

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 711 433 B1**

(19)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **H01F 38/14** (2006.01)
A61N 1/378 (2006.01)
H01F 27/36 (2006.01)
H02J 50/12 (2016.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01193/15

(22) Anmeldedatum: 18.08.2015

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.02.2017

(24) Patent erteilt: 15.04.2019

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.04.2019

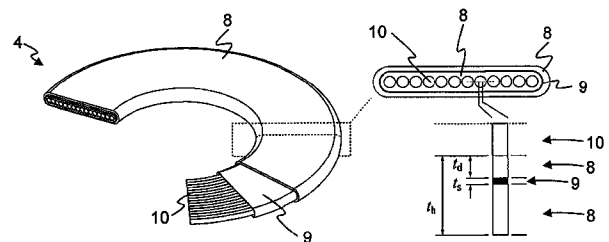
(73) Inhaber:
ETH Zürich ETH Transfer, HG E 47-49, Rämistrasse 101
8092 Zürich ETH-Zentrum (CH)

(72) Erfinder:
Oliver Knecht, 8092 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach
8032 Zürich (CH)

(54) **Implantierbare Spule mit elektrischer Schirmung.**

(57) Eine erfindungsgemässe implantierbare Spule (4) zur transkutanen Energieversorgung eines Implantats weist eine Wicklung (10) und eine Umhüllung (8) und eine die Wicklung mindestens teilweise umgebende elektrische Schirmung (9) auf. Dabei besteht die Schirmung (9) aus einem Material mit geringer elektrischer Leitfähigkeit, insbesondere mit einer Leitfähigkeit zwischen 0,1 S/m und 500 S/m.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der elektrischen Versorgung medizinischer Implantate, und insbesondere auf eine implantierbare Spule zur transkutanen Energieversorgung eines Implantats gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

[0002] Die kontaktlose Übertragung von elektrischer Energie zur Speisung von implantierten elektrischen Geräten, die in einen menschlichen oder tierischen Körper implantiert sind, im Folgenden Implantate genannt, ist allgemein bekannt. Dabei ist eine Sendespule elektromagnetisch an eine implantierte Empfängerspule gekoppelt. Für den Betrieb von Implantaten und zur Aufladung von implantierbaren Energiespeichern besteht ein Bedarf für eine Übertragung elektrischer Energie in einem Leistungsbereich von 5 W bis 30 W. Probleme, die sich dabei stellen, sind

- Erwärmung durch Verluste in der Empfängerspule des Implantates,
- Wirbelströme im Gewebe aufgrund von magnetischen Wechselfeldern,
- Elektrische Felder, je nach Höhe der an der Empfängerspule auftretenden Spannungen.

[0003] Zur Versorgung von Implantaten sind empfängerseitig parallel kompensierte Resonanzkonverter üblich, was aber bei kleinen Belastungen zu relativ hohen Verlusten im resonanten Kreis des Empfängers führt. Bei empfängerseitig seriekompensierten Resonanzkonvertern treten aber bei hohen Belastungen auch hohe Spannungen an den Anschlüssen der Empfängerspule auf. Diese können zu einer hohen Belastung des umliegenden Gewebes durch elektrische Felder führen.

[0004] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, eine implantierbare Spule der eingangs genannten Art zu schaffen, welche den Betrieb mit einem empfängerseitig seriekompensierten Resonanzkonverter zulässt und/oder die Auswirkungen von vergleichsweise hohen Spannungen an einer Empfängerspule auf umliegendes Gewebe reduziert.

[0005] Diese Aufgabe löst eine implantierbare Spule mit den Merkmalen des Patentanspruches 1.

[0006] Die implantierbare Spule zur transkutanen Energieversorgung eines Implantats weist eine Wicklung und eine Umhüllung und eine die Wicklung mindestens teilweise umgebende elektrische Schirmung auf. Dabei besteht die Schirmung aus einem Material mit geringer elektrischer Leitfähigkeit, insbesondere mit einer Leitfähigkeit zwischen 0,1 S/m und 500 S/m.

[0007] Es zeigt sich, dass diese Art der Abschirmung eine gute Energieübertragung zulässt und gleichzeitig eine signifikante Abschwächung des elektrischen Feldes im Gewebe um eine implantierte Spule bewirkt. Insbesondere können die maximale elektrische Feldstärke und/oder die spezifische Absorptionsrate (SAR) im Gewebe reduziert werden, wobei gleichzeitig Verluste in der Abschirmung klein gehalten werden können.

[0008] Eine gleichartige Abschirmung der ausserhalb des Körpers angebrachten Energieübertragungsspule reduziert die maximale elektrische Feldstärke in gleichem Masse und erhöht die elektromagnetische Verträglichkeit des Systems massgebend.

[0009] Eine besonders gute Abschwächung ergibt sich beim Vorliegen einer oder mehrerer der nachfolgend beschriebenen Eigenschaften verschiedener Ausführungsformen:

[0010] In einer Ausführungsform beträgt die Leitfähigkeit der Schirmung zwischen 1 S/m und 500 S/m, insbesondere zwischen 2 S/m und 80 S/m.

[0011] In einer Ausführungsform bildet die Spule einen flachen Ring, und ein Aussendurchmesser der Spule beträgt weniger als 10 cm, insbesondere weniger als 7 cm und insbesondere zwischen 5 cm und 6 cm.

[0012] In einer Ausführungsform besteht die Schirmung aus einer Folie, und ist insbesondere die Schirmung gebildet, indem einer oder mehrere Streifen der Folie um die Wicklung gewickelt ist respektive sind.

[0013] In einer Ausführungsform beträgt eine Dicke der Schirmung zwischen 25 μm und 500 μm , insbesondere zwischen 50 μm und 250 μm .

[0014] Bei einer Dicke der Schirmung von 25 μm beträgt die Leitfähigkeit der Schirmung vorzugsweise zwischen 10 S/m und 500 S/m. Bei einer Dicke der Schirmung von 200 μm beträgt die Leitfähigkeit der Schirmung vorzugsweise zwischen 1 S/m und 50 S/m.

[0015] In einer Ausführungsform ist die Schirmung durch eine Beschichtung der Wicklung mit dem Material geringer elektrischer Leitfähigkeit gebildet.

[0016] In einer Ausführungsform ist die Schirmung ein Kompositmaterial aus einem Polymer mit einem kohlenstoffbasierten Füllstoff.

[0017] In einer Ausführungsform beträgt eine Dicke der Schirmung zwischen 25 μm und 250 μm .

[0018] In einer Ausführungsform ist mindestens eine Resonanz-Kapazität zusammen mit der Wicklung durch die Umhüllung umhüllt.

[0019] In einem Resonanzkonverter zur drahtlosen Energieübertragung über zwei miteinander elektromagnetisch gekoppelte Spulen ist mindestens eine der Spulen eine implantierbare Spule gemäss einer der obigen Ausführungen.

[0020] In einer Ausführungsform ist der Resonanzkonverter für eine Betriebsfrequenz zwischen 100 kHz und 10 MHz ausgelegt.

[0021] In einer Ausführungsform ist der Resonanzkonverter für die Übertragung einer Leistung zwischen 10 W und 40 W und insbesondere zwischen 20 W und 30 W ausgelegt.

[0022] In einer Ausführungsform weist auch die zweite der miteinander elektromagnetisch gekoppelten Spulen, also die externe Spule, eine Schirmung wie hier für die implantierbare Spule beschrieben auf.

[0023] In einer Ausführungsform weisen Zuleitungen, welche die implantierbare Spule mit dem ebenfalls eine Schirmung wie beschrieben auf. Dies ist von Vorteil, weil das elektrische Feld auch an den Zuleitungen sehr hohe Werte erreichen kann.

[0024] Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

[0025] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

Fig. 1: Schaltbild eines Serie-Serie-kompensierten Resonanzconverters zur drahtlosen Energieübertragung;

Fig. 2a–c: Ausführungsformen von externen oder implantierbaren Energieübertragungsspulen;

Fig. 3: Eine Spulengeometrie;

Fig. 4: Schnittbild einer Anordnung von Energieübertragungsspulen im Gewebe; und

Fig. 5: Simulationsresultate der elektrischen Schirmung für eine implantierte Energieübertragungsspule.

Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche oder gleich wirkende Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0026] Fig. 1 zeigt ein Schaltbild eines Serie-Serie-kompensierten Resonanzconverters zur drahtlosen Energieübertragung. Diese weist einen extern (ausserhalb des Körpers) liegenden Schaltungsteil 6 und einen im Körper implantierten Schaltungsteil 7 auf, mit den folgenden Elementen:

- Eine Inverter-Schaltung 1: in diesem Fall ist beispielhaft ein Klasse-D Inverter mit Vollbrücken-Schaltung mit Schaltern T_1 – T_4 und optionalen Freilaufdioden D_1 – D_4 verwendet. Es können jedoch auch andere Typen eingesetzt werden (z.B. Klasse-E Inverter oder Push-Pull Inverter etc.).
- Eine Gleichrichterschaltung 2: in diesem Fall beispielhaft realisiert als selbstgeführte synchrone Gleichrichtung mit MOSFET Vollbrücke mit Schaltern T_5 – T_8 und Freilaufdioden D_5 – D_8 . Im einfachsten Fall kann eine Dioden-Vollbrücke verwendet werden.
- Resonanz-Kapazitäten 3: Diese Kapazitäten bilden zusammen mit den Übertragungsspulen einen Resonanzkreis des Converters. In diesem Fall ist eine Serie-Serie-Kompensation der Streuinduktivitäten gezeigt. Andere mögliche Ausführungen sind Serie-Parallel- (wobei die sekundärseitige Kapazität parallel zur Sekundärspule geschaltet wird), Serie-Serie-Parallel- oder Parallel-Parallel-Kompensation. Spannungen an der Sekundärspule, die wesentlich höher sein können als die Ein- oder Ausgangsspannungen treten jedoch nur bei der sekundärseitigen Serie-Kompensation auf.
- Eine interne (Energieübertragungs-)Spule 4 und eine externe Spule 4'.
- Externe respektive implantierte digitale Steuereinheiten 5 zur Erzeugung von Gate-Signalen zur Ansteuerung der Schalter T_1 – T_4 respektive T_5 – T_8 .

[0027] Fig. 2a–c zeigen unterschiedliche Bauformen einer Energieübertragungsspule oder Spule 4. Diese kann (Körper)extern oder implantiert sein. Beim Einsatz können für die externe und die implantierte Spule die gleiche Bauform vorliegen oder unterschiedliche Bauformen miteinander kombiniert sein. Kern der Spulen 4 ist eine Wicklung 10 aus Hochfrequenz-Litzendraht. Die Spulen 4 sind planar gewickelt, um eine möglichst dünne Spule zu realisieren (dies ist besonders für die implantierbare Spule 4 von Vorteil). Die Wicklung 10 kann eine oder auch mehrere Lagen aufweisen.

[0028] Die Wicklung 10 ist mit einer Umhüllung 8 aus Silikon vergossen. Um ein Eindringen von Flüssigkeit zu vermeiden, können die Spulen zusätzlich mit Parylene beschichtet werden. Die Wicklung 10 ist durch eine elektrische Schirmung 9 abgeschirmt. Diese ist realisiert durch eine Beschichtung oder eine dünne Folie mit geringer elektrischer Leitfähigkeit (ca. 1 bis 100 S/m) und einer Dicke von 50 μm bis 200 μm . Die Schirmung 9 umschliesst die Wicklung 10 teilweise oder vollständig.

[0029] In der Ausführungsform der Fig. 2a bildet die Wicklung 10 einen Ring und ist von der Schirmung 9 und der Umhüllung 8 umhüllt, wobei eine durchgehende Öffnung in der Mitte der Spule 4 verbleibt.

[0030] In den Ausführungsformen der Fig. 2b und Fig. 2c bildet die Wicklung 10 einen Ring und ist von der Schirmung 9 und der Umhüllung 8 umhüllt, wobei ein freier Bereich in der Mitte der Wicklung 10 gefüllt ist. Es liegt also keine durchgehende Öffnung in der Mitte der Spule 4 vor. In der Ausführungsform der Fig. 2b umhüllt die Schirmung 9 nur die Wicklung 10 und

reicht nicht in den freien Bereich in der Mitte der Wicklung 10. In der Ausführungsform der Fig. 2c deckt die Schirmung 9 auch diesen freien Bereich ab.

[0031] Fig. 3 zeigt eine Spulengeometrie in Querschnitten mit Details in verschiedenen Vergrößerungen, ausgehend von der Ausführungsform der Fig. 2a, wobei die beiden anderen Ausführungsformen bezüglich dieser Details gleich gestaltet sein können. Die Detailansicht rechts unten zeigt schematisch, ausgehend von einer gestrichelten Symmetrielinie nach unten, zunächst die Hälfte einer Wicklung 10, und dann einen Abstand t_d zwischen der Spulenwicklung 10 und der elektrischen Schirmung 9 und eine Dicke t_s der elektrischen Schirmung. Der Abstand t_d zwischen der Spulenwicklung 10 und der elektrischen Schirmung 9 bestimmt im Wesentlichen die maximal auftretenden elektrischen Verluste in der Schirmung. Je grösser dieser Abstand t_d , desto geringer sind die elektrischen Verluste. Die Dicke t_s der elektrischen Schirmung 9 liegt beispielsweise im Bereich von 50 μm bis 200 μm . Eine Gesamtdicke t_h der Silikonschicht der Umhüllung 8 beträgt typischerweise zwischen 0,5 mm und 1,5 mm. Die Dicke t_h der Silikonschicht hat – falls keine elektrische Schirmung vorliegt – einen signifikanten Einfluss auf die maximale elektrische Feldstärke im umliegenden Gewebe.

[0032] Die Schirmung kann ein Kompositmaterial aus einem Polymer, beispielsweise Silikongummi, mit einem kohlenstoffbasierten Füllstoff sein, wobei die Leitfähigkeit durch den Mengenanteil des Füllstoffs einstellbar ist. Alternativ kann die Schirmung aus Bändern sein, wie sie aus der Leistungselektronik bekannt sind, um bei einer dielektrischen Isolation einen gleichmässigen Gradienten des elektrischen Feldes zu erzielen.

[0033] Fig. 4 zeigt ein Schnittbild einer Anordnung einer implantierten Spule 4 in einem Gewebe und einer externen Spule 4', mit den folgenden Elementen:

- Thermische Isolation 11: diese reduziert eine Erwärmung der Hautoberfläche durch elektrische Verluste in der primären respektive externen Energieübertragungsspule;
- Haut 12, Subkutanes Fettgewebe 13 und Muskelgewebe 14.

[0034] Fig. 5a–d zeigen Simulationsergebnisse der elektrischen Schirmung für eine implantierte Energieübertragungsspule 4' eines Prototypen zur transkutanen Energieübertragung. Dieser ist für einen Betrieb mit einem maximalen Leistungstransfer von 30 W ausgelegt. In Fig. 5a–c beträgt die Dicke der elektrischen Schirmung 9 100 μm . Die elektrische Schirmung 9 führt im Wesentlichen zu einer Reduktion der elektrischen Feldstärke im Gewebe 13, 14 nahe der Empfängerspule und damit auch zu einer Reduktion der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Gewebe 13, 14. Die Figuren zeigen im Einzelnen, jeweils bei variierender Leitfähigkeit («Electrical Conductivity») des Materials der Schirmung 9 respektive des Flächenwiderstands R_{\square} («Sheet Resistivity») und mit dem Abstand t_d als Scharparameter:

- Fig. 5a: Elektrische Verluste («Shielding Losses») in der Schirmung. Die optimale elektrische Leitfähigkeit des Materials liegt in einem Bereich von 1 S/m bis 100 S/m (bei einer Dicke t_s der elektrischen Schirmung 9 von 100 μm). In diesem Bereich wird eine minimale Verlustleistung bei maximaler Reduktion der elektrischen Feldstärke im Gewebe 13, 14 erreicht.
- Fig. 5b: Maximale elektrische Feldstärke («Peak E-Field Strength») im umliegenden Gewebe 13, 14.
- Fig. 5c: Maximale spezifische Absorptionsrate (SAR) («Peak SAR») im Gewebe 13, 14.
- Fig. 5d: Elektrische Verluste («Shielding Losses») in der Schirmung bei verschiedenen Dicken der elektrischen Schirmung.

Patentansprüche

1. Implantierbare Spule (4) zur transkutanen Energieversorgung eines Implantats, aufweisend eine Wicklung (10) und eine Umhüllung (8) und eine die Wicklung mindestens teilweise umgebende elektrische Schirmung (9), dadurch gekennzeichnet, dass die Schirmung (9) aus einem Material mit einer Leitfähigkeit zwischen 0,1 S/m und 500 S/m besteht.
2. Implantierbare Spule gemäss Anspruch 1, wobei die Leitfähigkeit der Schirmung (9) zwischen 1 S/m und 100 S/m beträgt, insbesondere zwischen 2 S/m und 80 S/m.
3. Implantierbare Spule gemäss Anspruch 1 oder 2, wobei die Spule (4) einen flachen Ring bildet, und ein Aussendurchmesser der Spule (4) weniger als 10 cm, insbesondere weniger als 7 cm beträgt und insbesondere zwischen 5 cm und 6 cm beträgt.
4. Implantierbare Spule gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Schirmung (9) aus einer Folie besteht, und insbesondere die Schirmung gebildet ist, indem einer oder mehrere Streifen der Folie um die Wicklung (10) gewickelt ist.
5. Implantierbare Spule gemäss Anspruch 4, wobei eine Dicke der Schirmung (9) zwischen 25 μm und 500 μm beträgt, insbesondere zwischen 25 μm und 250 μm .

CH 711 433 B1

6. Implantierbare Spule gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Schirmung (9) durch eine Beschichtung der Wicklung (10) mit dem Material geringer elektrischer Leitfähigkeit gebildet ist.
7. Implantierbare Spule gemäss Anspruch 6, wobei die Schirmung (9) ein Kompositmaterial aus einem Polymer mit einem kohlenstoffbasierten Füllstoff ist.
8. Implantierbare Spule gemäss Anspruch 6 oder 7, wobei eine Dicke der Schirmung (9) zwischen 25 μm und 250 μm beträgt.
9. Implantierbare Spule gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mindestens eine Resonanz-Kapazität (3) zusammen mit der Wicklung (10) durch die Umhüllung (8) umhüllt ist.
10. Resonanzkonverter zur drahtlosen Energieübertragung über zwei miteinander elektromagnetisch gekoppelte Spulen (4, 4'), wobei mindestens eine der Spulen (4) eine implantierbare Spule (4) gemäss einem der vorangehenden Ansprüche ist.
11. Resonanzkonverter gemäss Anspruch 10, wobei der Resonanzkonverter für eine Betriebsfrequenz zwischen 100 kHz und 10 MHz ausgelegt ist.
12. Resonanzkonverter gemäss Anspruch 10 oder 11, wobei der Resonanzkonverter für die Übertragung einer Leistung zwischen 10 W und 40 W und insbesondere zwischen 20 W und 30 W ausgelegt ist.

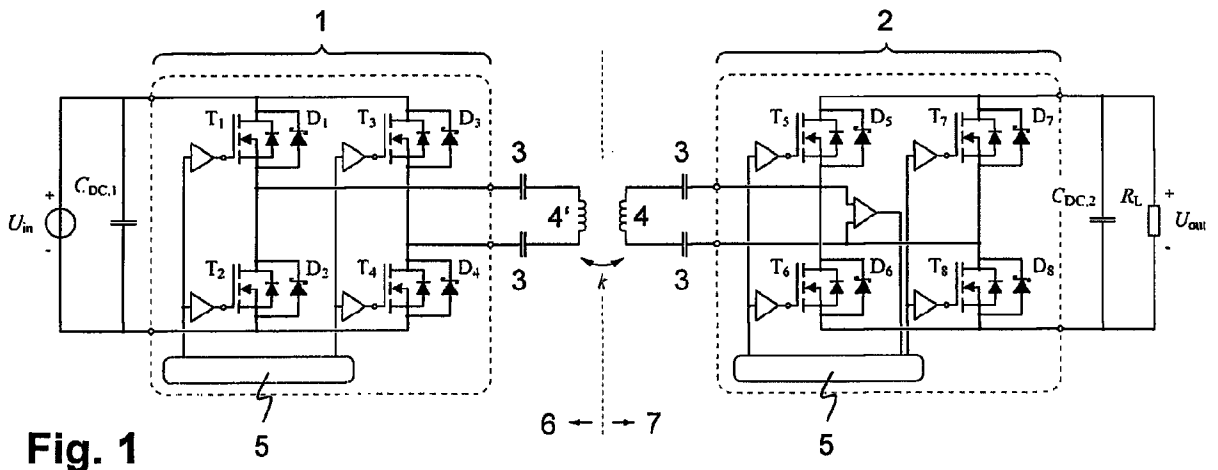


Fig. 1

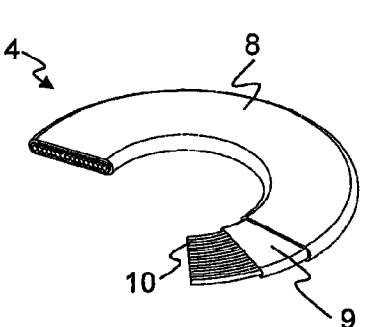


Fig. 2a

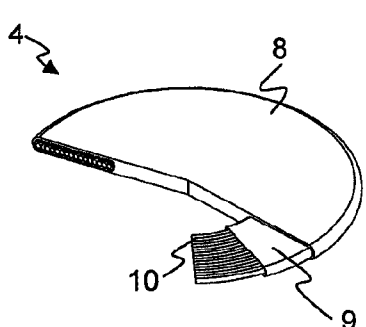


Fig. 2b

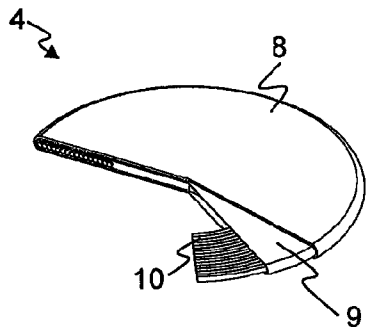


Fig. 2c

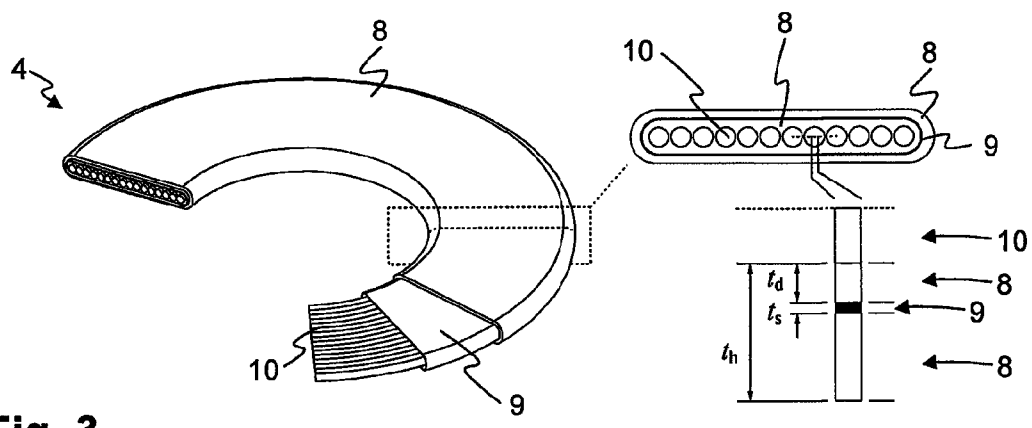


Fig. 3

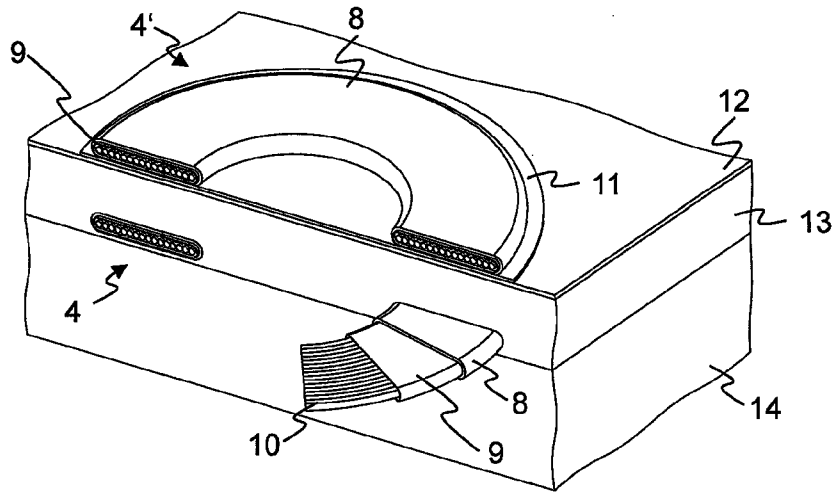


Fig. 4

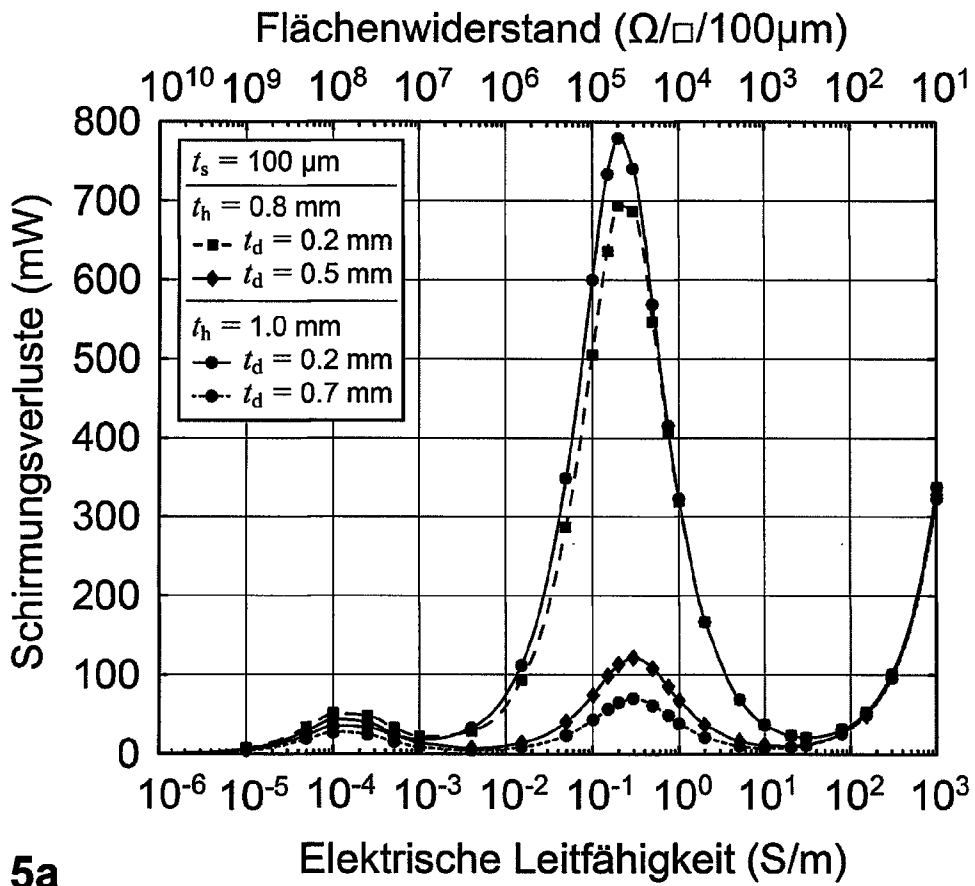


Fig. 5a

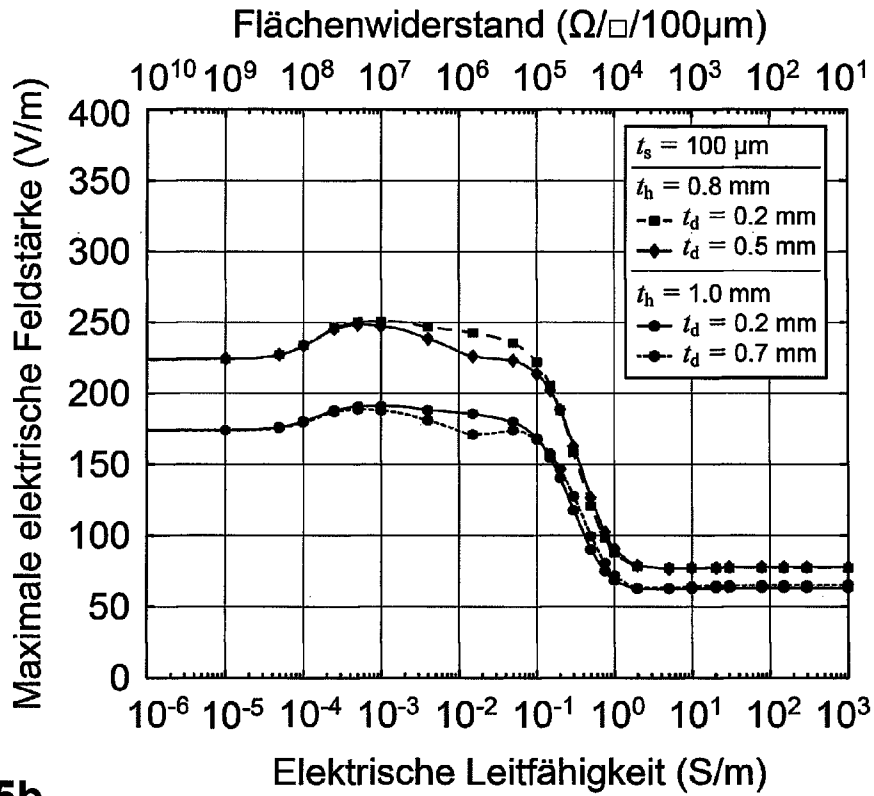


Fig. 5b

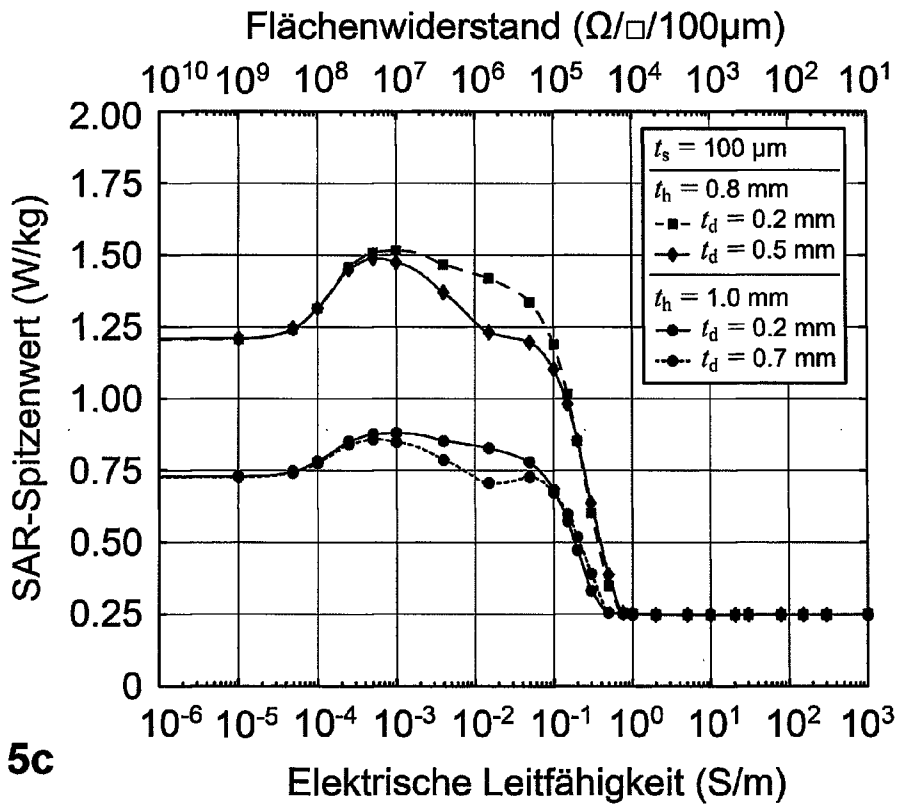


Fig. 5c

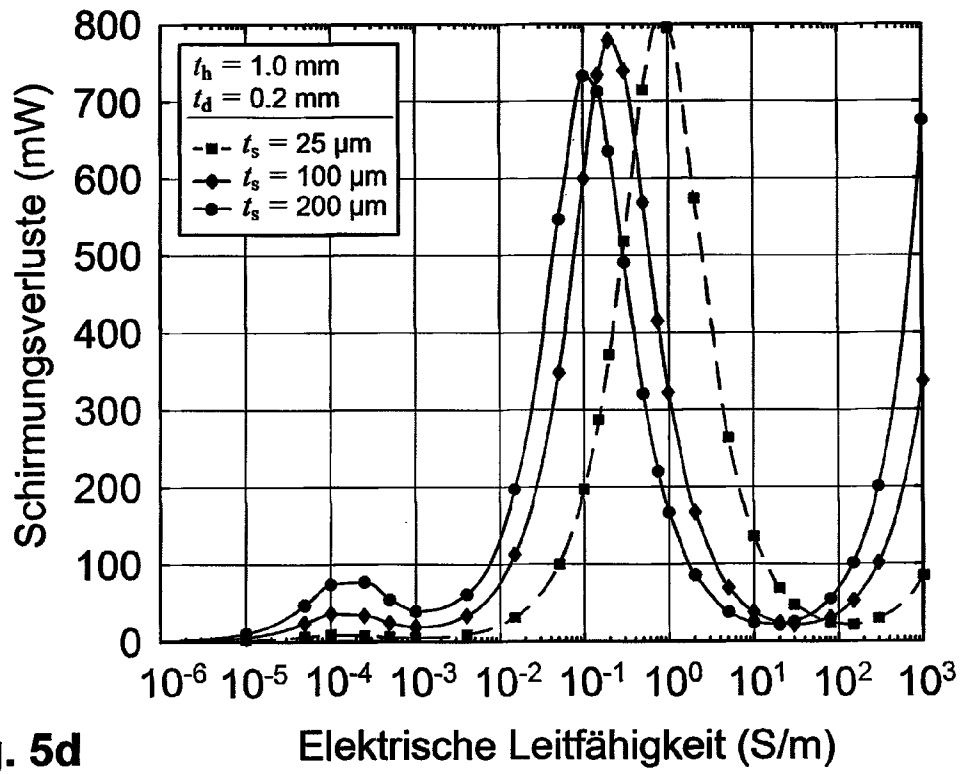


Fig. 5d