

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.06.2022 Patentblatt 2022/24

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01H 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21152158.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01H 1/0036; H01H 2050/007; H01H 2071/048

(22) Anmeldetag: **18.01.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:

- Raab, Oliver
94496 Ortenburg (DE)
- Schwarz, Markus
80798 München (DE)

(30) Priorität: 11.12.2020 DE 102020215756

(54) **ELEKTRONIKMODUL**

(57) Das Elektronikmodul umfasst einen mittels Schichten mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometer an mindestens einem Substrat gebildeten MEMS-Schalter (60, 70, 80, 90) mit einem Laststrompfad (100) sowie eine mittels Schichten mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometern gebildete Magnetfeld-Sen-

sor-Einrichtung (120, 180). Bei dem Elektronikmodul ist die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) zur Erfassung eines durch den Laststrompfad (100) fließenden elektrischen Laststroms (I_A) des MEMS-Schalters angeordnet.

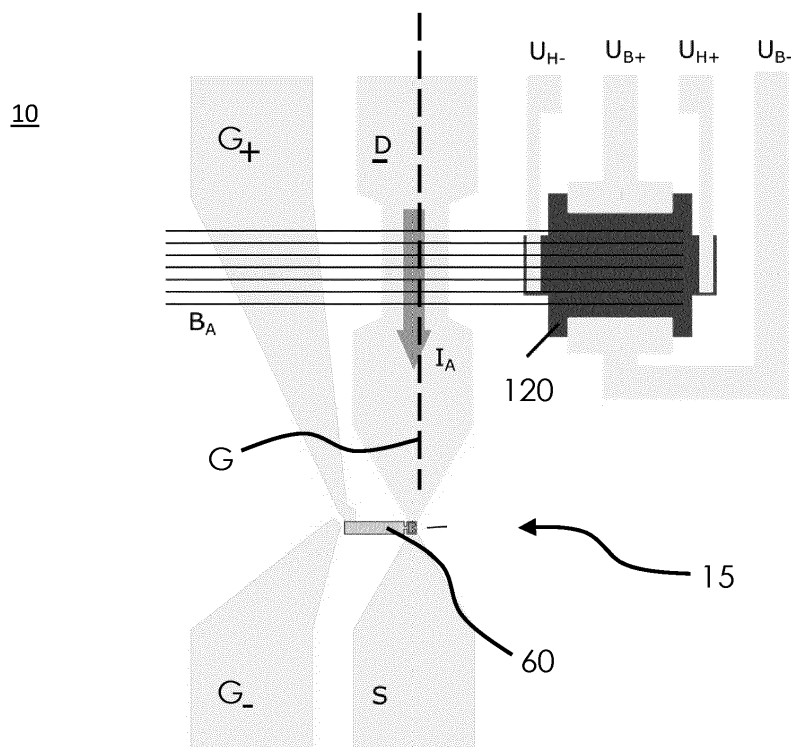


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Elektronikmodul.

[0002] Es ist bekannt, Elektronikmodule mit Stromschaltern auszubilden. Stromschalter stellen regelmäßig einfache Schaltfunktionen bereit.

[0003] Es ist ferner bekannt, Elektronikmodule mit Stromschaltern in Industriesteuereinrichtungen oder Motorstartern einzusetzen.

[0004] Regelmäßig besteht jedoch das Erfordernis, einen Strom, der durch den Stromschalter fließt, überwachen zu können. Dies ist insbesondere zum Schutz des Schalters selbst notwendig. Zudem besteht das Erfordernis, eine Last vor Überstrom zu schützen oder einen Verschleiß des Stromschalters und damit einhergehende erhöhte Übergangswiderstände erkennen zu können.

[0005] Grundsätzlich können solche Funktionalitäten in Industriesteuereinrichtungen oder Motorstartern vorgesehen werden. Jedoch bedeutet dies einen erhöhten Platzbedarf, etwa für Ferrit-Ringkerne für Strommess-einrichtungen oder für Rogowski-Spulen oder Shunts. Zudem treten bei Shunt-Strommessern häufig Widerstandsverluste und parasitäre Induktivitäten auf. Ferner ist es bei der Nutzung von Shunts problematisch, dass sich Steuer- und Laststromkreis nicht einfach galvanisch trennen lassen. Zusätzlich bedingen die zusätzlichen Funktionalitäten einen vergrößerten Bauteilbedarf, der die Kosten weiterwachsen lässt.

[0006] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Elektronikmodul bereitzustellen, welches vorzugsweise die vorgenannten Nachteile reduziert und überwindet. Es ist zudem Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Steuereinrichtung und einen verbesserten Motorstarter anzugeben, der gegenüber dem Stand der Technik, vorzugsweise hinsichtlich der genannten Nachteile, verbessert ist.

[0007] Diese Aufgabe der Erfindung wird mit einem Elektronikmodul mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie mit einer Steuereinrichtung und einem Motorstarter mit den in Anspruch 13 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den zugehörigen Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und der Zeichnung angegeben.

[0008] Das erfindungsgemäße Elektronikmodul umfasst einen mittels mindestens einer Schicht mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometern an mindestens einem Substrat gebildeten MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad sowie eine mittels mindestens einer Schicht mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometern gebildete Magnetfeld-Sensor-Einrichtung. Bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul ist die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung zur Erfassung eines durch den Laststrompfad fließenden elektrischen Stroms des MEMS-Schalters angeordnet.

[0009] Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Elektronikmodul mit einem Strommesser in Gestalt einer Magnetfeld-Sensor-Einrichtung direkt mittels einer Schicht mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometern herge-

stellt werden. Insbesondere kann das Elektronikmodul mit der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung mittels MEMS-Technologie (MEMS = "*Micro-Electro-Mechanical Systems*") hergestellt werden, sodass MEMS-Schalter und Magnetfeld-Sensor-Einrichtung integriert mittels derselben Prozesstechnologie und vorzugsweise mit zumindest zum Teil identischen Fertigungsschritten fertigbar sind. Folglich lässt sich das erfindungsgemäße Elektronikmodul mit weniger Prozessschritten fertigen, da Prozessschritte zeitgleich sowohl zur Fertigung des MEMS-Schalters als auch zur Fertigung der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung unternommen werden können. Das erfindungsgemäße Elektronikmodul ist daher kostengünstiger und schneller herstellbar.

[0010] Mittels der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung ist ein Magnetfeld eines durch den Laststromkreis fließenden Laststroms aufgrund einer resultierenden Lorenzkraft berührungslos messbar. Aufgrund der Lorenzkraft resultiert eine in an sich bekannter Weise messbare Spannung in Form einer Magnetfeldspannung, welche proportional zum Laststrom ist und folglich einen direkten Rückschluss auf die Größe des Laststroms erlaubt.

[0011] Zweckmäßig ist in einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Elektronikmoduls der MEMS-Schalter mit einem Biegeelement, vorzugsweise mit einem Biegebalken, ausgebildet. Gerade Biegeelemente wie Biegebalken sind vorteilhaft mittels Schichten mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometer fertigbar. In dieser Weiterbildung der Erfindung ist das erfindungsgemäße Elektronikmodul daher besonders einfach sowie mit einer verringerten Anzahl von Herstellungsschritten und günstig fertigbar.

[0012] Vorteilhaft kann mittels der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung der Laststrom des MEMS-Schalters galvanisch getrennt gemessen werden. Da erfindungsgemäß die Erfassung des Laststroms mittels des durch den Laststrom bedingten Magnetfelds erfolgt, ist eine elektrisch leitende Anbindung eines Strommessers bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul entbehrlich.

[0013] Vorteilhaft kann bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul ein Verschleiß des MEMS-Schalters mittels einer Erhöhung von Widerstandsverlusten und folglich anhand einer damit einhergehenden Stromänderung erkannt werden. Somit ist bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul die Lebensdauer mittels der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung zuverlässig abschätzbar.

[0014] Weiterhin vorteilhaft ist infolge der mittels der gemeinsamen Fertigbarkeit mittels Schichten von weniger als 100 Mikrometern Dicke, vorzugsweise in MEMS-Technologie, das Elektronikmodul räumlich kompakt und günstig herstellbar. Zusätzliche Bauteile müssen bei dem Elektronikmodul gemäß der Erfindung nicht eigens vorgesehen werden.

[0015] Vorzugsweise weisen bei dem Elektronikmodul gemäß der Erfindung die mindestens eine oder mehreren Schichten eine Dicke von weniger als 50 Mikrometer auf. Insbesondere in dieser Weiterbildung kann vorteilhaft MEMS-Technologie eingesetzt werden, insbesondere

ein Abscheiden dünner Schichten mittels Sputterns oder Bedampfens oder Galvanisierens oder eine Strukturierung von Schichten mit weniger als 50 Mikrometern Dicke mittels Photolithografie.

[0016] Bei dem Elektronikmodul gemäß der Erfindung ist in zweckmäßigen Weiterbildungen die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung an demjenigen Substrat gebildet, an welchem der MEMS-Schalter gebildet ist, oder das Elektronikmodul weist ein Zusatzsubstrat auf und die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung ist an dem Zusatzsubstrat gebildet und Magnetfeld-Sensor-Einrichtung und MEMS-Schalter sind an einander zugewandten Seiten des Substrats und des Zusatzsubstrats angeordnet. Bei einer gemeinsamen Anordnung an demselben Substrat sind zumindest Teile des MEMS-Schalters und Teile der Magnetfeld-Sensor-Einrichtung in ein und demselben Herstellungsschritt parallel fertigbar. Bei einer Anordnung aneinander zugewandten Seiten des Substrats und des Zusatzsubstrats hingegen können sich sonst kreuzende Leitungen leicht aneinander vorbei geführt werden. In dieser Weiterbildung sind Leitungskreuzungen folglich leicht vermeidbar.

[0017] Vorzugsweise umfasst bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung mindestens ein Magnetfeld-Sensor-Element, welches oder welche schräg, vorzugsweise quer, insbesondere senkrecht, zu einem durch einen durch den Laststrompfad fließenden Strom erregten Magnetfeld angeordnet und ausgerichtet ist oder sind. In dieser Orientierung ist das Magnetfeld-Sensor-Element besonders sensitiv zur Erregung einer Magnetfeld-Spannung und somit besonders sensitiv zur Strommessung angeordnet.

[0018] In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Elektronikmoduls ist das Magnetfeld-Sensor-Element ein Hall-Sensor-Element oder ein magnetoresistives Sensor-Element.

[0019] Bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul ist oder sind das Magnetfeld-Sensor-Element und/oder der Laststrompfad mit Halbleitermaterial, insbesondere mit Silizium, und/oder mit einem elektrischen Leiter, vorzugsweise Metall, gebildet. Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Elektronikmoduls gemäß der Erfindung ist der Laststrompfad um das Magnetfeld-Sensor-Element zumindest teilumfänglich herumgeführt. In dieser Weiterbildung der Erfindung lässt sich infolge der zumindest teilumfänglichen Herumführung des Laststrompfades das Magnetfeld effizient am Ort des Magnetfeld-Sensor-Elements konzentrieren, sodass in dieser Anordnung des Laststrompfades und des Magnetfeld-Sensor-Elements eine besonders genaue Strommessung möglich ist.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul weist die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung vorzugsweise mindestens einen magnetischen Flussdichte-Konzentrator auf, welcher die Flussdichte am Ort des Magnetfeld-Sensor-Elements konzentriert. Mittels der Konzentration am Ort des Magnetfeld-Sensor-Elements kann bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul eine besonders

genaue Strommessung erfolgen.

[0021] Bevorzugt umgibt bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul der Flussdichte-Konzentrator den Laststrompfad zumindest teilweise umfänglich. In dieser Weiterbildung der Erfindung ist das Magnetfeld entlang eines Teils des Umfangs, vorzugsweise entlang eines überwiegenden Teils des Umfangs, konzentriert, sodass die Genauigkeit der Strommessung weiter erhöht ist.

[0022] Bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul weist die mindestens eine Schicht in zweckmäßigen Weiterbildungen mindestens eine Sputterschicht und/oder aufgedampfte Schicht und/oder Galvanikschicht und/oder Klebeschicht und/oder Laminatschicht auf.

[0023] Bei dem erfindungsgemäßen Elektronikmodul weist die Schicht vorzugsweise ein ferromagnetisches Metall, insbesondere Eisen und/oder Kobalt und/oder Nickel und/oder Legierungen eines oder mehrerer der vorgenannten Metalle, und/oder Halbleitermaterial, vorzugsweise Silizium, und/oder Isoliermaterial, vorzugsweise Glas, auf.

[0024] In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist bei dem Elektronikmodul die mindestens eine Schicht mindestens eine strukturierte Schicht, vorzugsweise eines Silicon-on-Insulator-Substrats, auf. Vorteilhaft weisen Silicon-on-Insulator-Substrate bereits Siliziumschichten mit einer Dicke von weniger als 50 Mikrometern auf. In dieser Weiterbildung sind daher Schichten mittels Strukturierung, insbesondere mittels Photolithografie, des Silicon-on-Insulator-Substrats bereitstellbar, sodass das erfindungsgemäße Elektronikmodul besonders leicht, effizient und kostengünstig fertigbar ist.

[0025] Bevorzugt weist das Elektronikmodul gemäß der Erfindung eine Auswerteinrichtung zur Auswertung einer Magnetfeld-Spannung des Hall-Sensor-Elements, vorzugsweise zur Bestimmung eines Laststromwertes des Laststroms, auf. Auf diese Weise kann das Elektronikmodul die Strommessung des Laststroms ohne das Erfordernis weiterer Bauteile bereitstellen.

[0026] Nachfolgend wird die Erfindung anhand in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit einem Hall-Sensor-Element schematisch in einer Draufsicht,

Fig. 3 das erfindungsgemäße Elektronikmodul gemäß Fig. 1 schematisch im Querschnitt,

Fig. 2 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit einem Hall-Sensor-Element, bei welchem der Laststrompfad teilumfänglich um das Hall-Sensor-Element herumgeführt ist, schematisch in einer Draufsicht,

Fig. 4 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit einem Hall-Sensor-Element und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator schematisch im Querschnitt,

Fig. 5 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit einem Hall-Sensor-Element und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator, welcher etwa viertelumfänglich um dem Laststrompfad herumgeführt ist, schematisch im Querschnitt,

Fig. 6 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit einem Hall-Sensor-Element und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator, welcher etwa halbumfänglich um dem Laststrompfad herumgeführt ist, schematisch im Querschnitt,

Fig. 7 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit zwei Hall-Sensor-Elementen und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator, welcher etwa halbumfänglich um dem Laststrompfad herumgeführt ist, schematisch im Querschnitt,

Fig. 8 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit zwei Hall-Sensor-Elementen und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator, welcher nahezu vollumfänglich um dem Laststrompfad herumgeführt ist, schematisch im Querschnitt,

Fig. 9 ein weiteres erfindungsgemäßes Elektronikmodul mit zwei Substraten mit einem MEMS-Schalter mit einem Laststrompfad und einer Hall-Sensor-Einrichtung mit zwei Hall-Sensor-Elementen und einem magnetischen Flussdichtekonzentrator, welcher nahezu vollumfänglich um dem Laststrompfad herumgeführt ist, schematisch im Querschnitt.

[0027] Das in Fig. 1 dargestellte Elektronikmodul 10 weist zwei Substrate 20, 30 auf (in den Figuren 1 bis 3 nicht explizit gezeigt), welche flächig aneinander angeordnet sind und welche voneinander beabstandete und einander zugewandte und zueinander parallel verlaufen-

de plane Oberflächen aufweisen, an welchen die nachfolgend beschriebenen Elemente angeordnet sind, soweit nicht ausdrücklich anders beschrieben. Das erste Substrat 20 weist eine plane Siliziumoberfläche 40 auf, während das zweite Substrat 30 aus Glas gebildet ist und eine zur parallele und plane und um weniger als 100 Mikrometer, im dargestellten Ausführungsbeispiel um 50 Mikrometer, beabstandete Glasoberfläche 50 aufweist. Die Glasoberfläche 50 ist dabei derart gebildet und beabstandet, dass das zweite Substrat 30 vollständig aus Glas gebildet ist und eine Ausnehmung in Gestalt eines Grabens mit rechteckigem Profil aufweist, dessen Boden die Glasoberfläche 50 bildet. Grundsätzlich muss das Profil des Grabens nicht rechteckig sein, sondern kann auch abgerundete Ecken aufweisen. Das zweite Substrat 30 kann in weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen auch aus anderen Materialien, beispielsweise aus Silizium, bestehen und anstelle einer Glasoberfläche 50 eine andere Oberfläche, etwa eine zweite Siliziumoberfläche 50, aufweisen.

[0028] Das Elektronikmodul 10 weist einen MEMS-Schalter 15 auf, welcher ein Biegeelement in Form eines Biegebalkens 60 aufweist. Der Biegebalken 60 ist an der Siliziumoberfläche 40 des ersten Substrats 20 angelenkt und weist ein freies Ende auf, das mit einer elektrisch leitfähigen Metallisierung 70 versehen ist und mit dieser Metallisierung 70 in einer Auslenkstellung zwei voneinander beabstandete Schaltkontakte 80, 90 eines Laststrompfades 100 überbrücken kann. Der Biegebalken 60 liegt in seiner Auslenkstellung an den beiden Schaltkontakten 80, 90 mit seiner Metallisierung 70 an, sodass der Biegebalken 60 einen elektrischen Strom schalten kann. Der Biegebalken 10 ist mit einer elektrischen Steuerungspannung steuerbar, die den Biegebalken 10 elektrostatisch zur Auslenkung in die Auslenkstellung kraftbeaufschlagt. Die Steuerungspannung wird mittels zweier Elektroden G_+ , G_- angelegt, wobei eine Elektrode G_+ mit dem Biegebalken 60 und eine Elektrode G_- mit demjenigen Substrat, an welchem der Biegebalken 10 angelenkt ist, kontaktiert ist. Auf diese Weise ist mittels Beaufschlagung der Elektroden G_+ , G_- der Biegebalken 60 in seine Auslenkstellung bewegbar. Der MEMS-Schalter 15 umfasst folglich den Biegebalken 60 mit der Metallisierung 70, die Schaltkontakte 80, 90 sowie die Elektroden G_+ , G_- .

[0029] Die Schaltkontakte 80, 90 sind in einer Richtung senkrecht zur Längserstreckung des Biegebalkens 60 und parallel zur Siliziumoberfläche 40 beabstandet. Der Laststrompfad 100 ist mit elektrisch leitenden Metallbahnen S, D gebildet, welche mit den Schaltkontakten 80, 90 elektrisch leitend verbunden sind und welche sich in Richtung senkrecht zur Längserstreckung des Biegebalkens 60 und parallel zur Siliziumoberfläche 40 fort erstrecken. Zudem umfasst der Laststrompfad 100 die Schaltkontakte selbst sowie die Metallisierung 70 des freien Endes des Biegebalkens 60. Ein Laststrom I_A fließt nun von einer Metallbahn D der Metallbahnen S, D über die Schaltkontakte 80, 90 und die Metallisierung 70 des

freien Endes des Biegebalkens 60 zur anderen Metallbahn S der Metallbahnen S, D.

[0030] Wenn der Laststrom IA von einer D der Metallbahnen S, D zur weiteren S der Metallbahnen S, D fließt, so bildet sich um die Metallbahnen S, D, in Fig. 1 exemplarisch anhand der Metallbahn D gezeigt, ein Magnetfeld, dessen Magnetfeldlinien 110 die Verlaufsrichtung der Metallbahn D umfänglich und ringförmig umgeben. Die Magnetfeldlinien 110 sind an Orten der Oberfläche des ersten Substrats 20, an welchem der Biegebalken 60 angelenkt ist, im Wesentlichen entlang einer Ebene senkrecht zur Siliziumoberfläche 40 sowie parallel zur Längserstreckung des Biegebalkens 60 orientiert.

[0031] Das Elektronikmodul 10 umfasst auf einer zur Siliziumoberfläche 40 parallelen Oberfläche des ersten Substrats 20 zudem ein Magnetfeld-Sensor-Element in Gestalt eines Hall-Sensor-Elements, welches als, beispielsweise quadratische, Siliziumsensorschicht 120 auf dem ersten Substrat 20 realisiert ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Siliziumsensorschicht 120 mittels Freistellens einer Siliziumdeckschicht 130 des ersten Substrats 20 realisiert, welches ein Silicon-on-Insulator-Substrat 135 bildet. Das Silicon-on-Insulator-Substrat 135 besteht aus einem Siliziumsubstrat 140 mit einer Dicke von mehreren 100 Mikrometern sowie einer darauf flächig aufgetragenen Siliziumdioxidschicht 150 mit einer Dicke von weniger als 20 Mikrometern, im dargestellten Ausführungsbeispiel von etwa 2 Mikrometern, und der darauf abgeschiedenen Siliziumdeckschicht 130 mit einer Dicke von weniger als 50 Mikrometern, im dargestellten Ausführungsbeispiel von 20 Mikrometern.

[0032] Aus der Siliziumdeckschicht 130 ist die quadratische Siliziumsensorschicht 120 mittels Photolithografie derart freigestellt, dass ein quadratischer Rahmen um die quadratische Siliziumsensorschicht 120 von der Oberfläche der Siliziumdeckschicht 130 bis hin zur Siliziumdioxidschicht 150 des Silicon-on-Insulator-Substrats entfernt ist. D. h. die quadratische Siliziumsensorschicht 120 ist mittels eines diese umgebenden, hier quadratischen, Grabens 175 von der übrigen Siliziumdeckschicht 130 getrennt. Die quadratische Siliziumsensorschicht 120 ist nun mittels angeschnittener Leiterbahnen 180 elektrisch kontaktiert, wobei die Leiterbahnen 180 an der Oberfläche der Siliziumdeckschicht 130 und an den Oberflächen des Grabens 170 entlang senkrecht zum Verlauf des Grabens 170 auf die Siliziumsensorschicht 120 zu führen und an oder auf der Siliziumsensorschicht 120 enden.

[0033] Auch der Biegebalken 60 ist mittels Freistellens eines Teils der Siliziumdeckschicht 130 gebildet. Dabei wird ein Teil der Siliziumdeckschicht 130 freigestellt, indem ein daran angrenzender Teil der Siliziumdeckschicht 130 sowie ein Teil der Siliziumdioxidschicht 150 entfernt wird, sodass der freigestellte Teil der Siliziumdeckschicht 130 ein freies Ende bildet. Alternativ können in weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen die Siliziumsensorschicht 120 und der Biegebalken 60 als Sputterschicht oder als Aufdampfschicht oder

als Klebeschicht oder als Laminatschicht aufgebracht sein.

[0034] Die Leiterbahnen 180 und die Metallbahnen S, D sind jeweils als aufgedampfte Schicht aufgebracht. In weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen können die Leiterbahnen 180 und die Metallbahnen S, D auch als Galvanikschicht und/oder Klebeschicht und/oder Laminatschicht aufgebracht sein. Die Leiterbahnen 180 und die Metallbahnen S, D und der Biegebalken 60 sowie die Siliziumsensorschicht 120 weisen jeweils in Richtung senkrecht zur Glasoberfläche 50 oder zur Siliziumoberfläche 40 eine Dicke von weniger als 50 Mikrometern, im dargestellten Ausführungsbeispiel jeweils eine Dicke von höchstens 20 Mikrometern, auf. Die Leiterbahnen 180 weisen eine Dicke von 5 Mikrometern, der Laststrompfad und die Siliziumsensorschicht 120 sowie der Biegebalken 60 weisen jeweils eine Dicke von 20 Mikrometern auf. Die Leiterbahnen 180 können in weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen auch andere Dicken aufweisen.

[0035] Zwei der Leiterbahnen 180 führen jeweils in Richtung einer von zwei zueinander parallelen Seiten der quadratischen Siliziumsensorschicht 120 auf dieses zu und dienen zur Beaufschlagung mit Versorgungsspannungen UB+, UB-. Zwei weitere der Leiterbahnen 180 führen jeweils in Richtung einer der übrigen Seiten der quadratischen Siliziumsensorschicht 120 auf diese zu und fungieren als Signalspannungskontakte zur Erfassung der Hallspannungen UH+, UH-.

[0036] Die Magnetfeldlinien 110 infolge des Laststroms IA durch den Laststrompfad 100 durchsetzen wie in Fig. 2 dargestellt die Oberfläche der Siliziumsensorschicht 120 nahezu senkrecht, sodass die Siliziumsensorschicht 120 auf den Laststrom IA durch den Laststrompfad 100 nahezu maximal sensitiv ist. Im in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel führt der Laststrompfad 100 entlang einer Geraden G an der Siliziumsensorschicht 120 vorbei. In einem weiteren, in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel knickt der Laststrompfad 100 jedoch von der Geraden ab G und folgt einem U-förmigen Verlauf U um die Siliziumsensorschicht 120 herum, bevor der Laststrompfad 100 wieder auf die Gerade G führt.

[0037] Das in Fig. 4 dargestellte weitere Ausführungsbeispiel entspricht im Wesentlichen dem zuvor dargestellten Ausführungsbeispiel, unterscheidet sich von diesem jedoch darin, dass zusätzlich zur Siliziumsensorschicht 120 ein Feldlinienkonzentrator in Gestalt eines Eisenjochs 190 vorhanden ist. Im in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Eisenjoch 190 als Eisenquader ausgebildet, welcher in der Ebene parallel zur Siliziumoberfläche 40, an welcher die Siliziumsensorschicht 120 angeordnet ist, einen quadratischen Querschnitt aufweist, welcher beispielsweise eine um etwa 5 Prozent größere Kantenlänge aufweist als der quadratische Querschnitt der Siliziumsensorschicht 120. Das Eisenjoch 190 ist dabei an dem zweiten Substrat 30 an der Glasoberfläche 50 derart angeordnet, dass das Eisen-

joch 190 und die Siliziumsensorschicht 120 in Richtung senkrecht zur Glasoberfläche 50 und somit auch zur Siliziumoberfläche 40 betrachtet beispielsweise so überdecken, dass jeweils der Schnittpunkt der Diagonalen der quadratischen Querschnitte von Eisenjoch 190 und Siliziumsensorschicht 120 übereinstimmen. In dieser Weiterbildung werden folglich die Magnetfeldlinien 110 am Ort der Siliziumsensorschicht 120 konzentriert.

[0038] Das in Fig. 5 dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel, unterscheidet sich jedoch in der Ausbildung des Eisenjochs 190: Dieses ist nicht lediglich als Eisenquader ausgebildet, sondern umfasst zudem einen Eisensteg 200, welcher sich vom Eisenquader, in Richtung senkrecht zur Glasoberfläche 50 und zur Siliziumoberfläche 40 betrachtet, bis hin zum Laststrompfad 100 fortstreckt. Dazu streckt sich der Eisensteg 200 an der Glasoberfläche 50 entlang. In dieser Weiterbildung ist ein noch größerer Teil der Magnetfeldlinien 110 am Ort der Siliziumsensorschicht 120 konzentriert.

[0039] Das in Fig. 6 dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel, unterscheidet sich jedoch wieder in der Ausbildung des Eisenjochs 190: Dieses ist in Fig. 6 mit einem noch längeren Eisensteg 200 ausgebildet, welcher sich spiegelsymmetrisch fortsetzt bei Spiegelung an einer Ebene, die sich senkrecht zur Längserstreckung des Biegebalkens 60 und senkrecht zur Glasoberfläche 50 und somit auch senkrecht zur Siliziumoberfläche 40 erstreckt und welche sich mittig durch den Laststrompfad 100 hindurch erstreckt. Zudem ist im in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel auch der Eisenquader des Jochs 190 spiegelsymmetrisch doppelt vorhanden. In dieser Weiterbildung ist der Teil der Magnetfeldlinien 110, der am Ort der Siliziumsensorschicht 120 konzentriert ist, weiter erhöht.

[0040] Das in Fig. 7 dargestellte Ausführungsbeispiel entspricht dem in Fig. 6 abgebildeten Ausführungsbeispiel. Abweichend vom Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 ist allerdings zusätzlich spiegelbildlich, d. h. gespiegelt an einer Ebene, die sich senkrecht zur Längserstreckung des Biegebalkens 60 und senkrecht zur Glasoberfläche 50 und somit auch senkrecht zur Siliziumoberfläche 40 erstreckt und welche sich mittig durch den Laststrompfad 100 hindurch erstreckt, eine weitere Siliziumsensorschicht 120 vorhanden. In diesem Ausführungsbeispiel ist folglich die Messgenauigkeit des Laststroms I_A weiter erhöht.

[0041] Im in Fig. 8 dargestellten Ausführungsbeispiel ist ein zweiter Eisensteg 210 angeordnet, welcher an einer von der Siliziumoberfläche 40 abgewandten Seite des ersten Substrats angeordnet ist und welcher sich mit seiner Längserstreckung, d. h. mit seiner längsten Erstreckung, parallel zum Eisensteg 200 erstreckt. In diesem Ausführungsbeispiel werden folglich die Magnetfeldlinien nahezu vollumfänglich um den Laststrompfad 100 herum konzentriert.

[0042] In dem in Fig. 9 dargestellten Ausführungsbei-

spiel ist der Steg 200 nicht an der Glasoberfläche 50, sondern an einer der Glasoberfläche 50 abgewandten Seite des zweiten Substrats 30 angeordnet. Grundsätzlich lassen sich die Feldlinienkonzentratoren 190, 200, 210 flexibel zur Konzentration der Magnetfeldlinien 110 anordnen.

[0043] Ein nicht eigens in der Zeichnung dargestelltes erfindungsgemäßes Steuergerät weist ein oder mehrere erfindungsgemäße Elektronikmodule 10 wie vorhergehend beschrieben auf. Ein nicht eigens dargestellter erfindungsgemäßer Motorstarter weist ein oder mehrere erfindungsgemäße Elektronikmodule 10 wie vorhergehend beschrieben auf.

[0044] In weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispielen kann anstelle eines Hall-Sensor-Elements in Form einer Siliziumsensorschicht 120 auch ein anderes Magnetfeld-Sensor-Element, etwa ein magnetoresistiver Sensor, vorhanden sein.

Patentansprüche

1. Elektronikmodul, umfassend einen mittels Schichten mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometer an mindestens einem Substrat gebildeten MEMS-Schalter (15) mit einem Laststrompfad (100) sowie einer mittels Schichten mit einer Dicke von weniger als 100 Mikrometern gebildeten Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180), bei welchem die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) zur Erfassung eines durch den Laststrompfad (100) fließenden elektrischen Laststroms (I_A) des MEMS-Schalters (15) angeordnet ist.
2. Elektronikmodul nach dem vorhergehendem Anspruch, bei welchem die Schichten eine Dicke von weniger als 50 Mikrometer aufweisen.
3. Elektronikmodul nach dem vorhergehenden Anspruch, bei welchem die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) an demjenigen Substrat (20) gebildet ist, an welchem der MEMS-Schalter (15) gebildet ist oder bei welchem das Elektronikmodul (10) ein Zusatzsubstrat (30) aufweist und die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) an dem Zusatzsubstrat (30) gebildet ist und bei welchem Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) und MEMS-Schalter (15) an einander zugewandten Seiten des Substrats (20) und des Zusatzsubstrats (30) angeordnet sind.
4. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) mindestens ein Magnetfeld-Sensor-Element (120) umfasst, welches oder welche schräg, vorzugsweise quer, insbesondere senkrecht, zu einem durch einen durch den Laststrompfad (100) fließenden Laststrom erregten Magnetfeld (110) angeordnet und ausgerichtet ist oder sind.

5. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Magnetfeld-Sensor-Element (120) ein Hall-Sensor-Element oder ein magnetoresistives Sensor-Element ist.
6. Elektronikmodul nach dem vorhergehenden Anspruch, zumindest nach Anspruch 4, bei welchem das Magnetfeld-Sensor-Element (120) und/oder der Laststrompfad (100) mit Halbleitermaterial, insbesondere mit Silizium, und/oder mit einem elektrischen Leiter, vorzugsweise einem Metall, gebildet ist.
7. Elektronikmodul nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, zumindest nach Anspruch 4, bei welchem der Laststrompfad (100) um das Magnetfeld-Sensor-Element (120) zumindest teilumfänglich herumgeführt ist.
8. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zumindest nach Anspruch 4, bei welchem die Magnetfeld-Sensor-Einrichtung (120, 180) mindestens einen magnetischen Flussdichte-Konzentrator (190) aufweist, welcher die Flussdichte am Ort des Magnetfeld-Sensor-Elements (120) konzentriert.
9. Elektronikmodul nach dem vorhergehenden Anspruch, bei welchem der Flussdichte-Konzentrator (190) den Laststrompfad (100) zumindest teilweise umfänglich umgibt.
10. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die mindestens eine Schicht mindestens eine Sputterschicht und/oder aufgedampfte Schicht und/oder Galvanikschicht und/oder Klebeschicht und/oder Laminatschicht aufweist.
11. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Schicht ferromagnetisches Metall, insbesondere Eisen und/oder Nickel und/oder Kobalt und/oder Legierungen eines oder mehrerer der vorgenannten Metalle und/oder Eisenlegierungen und/oder Eisennickellegierungen, und/oder Halbleitermaterial, vorzugsweise Silizium, und/oder mit Isoliermaterial, vorzugsweise Glas, aufweist.
12. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die mindestens eine Schicht mindestens eine strukturierte Schicht (130), vorzugsweise eines Silicon-on-Insulator-Substrats (135), aufweist.
13. Elektronikmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend eine Auswerteinrichtung zur Auswertung einer Magnetfeld-Spannung (U_{H+} , U_{H-})
- des Magnetfeld-Sensor-Elements.
14. Steuereinrichtung und/oder Motorstarter, aufweisend ein oder mehrere Elektronikmodule (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

10

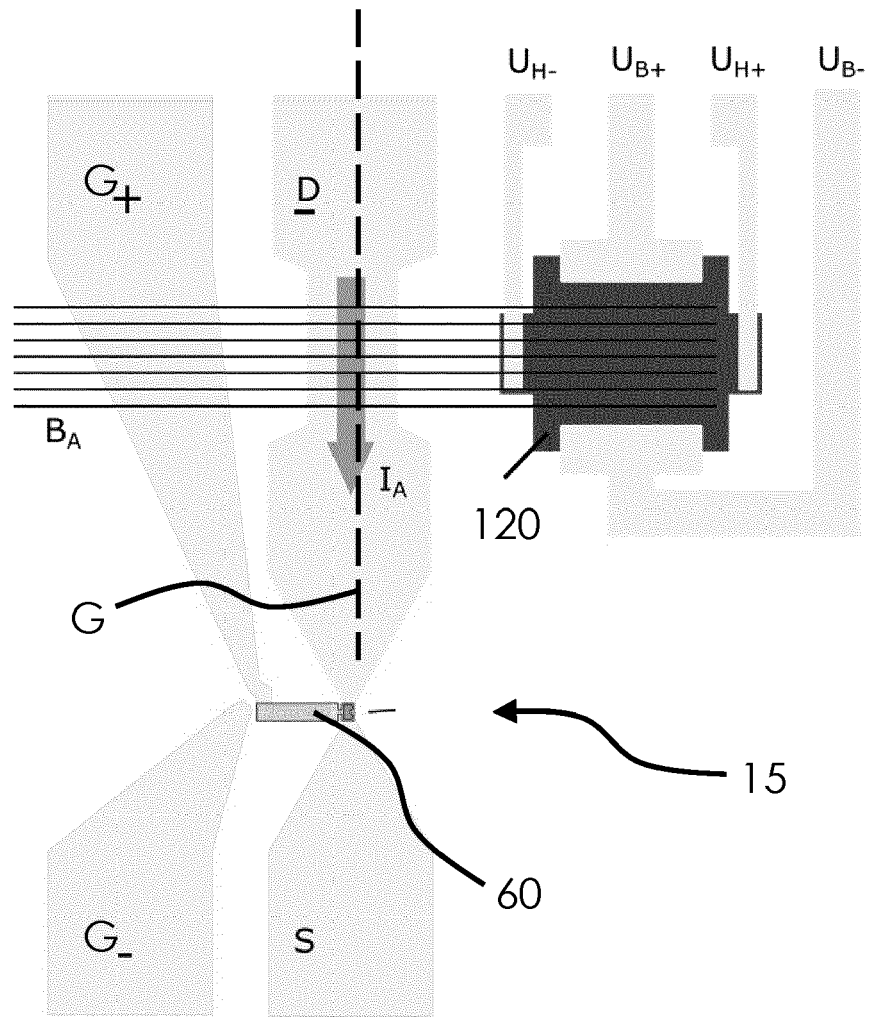


Fig. 1

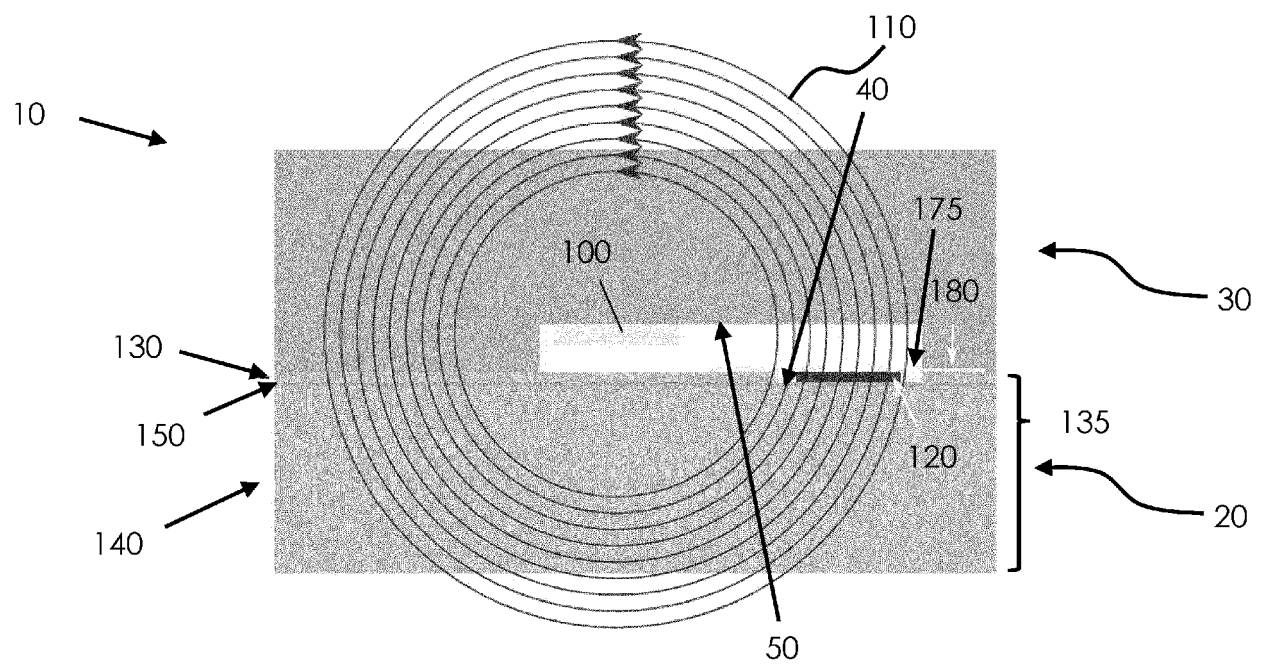


Fig. 2

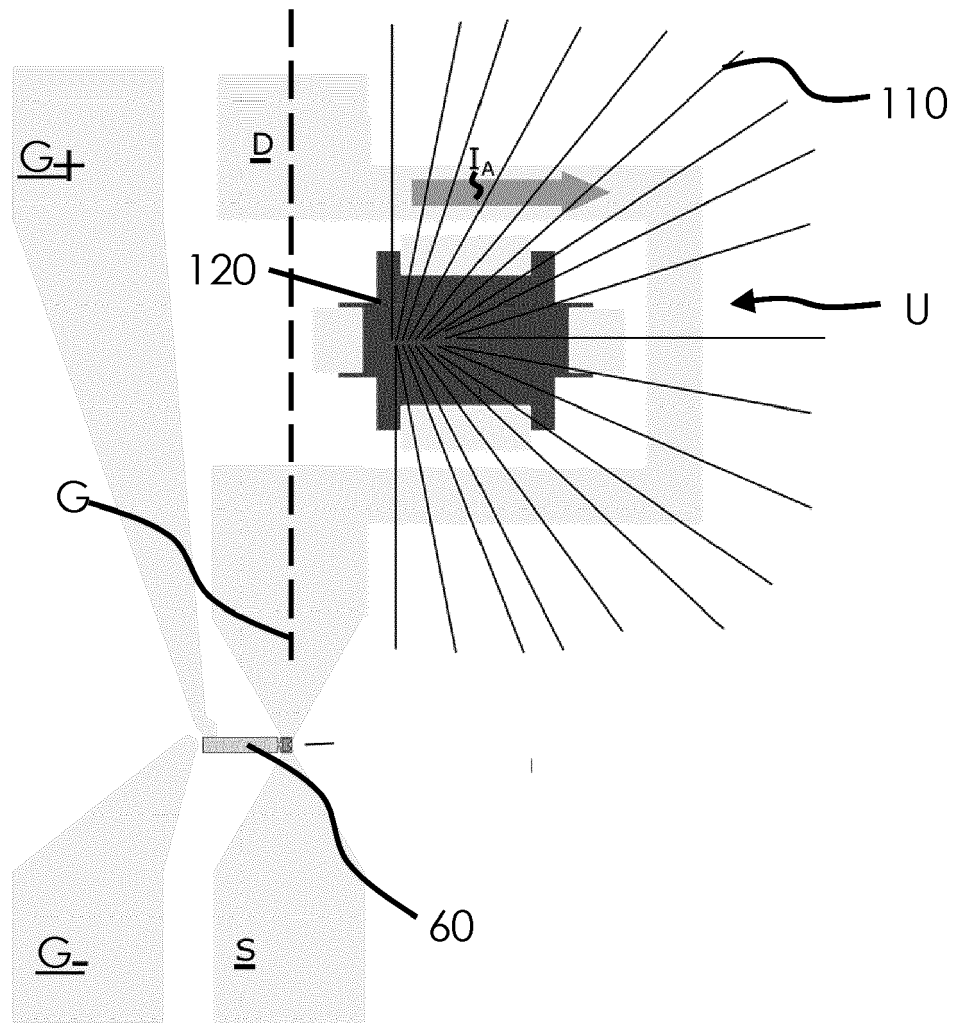
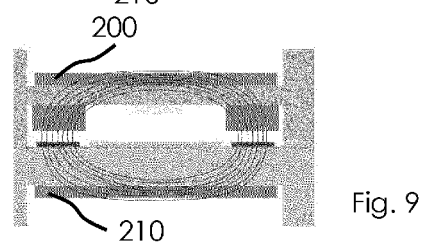
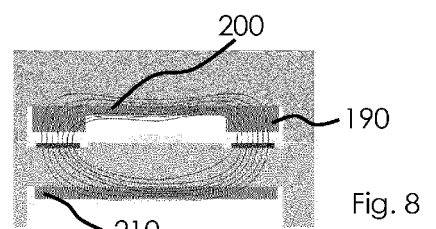
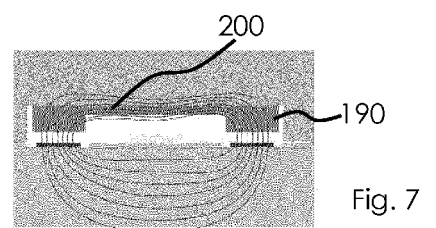
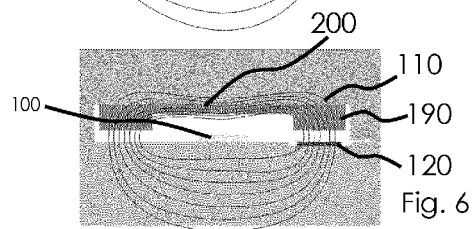
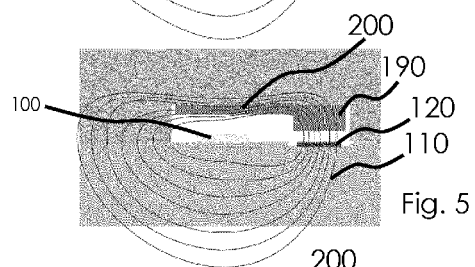
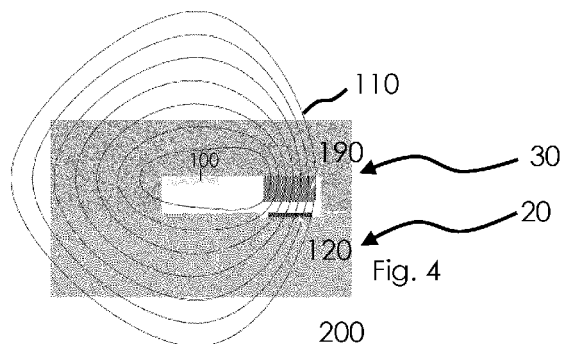


Fig. 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 15 2158

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 199 27 762 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 4. Januar 2001 (2001-01-04)	1,3-9, 13,14	INV. H01H1/00
Y	* Spalte 6, Zeile 60 - Spalte 10, Zeile 39; Abbildungen 2-5 *	2,10-12	

Y	US 5 070 317 A (BHAGAT JAYANT K [US]) 3. Dezember 1991 (1991-12-03)	2,10-12	
A	* Spalte 7, Zeile 48 - Spalte 11, Zeile 25; Abbildungen *	1	

X	DE 198 50 397 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 11. Mai 2000 (2000-05-11)	1,3-6, 13,14	
	* Spalte 6, Zeile 6 - Spalte 7, Zeile 31; Abbildungen *		

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01H
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. Juli 2021	Prüfer Findeli, Luc
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 15 2158

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-07-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	DE 19927762	A1	04-01-2001	AT 246854 T		15-08-2003
				DE 19927762 A1		04-01-2001
				EP 1186084 A1		13-03-2002
				US 6738246 B1		18-05-2004
				WO 0079664 A1		28-12-2000

20	US 5070317	A	03-12-1991	KEINE		

	DE 19850397	A1	11-05-2000	DE 19850397 A1		11-05-2000
				WO 0026934 A1		11-05-2000

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82