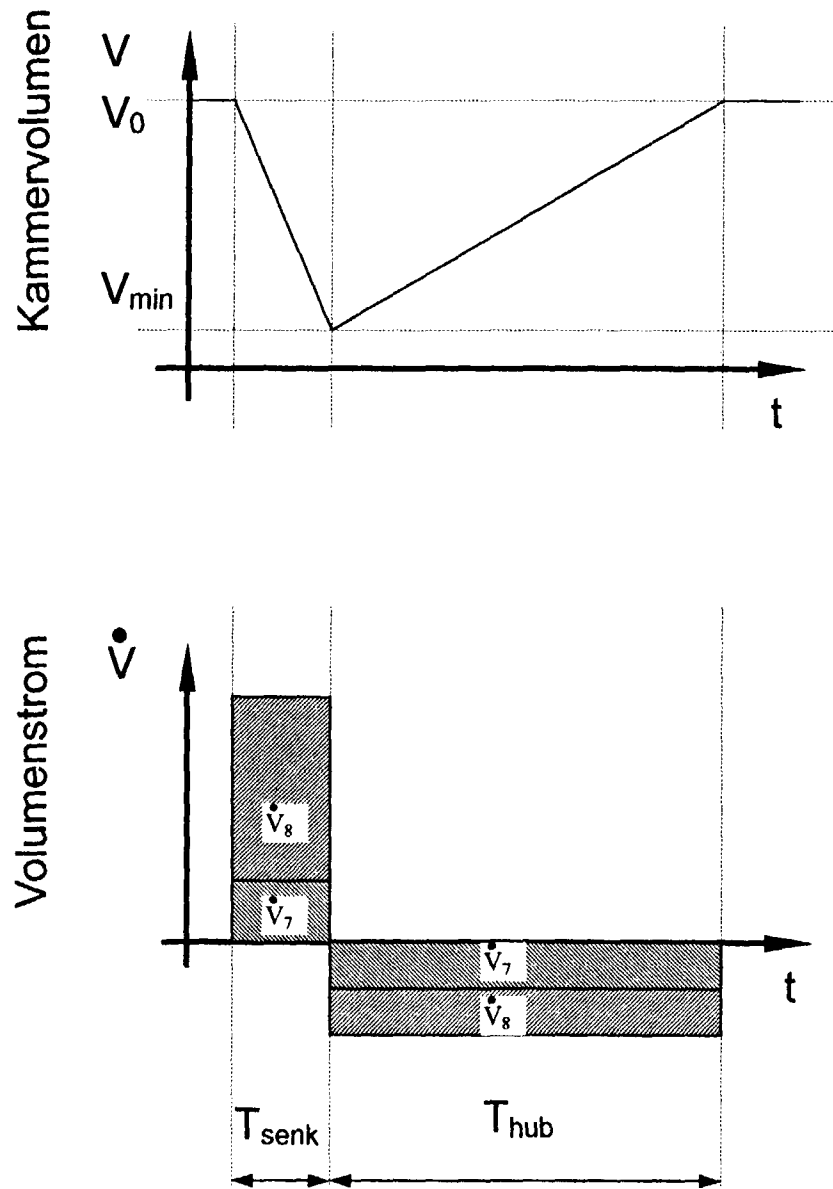


Fig. 4

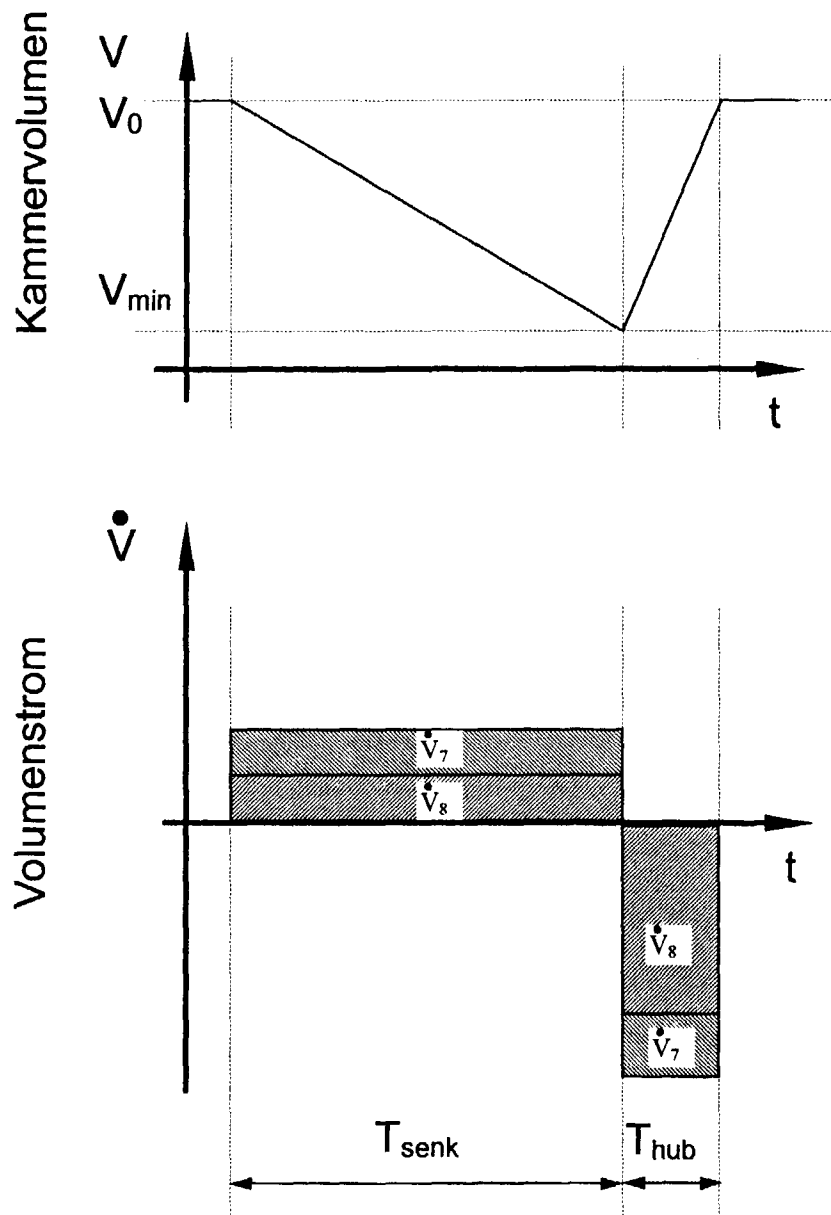


Fig. 5