



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine mikromechanische Membranvorrichtung sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

### Stand der Technik

**[0002]** Bekannt sind MEMS-Mikrofone bei denen über einem Substrat 100 eine bewegliche Membran 110 angeordnet wird. Über der Membran 110 wird üblicherweise eine akustisch transparente Gegenelektrode 120 angeordnet. Im Substrat 100 wird unter der beweglichen Membran 110 eine Öffnung 130 zur Rückseite vorgesehen. Diese Öffnung 130 kann als Schallzugang oder als Rückseitenvolumen des Mikrofon genutzt werden. Die bewegliche Membran 110 wird durch den Schalldruck ausgelenkt. Die Auslenkung kann über eine Messung der Kapazitätsänderung zwischen Membran 110 und Gegenelektrode 120 bestimmt werden. Kritisch an dieser Anordnung ist, dass es bei Überlast zu einer Zerstörung der beweglichen Membran kommen kann und dass man beim Herstellen Substratöffnung starken Einschränkungen unterliegt. In den Schriften EP 2460365 B1 und DE 10 2015 213716 A1 wird jeweils eine Anordnung gezeigt, die diese Nachteile umgehen.

**[0003]** Gelöst werden die Nachteile durch Einführung einer zusätzlichen Einfassungsschicht 140 die zwischen Substrat 100 und der beweglichen Membran 110 angeordnet wird. In dieser Schicht 140 wird eine Öffnung 150 derart vorgesehen, dass für die bewegliche Membran 110 eine Einfassung entsteht, auf der die bewegliche Membran 110 anschlagen kann, so dass sie nicht durch eine Überlast zerstört werden kann (siehe Zeichnung 1). Gleichzeitig kann im Herstellungsprozess der Zugang von der Rückseite leichter hergestellt werden und es wird möglich ein größeres Rückseitenvolumen darzustellen. Auch kann der akustische Leckpfad und die Dämpfung der Membran 110 genauer definiert werden, da die Membran 110 und die Einfassungsschicht 140 sehr genau zueinander justiert und hergestellt werden können. Aus der Schrift DE 10 2009 000 583 A1 ist ein Aufbau einer Mikrofonstruktur bekannt, bei der eine Membran zwischen einer Gegenelektrode und einer Kompensationselektrode angeordnet ist. Hierbei sind sowohl an der Gegenelektrode als auch an der Membran selber Anschläge zum Überlastschutz angebracht (siehe Absatz [0024]). Die Membran kann dabei über eine Federaufhängung am Substrat gehalten werden (siehe Absatz [0028]).

**[0004]** Weitere Möglichkeiten, Anschläge für die Membran im Rahmen des Aufbaus einer mikromechanischen Mikrofonstruktur zu bilden, sind u.a. aus den Schriften DE 10 2013 207 497 A1 und DE 10 2012 200 957 A1 bekannt.

**[0005]** Nachteilig an dieser Anordnung mit der zusätzlichen Einfassungsschicht ist dass, die Herstellung der Schicht sehr aufwendig ist. Es muss eine zusätzliche Isolationsschicht (141) unterhalb der Einfassungsschicht vorgesehen werden. Üblicherweise wird dazu eine Oxidschicht verwendet. Weiter muss in die Oxidschicht eine Kontaktätzung (142) vorgenommen werden, um das Substrat elektrisch kontaktieren zu können. Weiter muss auch in die über dem Substrat liegende Isolationsschicht eine Kontaktätzung (143) vorgenommen werden, um sowohl jeweils das Substrat als auch die Einfassungsschicht elektrisch kontaktieren zu können.

**[0006]** Weiter Nachteilig an der Verwendung der zusätzlichen Einfassungsschicht ist dass, die Oxidschicht (141) unter der Einfassungsschicht sich negativ auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Mikrofon auswirken. Bedingt durch den Herstellungsprozess verursacht die Oxid auf einem Siliziumsubstrat immer ein Druckstress. Der Druckstress kann zu vielfältigen Problemen führen. Eins der Probleme ist, dass in Summe zu viele und zu dicke Oxide auf der Substratvorderseite während des Herstellungsprozesses zu eine so starken Substratverbiegung führt, dass die Verarbeitung von derartigen Wafer nicht möglich ist. Die Oxidschichten oberhalb der Einfassungsschicht können aufgrund der notwendigen elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Mikrofon nicht reduziert werden, daher muss das Oxid unterhalb der Einfassungsschicht aufgrund dieser Randbedingung möglichst dünn gestaltet werden.

**[0007]** Andererseits sollte dieses Oxid möglichst dicke gewählt werden, um eine möglichst gute Mikrofon-Performance zu erreichen. Die Einfassungsschicht wird normalerweise elektrisch auf Membranpotential gehalten. Zwischen Einfassungsschicht und Substrat besteht eine elektrische, parasitäre Kapazität, die umso größer wird je geringer die Oxiddicke ausfällt. Mit zunehmende parasitäre Kapazität steigt das Rauschen des Mikrofon und die Performance leidet entsprechend. Man ist also zwischen zwei sich entgegenlaufenden Nachteilen gefangen.

### Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Mit der vorliegenden Erfindung wird eine Anordnung und ein dazugehöriges Herstellungsverfahren vorgestellt, das die oben genannten Nachteile der Einfassungsschicht überwindet.

**[0009]** Es wird vorgeschlagen eine Ringstruktur aus dem Substrat darzustellen bzw heraus zu ätzen. Die neue Substratstruktur ist elektrisch vom Substrat getrennt und kann an das Membranpotential angeschlossen werden. Die elektrische Trennung zwischen Substrat und Substratstruktur erfolgt sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung ganz oder teilweise über Hohlräume. Die Hohlräume könne auf-

grund des Herstellungsverfahrens sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung dicker als die Oxidschicht unterhalb der Einfassungsschicht gewählt werden. Die Substratstruktur kann die Funktion der bisherigen Einfassungsschicht übernehmen.

**[0010]** Die parasitäre Kapazität zwischen der Substratstruktur und dem Substrat kann durch die jetzt größeren Abstände zwischen der Substratstruktur und dem Substrat sehr stark reduziert werden. Zusätzlich sind die Räume zwischen der Substratstruktur und dem Substrat nicht mit Oxid verfüllt, dadurch reduziert sie die parasitäre Kapazität aufgrund der deutlich geringeren Dielektrizitätskonstante nochmals signifikant.

**[0011]** In diesem Ansatz wird eine zusätzliche Oxidschicht wie sie unter der Einfassungsschicht vorgesehen ist gänzlich vermieden. Die im Herstellungsprozess notwendige dünne Oxidschicht kann vollständig entfernt werden. In diesem Ansatz kann daher die Summe der Oxidschichten im Mikrofon auf die rein durch die eigentlichen im Mikrofon notwendigen Oxidschichten beschränkt werden. Weitere Oxide im Mikrofonstapel werden komplett vermeiden. Mit diesem Ansatz kann also trotz minimaler Gesamtoxidsumme einen deutlich geringere parasitäre Kapazität als im Ansatz mit einer Einfassungsschicht erreicht werden.

**[0012]** Weiter ist das für die Substratstruktur vorgeschlagene Herstellungsverfahren deutlich einfacher und billiger:

1. Die Abscheidung der ersten Oxidschicht unterhalb der Einfassungsschicht entfällt vollständig.
2. Die Strukturierung der ersten Oxidschicht unterhalb der Einfassungsschicht entfällt ebenfalls vollständig. Im vorgeschlagenen Herstellungsverfahren wird mit der Strukturierung der zweiten (Oxidschicht unter der beweglichen Membran) jetzt sowohl der Kontakt zum Substrat als auch der Kontakt zur Substratstruktur in einem Schritt hergestellt.
3. Die Abscheidung, Dotierung und Planarisierung der Einfassungsschicht entfällt vollständig.
4. Die Strukturierung der Einfassungsschicht wird nur durch die beschriebene Ätzung des Substrats ersetzt.
5. Die Abscheidung der Oxidschicht unterhalb der beweglichen Membran, kann beibehalten werden und mit dieser Abscheidung kann in einem Schritt sowohl die Substratgräben verschlossen werden und die Isolation zwischen Substrat und beweglicher Membran erreicht werden.

**[0013]** Mit der vorliegenden Erfindung wird auch ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Mikrofonaufbaus sowie ein durch dieses Verfahren hergestelltes mikromechanisches Mikrofonbauelement beansprucht. Hierzu wird auf der Oberfläche eines Halbleitersubstrats ein Einfassungsbereich einer noch zu bildenden Membran mittels der Erzeugung von Trenchgräben oder -löchern definiert. Diese Trenchgräben bzw. -löcher werden bevorzugt mittels eines anisotropen Ätzschritts erzeugt, so dass beispielsweise die lateralen Ausdehnungen gegenüber deren Tiefe gering sind. Unter wenigstens einem Teil der Trenchgräben bzw. -löchern wird anschließend mittels eines isotropen Ätzschritts ein Hohlraum erzeugt. Auf der Oberfläche des Halbleitersubstrats bzw. der Wänden der Trenchgräben bzw. -löcher und des Hohlraums wird eine Ätzstoppschicht erzeugt, die für das weitere Verfahren relevant wird. Zur Bildung von Verbindungsstegen, an denen später wenigstens ein Teil des Einfassungsbereichs befestigt werden kann sowie zur Bildung von Kontaktierungsdurchlässen werden in der Ätzstoppschicht Öffnungen hineinstrukturiert, die bis auf das darunter liegende Halbleitermaterial des Substrats führen. Anschließend wird eine Mikrofonstruktur auf das Halbleitersubstrat bzw. die Ätzstoppschicht aufgebracht, die wenigstens eine Membranschicht aufweist. Zur Freilegung der relevanten Elemente der Mikrofonstruktur wird zunächst von der Rückseite des Halbleitersubstrats eine Kaverne bis zum Einfassungsbereich und der Ätzstoppschicht auf der Vorderseite in dem Substrat erzeugt. Abschließend wird der Teil der Ätzstoppschicht unterhalb der Mikrofonstruktur entfernt, der die Membran definiert. Weiterhin kann auch die Ätzstoppschicht entfernt werden, die an den Wänden des Hohlraums gebildet worden ist, wodurch sich bei einer entsprechenden Wahl der Dimensionen der Kaverne eine Unterätzung unter dem Einfassungsbereich ergibt. Optional kann auch vorgesehen sein, dass das Material der Ätzstoppschicht, das sich in den Trenchgräben angeordnet hat, ebenfalls entfernt wird.

**[0014]** Vorteilhafterweise ist dabei die Membranschicht derart strukturiert, dass sie einen Membranbereich und einen Verankerungsbereich für den Einfassungsbereich aufweist. Indem im äußeren Bereich des Einfassungsbereichs, d.h. lateral von der Kaverne entfernt, ein Trenchgraben bis in den Hohlraum hinein vorgesehen ist, der insbesondere kreisförmig um die Kaverne herum geführt ist, kann der Einfassungsbereich mechanisch und elektrisch von dem Halbleitersubstrat getrennt werden. Durch die Verankerungselemente zwischen Einfassungsbereich und Verankerungsbereich kann der Einfassungsbereich gehalten werden.

**[0015]** Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen bzw. aus den abhängigen Patentansprüchen.

## Figurenliste

Die **Fig. 1** zeigt einen bekannten mikromechanischen Mikrofonaufbau. In der **Fig. 2a** ist ein Zwischenprodukt zur Herstellung des erfindungsgemäßen Mikrofonaufbaus dargestellt, wie er in **Fig. 2b** abgebildet ist. Ein entsprechendes Herstellungsverfahren für diesen erfindungsgemäßen Mikrofonaufbau ist in **Fig. 3** anhand eines Flussdiagramms ausgeführt.

## Offenbarung der Erfindung

**[0016]** Es wird vorgeschlagen, im Halbleitersubstrat eine Struktur zu erzeugen, die die Funktion der Einfassungsschicht übernimmt. Insbesondere wird vorgeschlagen, diese neue Struktur im Substrat derart zu designen und herzustellen, dass sie auch elektrisch von Substrat getrennt werden kann und beispielsweise auf Membranpotential gelegt werden kann.

**[0017]** Es wird gemäß der **Fig. 3** ein Herstellungsverfahren vorgeschlagen, bei dem zuerst in die Vorderseite eines (Halbleiter-)Substrats **200** geätzt wird (siehe zur Auswirkung die **Fig. 2a** und **Fig. 2b**). Dies erfolgt in einem mindestens zweistufigen Ätzverfahren oder in mindestens zwei getrennten Ätzschritten. Dabei wird zuerst in einem eher anisotropen Ätzschritt **300** ins (Halbleiter-) Substrat **200** geätzt. In einem zweiten, eher isotropen Ätzschritt **310** wird weiter derart ins Substrat **200** geätzt, dass in Teilbereichen die Ätzgräben der ersten Ätzung unterätzt werden, also ein Hohlraum **220** entsteht. Alternativ kann hier ein Ringbereich um die noch zu erzeugende Kaverte **260** erzeugt werden oder unabhängige Hohlräume. Die durch den Hohlraum **220** unterätzten Bereiche werden derart angeordnet, dass die neue Substrat-Struktur noch in mindestens einem Bereich **270** am Substrat **200** angebunden bleibt. In einer darauffolgenden Abscheidung **320** oder in einem Oxidationsverfahren wird im Substrat **200** und insbesondere auch in dem Hohlraum **220** eine Ätzstoppschicht **230** abgeschieden. Bevorzugt wird hierbei eine Oxidschicht abgeschieden. In einem günstigen Fall wird die Geometrie der ersten Ätzung in Substrat und die Abscheidung der Oxidschicht derart gewählt, dass die Gräben der ersten Ätzung ins Substrat teilweise oder ganz durch die Oxidabscheidung gefüllt werden.

**[0018]** Dann kann eine Strukturierung **330** der Ätzstoppschicht **230** bzw. der Oxidschicht erfolgen, die es ermöglicht, mittels erster Öffnungen **250** das Substrat **200** und mittels zweiter Öffnungen **255** den Einfassungsbereich **280** elektrisch zu kontaktieren. Später kann über die verfüllten zweiten Öffnungen **255** die mechanische Aufhängung der Einfassungsbereiche **280** erfolgen. Die Verbindungselemente der verfüllten zweiten Öffnungen **255** können weiter auch bewusst einzelne Ätzgräben vollständig umschlie-

ßen, um als Ätz-Stopp für die spätere Opferschichtätzung zu dienen. Damit kann erreicht werden, dass im weiteren Prozessablauf eine Oxidschicht **246** zwischen der Membranschicht **242** und der Gegenelektrodenschicht **244** stehen bleibt.

**[0019]** Nun kann in einem weiteren Schritt **340** der normale Mikrofonaufbau **240** auf der Vorderseite des Substrats **200** ganz oder zum Teil hergestellt werden. Hierzu wird beispielsweise eine Membranschicht **242** auf die Ätzstoppschicht **230** aufgebracht und zumindest derart strukturiert, so dass ein Membranbereich und ein Verankerungsbereich entsteht. Anschließend wird eine Opferschicht **246** aufgebracht, auf der wiederum oberhalb des Membranbereichs eine Gegenelektrode **244** erzeugt wird. Teile der Herstellungsschritte des Mikrofonaufbaus der Vorderseite können auch optional nach der Rückseitenbearbeitung ausgeführt werden.

**[0020]** Dann kann das Substrat auf Zieldicke geschliffen werden und von der Rückseite aus wird im Schritt **350** eine Kaverte **260** in das Substrat geätzt. Die Ätzung stoppt dabei zum Teil auf der Ätzstoppschicht **230**, die nach der zweiten Ätzung im Schritt **310** auf der Vorderseite abgeschieden wurde. Bevorzugt wird mit dieser Ätzung im Schritt **350** auch noch die zwischen Substrat **200** und der bestehende Verbindung **270** aus Substratmaterial getrennt.

**[0021]** In einem letzten Schritt **360** kann nun mit der Opferschichtätzung die bewegliche Membran der Mikrofonstruktur freigestellt werden. Je nach Anordnung wird nun auch die Oxidverbindung zwischen Substrat **200** und Substratstruktur vollständig entfernt und die Substratstruktur ist nur noch indirekt über Verbindungselemente am Verankerungsbereich der Membranschicht **242** des Mikrofonaufbaus **240** mit dem Substrat **200** verbunden. Diese Art der Verankerung der Substratstruktur ist ein spezifisches Merkmal für dieses besonders vorteilhafte Herstellungsverfahren.

**[0022]** Verwendet man Anstelle des Oxids als Ätzstopp- und Isolationsschicht und andere Materialien oder Materialkombinationen, die auch Oxid enthalten können, so kann erreicht werden, dass die Substratstruktur auch nach der Opferschichtätzung direkt mit dem Substrat verbunden bleibt. Ein derartiges Vorgehen bedeutet aber immer Zusatzaufwand und Zusatzkosten. Das Herstellungsverfahren weist gerade den besonderen Vorteil auf, dass die Substratstruktur über den Herstellungsprozess jederzeit über unterschiedlichen Elementen mit dem Substrat verbunden bleibt ohne, dass dafür zusätzliche Maßnahmen oder Aufwände notwendig sind.

### Patentansprüche

1. Mikromechanisches Mikrofonbauelement mit einem leitfähigen Substrat (200) und einer Membranschicht (242), die oberhalb des Substrat (200) angeordnet ist, wobei im Substrat ein Einfassungsbereich (280) vorgesehen ist, der elektrisch vom Substrat (200) getrennt ist und teilweise unterhalb der Membranschicht (242) liegt, und die Membranschicht (242) eine bewegliche Membran und einen Verankerungsteil seitlich von der Membran oberhalb des Einfassungsbereichs (280) aufweist **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfassungsbereich (280) mittels Verbindungselementen (290) am Verankerungsteil der Membranschicht (242) befestigt ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Substrat vorgesehene Einfassungsbereich (280) weitgehend aus Substratmaterial besteht.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat aus dotiertem Silizium besteht.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfassungsbereich (280) elektrisch mit der beweglichen Membran verbunden ist.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Substrat ein Durchgangsloch vorgesehen wird, das teilweise mit dem Einfassungsbereich (280) überlappt.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfassungsbereich (280) einen Ring formt.

7. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rand der beweglichen Membran vollständig über dem Ring des Einfassungsbereichs (280) liegt.

8. Anordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfassungsbereich (280) seitlich durch einen Trenchgraben (215) vom Halbleitersubstrat (200) getrennt ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Mikrofonaufbaus, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Erzeugung (300) von Trenchgräben (210, 215) in einem Einfassungsbereich (280) der Oberfläche eines Halbleitersubstrats (200) mittels eines anisotropen Ätzschritts, und
- Erzeugung (310) eines Hohlraums (220) unter wenigstens einem Teil der Trenchgräben (210, 215) des Einfassungsbereich (280) mittels eines isotropen Ätzschritts, und

- Erzeugung (320) einer Ätzstoppschicht (230), insbesondere einer Oxidschicht, auf der Oberfläche des Halbleitersubstrats (200) sowie den Wänden der Trenchgräben (210, 215) und des Hohlraums (220), und

- Strukturierung (330) der Ätzstoppschicht (230) auf der Oberfläche des Halbleitersubstrats (200) zur Bildung von Öffnungen (250, 255), die bis auf das Halbleitersubstrat (200) reichen, und

- Aufbringen (340) einer Mikrofonstruktur (240) mit einer Membranschicht (242) auf das Halbleitersubstrat (200), und

- Erzeugung (350) einer Kaverne (260) in dem Halbleitersubstrat (200) von der Rückseite unterhalb der Mikrofonstruktur (240), wobei die Kaverne (260) bis zum Einfassungsbereich (280) und der Ätzstoppschicht (230) reicht, und

- Entfernen (360) der Ätzstoppschicht (230) unterhalb der Mikrofonstruktur (240) zur Freilegung der Mikrofonstruktur (240).

10. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Mikrofonaufbaus nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ätzstoppschicht (230) die Trenchgräben (210, 215) verschließt.

11. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Mikrofonaufbaus nach einem Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Aufbringung (340) der Mikrofonstruktur (240) auf die Ätzstoppschicht (230) eine Membranschicht (242), auf die Membranschicht (242) eine Opferschicht (246) und auf die Opferschicht (246) einer Gegenelektrode (244) aufgebracht wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Freilegung der Mikrofonstruktur (240) die Entfernen der Opferschicht (246) zwischen Membranschicht (242) und Gegenelektrode (244) beinhaltet.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich die Ätzstoppschicht (230) des Hohlraums (220) entfernt wird.

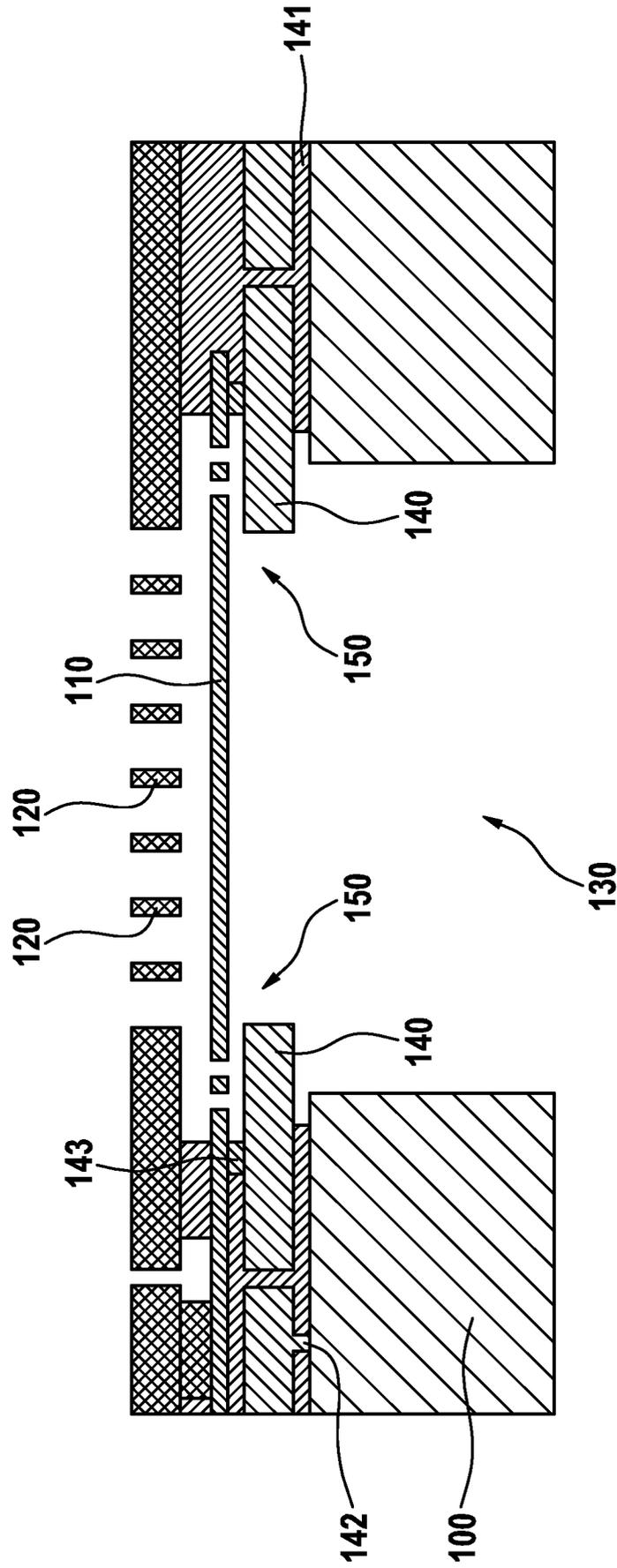
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Einfassungsbereich (280) kreisförmig unterhalb der Membranschicht (242) herum vorgesehen ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Einfassungsbereichs (280) durchgehende Öffnungen (255) in der strukturierten Ätzstoppschicht (230) erzeugt werden, die mittels Material der Membranschicht (242) der Mikrofonstruktur (240) zur Bildung von Verbindungselementen (290) zwischen Einfassungsbereich (280) und Membranschicht (242) verfüllt werden, wobei die Entfernung der Ätzstoppschicht (230)

ebenfalls oberhalb des Einfassungsbereichs (280)  
erfolgt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**FIG. 1**  
(Stand der Technik)

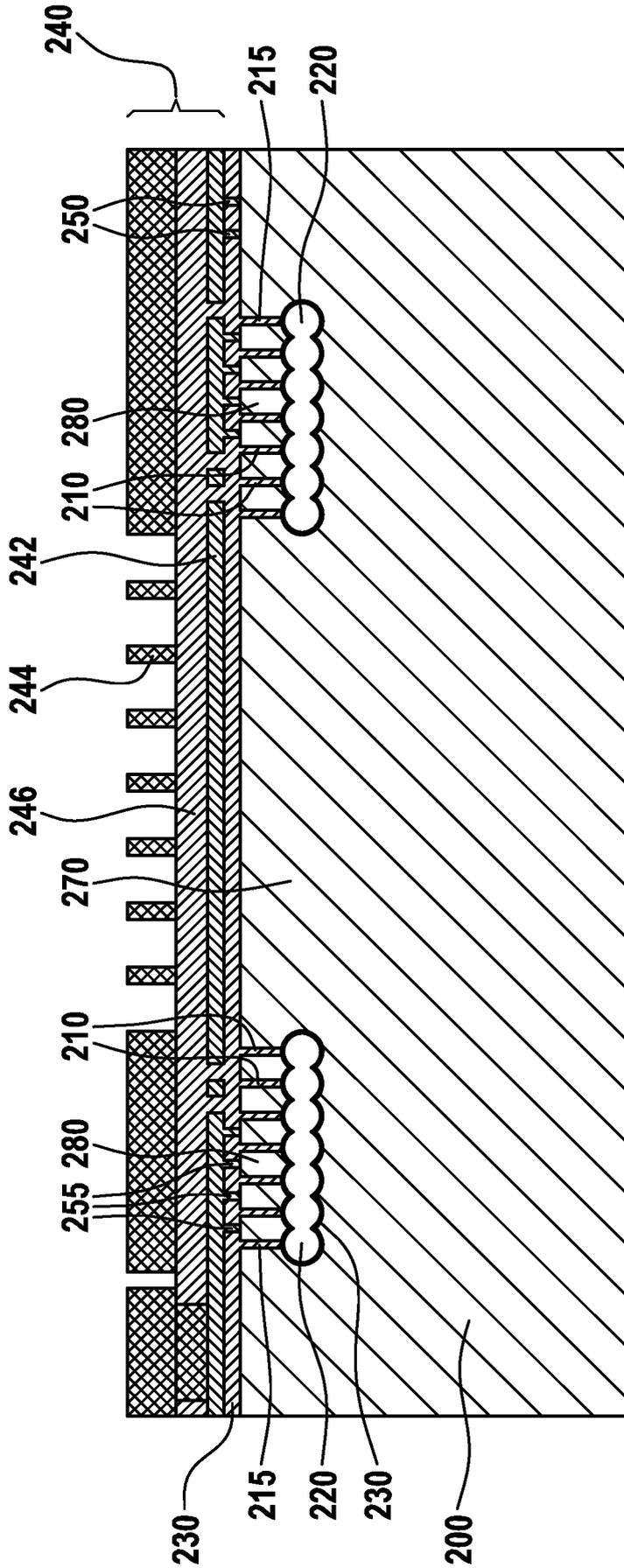


FIG. 2a

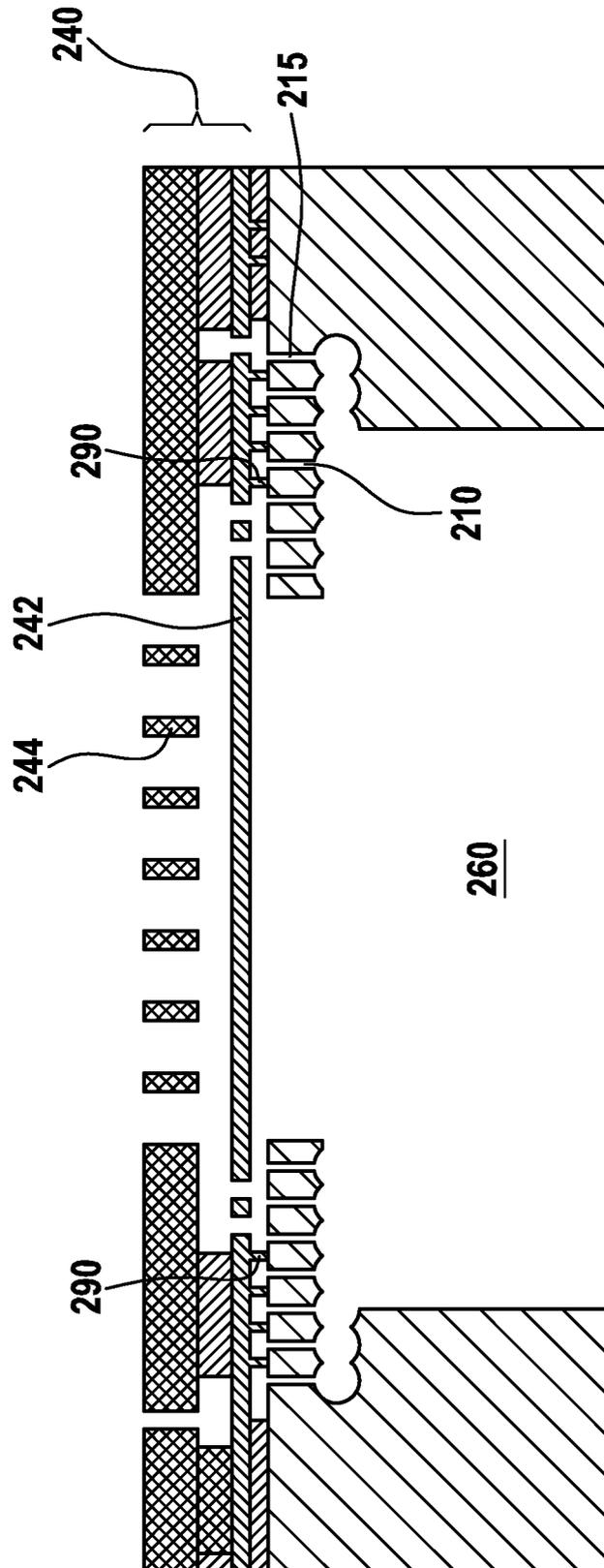
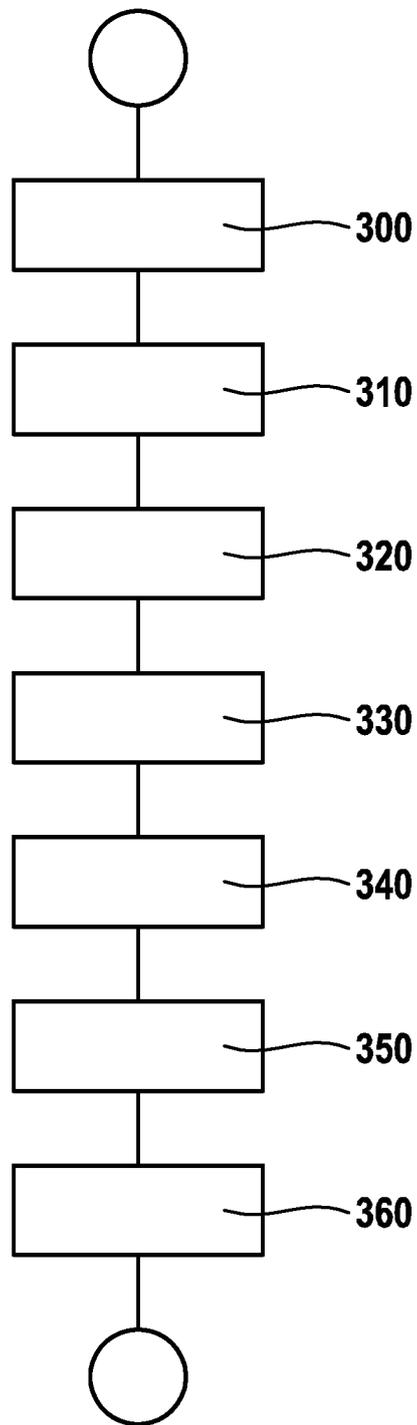


FIG. 2b



**FIG. 3**