

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 691 663 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
10.01.1996 Patentblatt 1996/02

(51) Int. Cl.⁶: **H01F 41/04**

(21) Anmeldenummer: **95107648.8**

(22) Anmeldetag: **19.05.1995**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB LI NL

(30) Priorität: **07.07.1994 DE 4423876**

(71) Anmelder: **Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
D-76133 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Stark, Walter, Dr.
D-74572 Blaufelden (DE)**
• **Laier, Rupert
D-76646 Bruchsal (DE)**

(74) Vertreter: **Rückert, Friedrich, Dr.
D-76133 Karlsruhe (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer Mikrospule**

(57) Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein weiteres Verfahren zur Herstellung einer Mikrospule vorzuschlagen. Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Schritte auf:

- a) ein Draht aus einem ersten Metall wird mit einem Faden aus einem elektrisch nicht leitenden Material in der Weise umwickelt, daß der Faden die Form einer Spirale annimmt, deren Windungen durch Zwischenräume voneinander getrennt sind,
- b) der mit dem Faden umwickelte Draht wird in ein galvanisches Bad eingetaucht und als Kathode geschaltet,
- c) in den Zwischenräumen wird galvanisch ein zweites Metall abgeschieden, so daß der Draht in den Zwischenräumen mit dem zweiten Metall bedeckt ist,
- d) der Faden wird nachfolgend entfernt und
- e) der Draht selektiv mit einem Ätzmittel, das das zweite Metall nicht angreift, aufgelöst.

EP 0 691 663 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Mikrospule gemäß dem ersten Patentanspruch.

In der Mikrosystemtechnik spielen Mikrospulen, deren Windungen spiralförmig um ihre Längsachse verlaufen, eine wichtige Rolle. Solche Mikrospulen werden z. B. zum Antrieb von Aktoren in Mikroelektromotoren, Mikroventilen, Mikrorelais, Mikrosensoren etc. benötigt.

Ebene, spiralförmig gewundene Mikrospulen lassen sich in nahezu beliebiger Windungszahl mit Hilfe des bekannten LIGA-(Lithographie und galvanische Abformung)-Verfahrens problemlos herstellen. Spulen mit Windungen, die spiralförmig um ihre Längsachse verlaufen, erfordern bei Anwendung dieses Verfahrens einen hohen Aufwand, da jede Windung einzeln mit Hilfe einer justierten Bestrahlung, Entwicklung und galvanischen Abformung hergestellt werden muß. Solche Spulen lassen sich zwar gemäß dem deutschen Gebrauchsmuster G 93 18 386 durch Wickeln herstellen; der Wicklungstechnik sind jedoch bei sehr dünnen Spulenwindungen Grenzen gesetzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein weiteres Herstellungsverfahren für eine Mikrospule dieser Art anzugeben. Dieses Herstellungsverfahren soll es ermöglichen, auch Spulen mit sehr feinen Windungen herzustellen, die durch Wicklung nicht zugänglich sind.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das im ersten Patentanspruch beschriebene Verfahren gelöst. Die weiteren Ansprüche geben bevorzugte Ausgestaltungen des Verfahrens nach Anspruch 1 an.

Als Draht werden vorzugsweise dünne Metalldrähte, etwa mit einem Durchmesser von 150 µm bis zu 20 µm, eingesetzt. Das Metall der Drähte kann beliebig gewählt werden, solange es sich durch Ätzen selektiv gegenüber dem in einem späteren Schritt galvanisch abzuschleifenden zweiten Metall entfernen läßt. Geeignete Drähte mit dem angegebenen Durchmesser werden im Handel angeboten. Außerdem sind für eine Vielzahl von Metallen selektiv wirkende Ätzmittel bekannt.

Der Draht wird im ersten Verfahrensschritt mit einem Faden aus einem elektrisch nichtleitenden Material in der Weise umwickelt, daß der Faden den Draht im Form einer Spirale umgibt. Die Windungen der Spirale müssen durch einen Zwischenraum voneinander getrennt sein. Geeignete Fäden aus Kunststoffen, etwa aus Polytetrafluorethylen, Polyethylen, Polypropylen, Polyester, Perlon, Nylon, Kevlar etc. mit einem Durchmesser zwischen etwa 20 µm und 50 µm werden ebenfalls im Handel angeboten.

Das Umwickeln des Drahtes mit dem Faden kann z. B. in der im eingangs genannten Gebrauchsmuster beschriebenen Weise erfolgen, wonach der Draht zwischen zwei synchron rotierende Halterungen eingespannt und der Faden unter Vorschub in axialer Richtung aufgewickelt wird. Der Faden soll hierbei über eine möglichst gleichmäßige Auflagefläche mit dem Draht in Kontakt stehen. Bevorzugt wird ein Faden mit einem polygonalen, etwa einem dreieckigen Querschnitt, weil

hierbei eine ebene Fläche des Fadens auf dem Draht aufliegt und die Aufstandsfläche eindeutig definiert ist.

Prinzipiell kann auch ein im Querschnitt runder Faden eingesetzt werden. Ein runder Faden steht mit dem Draht jedoch nur über eine sehr schmale Aufstandsfläche in Kontakt. Deshalb wird in diesem Fall vorzugsweise ein Faden aus einem schmelzbaren Material, z. B. einem schmelzbaren Kunststoff wie Nylon, eingesetzt und der Draht nach dem Umwickeln kurz erwärmt. Durch das Erwärmen schmilzt der Faden auf dem Draht auf, wodurch sich die Aufstandsfläche verbreitert und zugleich der Faden fixiert wird. Das Erwärmen des Drahtes kann erfolgen, indem seine beiden Enden - ggf. unter Zwischenschalten eines elektrischen Widerstands - mit einer Spannungsquelle verbunden werden.

Anschließend wird der umwickelte Draht in ein galvanisches Bad eingesetzt und als Kathode geschaltet. Aus dem galvanischen Bad wird ein zweites Metall auf dem Draht abgeschieden. Da die Aufstandsfläche des Fadens auf dem Draht durch den elektrisch nichtleitenden Faden abgeschirmt ist, kann sich der galvanische Metallniederschlag nur in den Zwischenräumen zwischen den Windungen des spiralförmigen Fadens abscheiden. Der Draht wird somit ausschließlich im Bereich der Zwischenräume durch das galvanisch abgeschiedene Metall abgedeckt. Die galvanische Abscheidung wird bei geeigneter Stromdichte und Galvanisierzeit so lange fortgeführt, bis die gewünschte Dicke der Spulenwindungen erreicht ist. Mechanisch stabile Mikrospulen werden erzielt, wenn die Dicke des galvanisch abgeschiedenen Metallniederschlags mindestens einige Mikrometer beträgt. Die galvanische Metallabscheidung wird spätestens dann beendet, wenn die Zwischenräume vollständig ausgefüllt sind, da sonst auch der Faden mit einer Metallschicht überzogen würde. Hierdurch könnte sich ein Kurzschluß in der Mikrospule ergeben.

Die galvanische Abscheidung des Metalls oder der Metallegierung erfolgt gleichmäßiger, wenn der Draht im galvanischen Bad während der Metallabscheidung in Rotation um seine Längsachse versetzt wird. Alternativ kann eine rohrförmige Anode eingesetzt werden, die den Draht umgibt.

Nach Beendigung des Galvanikschrittes wird der Faden entfernt. Sofern der Faden nicht aufgeschmolzen ist, kann dies am einfachsten durch Abwickeln erfolgen. Aufgeschmolzene Fäden aus Kunststoff lassen sich durch ein geeignetes Lösungsmittel, etwa Dimethylformamid (DMF), entfernen, ohne daß die übrigen Materialien angegriffen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Faden durch thermische Behandlung etwa bei 500° C bis 700° C zu entfernen, sofern der Schmelzpunkt der Metalle höher liegt.

Nun erfolgt als letzter Schritt das selektive Herausätzen des Drahtes. Da der Draht sowohl an seinen Enden als auch an den ursprünglichen Aufstandsflächen des Fadens freiliegt, erfolgt der Angriff des Ätzmittels an vielen verschiedenen Stellen; das Ätzen ist daher in verhältnismäßig kurzer Zeit beendet.

Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich in kurzer Zeit Mikrospulen mit einem innern Durchmesser von beispielsweise 50 µm bis 100 µm, einer Windungsbreite z. B. von 15 µm bis 80 µm (in axialer Richtung gemessen) und einer Windungsdicke z. B. zwischen 5 mm und 20 µm (in radialer Richtung gemessen) herstellen. Die Länge der Mikrospulen kann problemlos bis zu 8 cm betragen. Mikrospulen in dieser Länge werden in der Mikrostrukturtechnik zwar nicht benötigt; solche Mikrospulen können jedoch zu einer Vielzahl kurzer Mikrospulen zerteilt werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Durchführungsbeispielen näher erläutert.

Beispiel 1

Ein Kupferdraht mit einem Durchmesser von 100 µm wird spiralförmig mit einem 20 µm dicken, im Querschnitt dreieckigen Faden aus Nylon umwickelt. Die Fadenenden werden am Draht festgeklebt. Der mit dem Faden umwickelte Draht wird in ein Nickel-Galvanikbad mit der Zusammensetzung:

Ni-Sulfat·6 H ₂ O	300 [g/l]
NiCl ₂ ·6 H ₂ O	50 [g/l]
H ₃ BO ₃	30 [g/l]
Netzmittel	300 [g/l]

eingetaucht und als Kathode geschaltet. Die Temperatur des Bades betrug 52° C. Mit Hilfe eines Motors wird der Draht in Rotation um seine Achse versetzt. Bei einer Spannung von 800 mV wird während einer Dauer von 30 min Nickel in den Zwischenräumen zwischen den Windungen des Fadens abgeschieden. Danach wird der Faden abgezogen und das Kupfer durch ein wäßriges Ätzmittel mit der Zusammensetzung

Ammoniumcarbonat	120 [g/l]
Natriumchlorit	30 [g/l]
Konz. Ammoniak	100 [ml/l]

vollständig weggelöst. Dieser Schritt dauerte ca. zwei Stunden. Es wurde eine Spule mit ca. 170 Windungen pro cm erhalten, deren Windungen in axialer Richtung ca. 40 µm und in radialer Richtung ca. 10 µm dick waren. Der Innendurchmesser entspricht der Dicke des Drahtes.

Beispiel 2

Ein Kupferdraht mit einem Durchmesser von 100 µm wird wie in Beispiel 1 angegeben mit einem im Querschnitt dreieckigen Faden umwickelt. Durch den Draht

wird kurzzeitig Strom (2 A) geleitet, wodurch der Faden auf dem Draht aufgeschmolzen wurde. Mit dem in Beispiel 1 beschriebenen Nickel-Galvanikbad wird der Draht im Bereich der Zwischenräume mit einer 7 µm dicken Nickelschicht versehen. Der Nylon-Faden wurde durch Verbrennen abgelöst. Anschließend wurde der Kupferdraht mit Hilfe des in Beispiel 1 angegebenen Ätzmittels vollständig aufgelöst. Die Dauer der Auflösung betrug ca. zwei Stunden. Anschließend wurde die Nickel-Spule mit einer ca. 0,5 µm dicken Goldauflage versehen. Hierzu wurde die Nickel-Spule in ein Goldbad der Zusammensetzung

Goldsulfit	10 [g/l]
Natriumsulfit	10 [g/l]
Natriumsulfat	10 [g/l]
Nitrilotriessigsäure	20 [g/l]

getaucht und als Kathode geschaltet. Die Spule wurde wiederum in Rotation versetzt. Während einer Zeit von 5 min bei einer Spannung von 750 mV und einer Badtemperatur von 50 °C wurde auf der Spule Gold abgeschieden.

Patentansprüche

- Verfahren zur Herstellung einer Mikrospule, bei dem
 - a) ein Draht aus einem ersten Metall mit einem Faden aus einem elektrisch nicht leitenden Material in der Weise umwickelt wird, daß der Faden die Form einer Spirale annimmt, deren Windungen durch Zwischenräume voneinander getrennt sind,
 - b) der mit dem Faden umwickelte Draht in ein galvanisches Bad eingetaucht und als Kathode geschaltet wird,
 - c) in den Zwischenräumen galvanisch ein zweites Metall abgeschieden wird, so daß der Draht in den Zwischenräumen mit dem zweiten Metall bedeckt ist,
 - d) der Faden nachfolgend entfernt und
 - e) der Draht selektiv mit einem Ätzmittel, das das zweite Metall nicht angreift, aufgelöst wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Faden aus einem schmelzbaren Material besteht und der mit dem Faden umwickelte Draht kurzzeitig auf eine solche Temperatur gebracht wird, daß der Faden auf der Oberfläche des Drahtes aufschmilzt.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der als Kathode geschaltete Draht im galvanischen Bad in Rotation um seine Längsachse versetzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der als Kathode geschaltete Draht im galvanischen Bad in eine rohrförmige Anode eingesetzt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 10 7648

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
Y	US-A-3 561 111 (BECK ALFRED B ET AL) 9.Februar 1971 * Spalte 2, Zeile 45 - Spalte 3, Zeile 4; Anspruch 1; Abbildungen 1-3 *	1	H01F41/04
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012 no. 405 (C-539), 26.Oktober 1988 & JP-A-63 143299 (KOBE STEEL LTD) 15.Juni 1988,	1	
A	* Zusammenfassung * -----	3,4	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28.September 1995	Prüfer Decanniere, L
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 andern 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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)