



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 37 953 T2** 2008.04.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 008 151 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01B 11/18** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 37 953.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/16810**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 944 338.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/013834**

(86) PCT-Anmeldetag: **22.09.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **02.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.06.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **25.07.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.04.2008**

(30) Unionspriorität:
26700 P 25.09.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE, CH, DE, ES, FI, FR, GB, IE, IT, LI, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
**CommScope, Inc. of North Carolina, Hickory, N.C.,
US**

(72) Erfinder:
**AHERN, Michael, deceased, US; FOX, Steve Allen,
Hickory, NC 28602, US**

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **KOAXIALKABEL UND SEIN HERSTELLUNGSVERFAHREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Koaxialkabel und insbesondere ein verbessertes verlustarmes Koaxialkabel mit erweiterten Biege- und Handhabungseigenschaften und verbesserten Dämpfungseigenschaften für eine gegebene Nenngröße.

[0002] Die Koaxialkabel, die heute gewöhnlich für die Übertragung von HF-Signalen verwendet werden, wie z. B. von Fernsehsignalen, weisen einen Kern, der einen Innenleiter enthält, und einen Metallmantel auf, der den Kern umgibt und als Außenleiter dient. Ein Dielektrikum umgibt den Innenleiter und isoliert ihn elektrisch von dem umgebenden Metallmantel. Bei einigen Koaxialkabeltypen wird Luft als Dielektrikum verwendet, und elektrisch isolierende Distanzstücke sind in beabstandeten Positionen über die gesamte Länge des Kabel vorgesehen, um den Innenleiter innerhalb des umgebenden Mantels koaxial zu halten. Bei anderen bekannten Koaxialkabelkonstruktionen umgibt ein Schaumstoffdielektrikum den Innenleiter und füllt die Zwischenräume zwischen dem Innenleiter und dem umgebenden Metallmantel aus.

[0003] Eine wichtige Eigenschaft von Koaxialkabel ist seine Fähigkeit, ein Signal mit möglichst niedriger Dämpfung zu übertragen. Eine Methode zur Messung der Signalausbreitung wird als prozentualer Anteil der Lichtgeschwindigkeit ausgedrückt, der gewöhnlich als Ausbreitungsgeschwindigkeit (V_p) bekannt ist. Koaxialkabel vom "Luftdielektrikum"-Konstruktionstyp weisen sehr gute Signalausbreitungseigenschaften mit V_p Werten von typischerweise mindestens 90% auf. Diese Koaxialkabel weisen jedoch leider relativ begrenzte Biegeeigenschaften auf und sind empfindlich gegen Ausbeulen, Flachdrücken oder Einknicken des äußeren Mantels, wodurch die elektrischen Eigenschaften des Kabel beeinträchtigt werden und das Kabel unbrauchbar gemacht wird. Infolgedessen erfordern Koaxialkabel vom Luftdielektrikum-Typ bei der Installation eine sehr sorgfältige Handhabung, um eine solche Beschädigung zu vermeiden. Außerdem werden sie nicht für die Verwendung bei Installationen empfohlen, die Biegungen mit kleinem Radius oder häufiges Hin- und Herbiegen erfordere.

[0004] Koaxialkabel vom "Schaumstoffdielektrikum"-Konstruktionstyp weisen andererseits wesentlich bessere Biegeeigenschaften als Kabel mit Luftdielektrikum auf. Sie können leichter installiert werden, ohne zu große Bedenken über Ausbeulen, Flachdrücken oder Einknicken des äußeren Mantels, und sie können in Umgebungen eingesetzt werden, wo Kabel vom Luftdielektrikum-Typ ungeeignet sind. Sie sind jedoch durch eine etwas niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeit als Kabel mit Luftdielektrikum beeinträchtigt. Diese Verringerung von V_p und der

Anstieg des Dämpfungsverlusts sind auf das Schaumstoffdielektrikum zurückzuführen.

[0005] In einem frühen Koaxialkabel mit Schaumstoffdielektrikum wurde ein Polystyrolschaumstoff verwendet, der mit einem Pentantreibmittel hergestellt wurde, wie in US-Patent Nr. 4104481 von Wilkenloh et al. erwähnt. Das Schaumstoffdielektrikum lieferte zwar eine hervorragende Signalausbreitung mit Ausbreitungsgeschwindigkeitswerten von mindestens 90%, aber die Verwendung von Pentan als Treibmittel und die offenzellige Natur des entstehenden Polystyrolschaumstoffs waren Nachteile, welche die weitverbreitete kommerzielle Anwendung dieses Kabelaufbaus begrenzten.

[0006] Eine Alternative zu den offenzelligen Polystyrolschaumstoffdielektrika war die Verwendung eines geschlossenzelligen Polyolefinschaumstoffdielektrikums. US-Patent Nr. 4104481 beschreibt ein Koaxialkabel mit einem Polyolefinschaumstoffdielektrikum, das Polyethylen oder Polypropylen aufweist, das unter Verwendung eines Fluorchlorkohlenwasserstofftreibmittels und eines Nukleierungsmittels verschäumt wird. Das entstehende Schaumstoffdielektrikum weist erhöhte Biegeeigenschaften ohne die mit dem Polystyrol/Pentan-System verbundenen negativen Einflüsse auf. US-Patent Nr. 4472595 von Fox et al. offenbart ein Koaxialkabel mit Schaumstoffdielektrikum, das verbesserte Handhabungs- und Biegeeigenschaften aufweist.

[0007] In letzter Zeit haben wegen ökologischer Bedenken und staatlicher Vorschriften die Hersteller von Schaumstoffen die Verwendung der meisten Fluorchlorkohlenwasserstoffe eingestellt und sind zu alternativen Treibmitteln übergegangen, wie z. B. Stickstoff, Schwefelhexafluorid und Kohlendioxid. Es besteht jedoch der Bedarf, die Signalausbreitungseigenschaften von Schaumstoffdielektrika zu verbessern, die mit diesen alternativen Treibmitteln hergestellt werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Kabel mit Schaumstoffdielektrikum bereitgestellt, das eine Ausbreitungsgeschwindigkeit (V_p) von mehr als etwa 90% der Lichtgeschwindigkeit aufweist. Dieser hohe Ausbreitungswert ist eine sehr wesentliche Verbesserung gegenüber den Ausbreitungswerten der gegenwärtig verfügbaren Koaxialkabel mit Schaumstoffdielektrikum und ist vergleichbar mit den Signalausbreitungseigenschaften von Koaxialkabeln mit Luftdielektrikum. Das Koaxialkabel mit Schaumstoffdielektrikum gemäß der vorliegenden Erfindung weist jedoch Flexibilitäts- und Biegeeigenschaften auf die Koaxialkabeln mit Luftdielektrikum weit überlegen sind. Daher bietet das erfindungsgemäße Koaxialkabel hervorragende Signalausbreitungseigenschaften

in Kombination mit hervorragenden Flexibilitäts- und Biegeeigenschaften.

[0009] Das erfindungsgemäße Koaxialkabel weist einen Kern mit mindestens einem Innenleiter und einem den Innenleiter umgebenden geschlossenzelligen Schaumstoffdielektrikum auf. Ein röhrenförmiger Metallmantel umgibt dicht den Kern und ist vorzugsweise an den Kern gebunden. Das flexible Koaxialkabel kann außerdem eine den röhrenförmigen Metallmantel dicht umgebende Schutzhülle aufweisen. Das Koaxialkabel weist eine Ausbreitungsgeschwindigkeit (V_p) von mindestens 90% auf.

[0010] Das Schaumstoffdielektrikum des erfindungsgemäßen Koaxialkabels hat eine niedrige Dichte, vorzugsweise nicht mehr als etwa $0,22 \text{ g/cm}^3$. Der Schaumstoff weist eine feine, gleichmäßige geschlossenzellige Struktur auf, vorzugsweise mit einem maximalen Zellendurchmesser von $170 \mu\text{m}$. Das Schaumstoffdielektrikum wird vorzugsweise aus Polyolefin und am besten aus einem Gemisch aus Hochdruckpolyethylen und Niederdruckpolyethylen geformt. Diese Eigenschaften liefern eine hohe Kernsteifigkeit, die hervorragende Flexibilitäts- und Biegeeigenschaften verleiht und außerdem zu der hervorragenden Ausbreitungsgeschwindigkeit des Koaxialkabels beiträgt.

[0011] Diese und weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann beim Durchlesen der folgenden ausführlichen Beschreibung besser ersichtlich, die sowohl die bevorzugten als auch alternative Ausführungsformen der Erfindung beschreibt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0012] [Fig. 1](#) zeigt eine perspektivische Ansicht, die ein Koaxialkabel gemäß der vorliegenden Erfindung im Querschnitt darstellt, wobei Teile des Kabel der deutlichen Darstellung halber weggebrochen sind.

[0013] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Herstellung des erfindungsgemäßen verbesserten Koaxialkabels.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0014] [Fig. 1](#) veranschaulicht ein gemäß der vorliegenden Erfindung hergestelltes Koaxialkabel. Das Koaxialkabel weist einen Kern **10** mit einem Innenleiter **11** aus einem geeigneten elektrisch leitenden Material, wie z. B. Kupfer, Aluminium oder kupferummanteltem Aluminium, und einem umgebenden kontinuierlichen zylinderförmigen Dielektrikum **12** aus expandiertem Schaumstoff auf. In der dargestellten Ausführungsform ist nur ein einziger Innenleiter **11** dargestellt da dies die häufigste Anordnung für Ko-

xialkabel des Typs ist, der zur Übertragung von HF-Signalen, wie z. B. Fernsehsignalen, eingesetzt wird. Es versteht sich jedoch, daß die vorliegende Erfindung auch auf Kabel mit mehr als einem Innenleiter anwendbar ist, die gegeneinander isoliert sind und einen Teil des Kerns bilden.

[0015] Vorzugsweise ist der Innenleiter **11** an das dielektrische Material **12** aus expandiertem Schaumstoff durch eine dünne Klebstoffschicht **13** gebunden, um den Kern **10** zu bilden. Geeignete Klebstoffe für diesen Zweck sind unter anderem Ethylen-Acrylsäure-(EAA-) und Ethylen-Methacrylat-(EMA-)Copolymere. Derartige Klebstoffe werden beispielsweise in den US-Patenten Nr. 2970129; 3520861; 3681515 und 3795540 beschrieben.

[0016] Das Dielektrikum **12** ist ein verlustarmes Dielektrikum, das aus einem geeigneten Kunststoff geformt wird, wie z. B. einem Polyolefin. Um die Masse des Dielektrikums pro Längeneinheit und damit die Dielektrizitätskonstante zu verringern, sollte das dielektrische Material aus einer expandierten Schaumstoffzusammensetzung bestehen. Ferner sollte der Schaumstoff einen geschlossenzelligen Aufbau aufweisen, um die gewünschte hohe Kernsteifigkeit bereitzustellen und die Übertragung von Feuchtigkeit entlang dem Kabel zu verhindern. Vorzugsweise ist das erfindungsgemäße geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum ein Polyolefinschaumstoff, und ein besonders bevorzugtes Schaumstoffdielektrikum ist ein aufgeschäumtes Gemisch aus Hochdruckpolyethylen und Niederdruckpolyethylen. Die bevorzugten erfindungsgemäßen Schaumstoffdielektrikum-Zusammensetzungen werden weiter unten ausführlicher beschrieben.

[0017] Der Kern wird dicht von einem durchgehenden röhrenförmigen Metallmantel **14** umgeben. Der Mantel **14** ist dadurch gekennzeichnet, daß er sowohl mechanisch als auch elektrisch kontinuierlich ist. Dies ermöglicht daß der Mantel **14** wirksam zur mechanischen und elektrischen Abdichtung des Kabels gegen äußere Einflüsse sowie zur Abdichtung des Kabels gegen HF-Verluststrahlung dient. Der röhrenförmige Metallmantel **14** kann aus verschiedenen elektrisch leitenden Metallen geformt werden, wie z. B. Kupfer oder Aluminium. Der röhrenförmige Metallmantel **14** hat eine Wanddicke, die so gewählt ist, daß ein T/D-Verhältnis (Verhältnis der Wanddicke zum Außendurchmesser) von weniger als 2,5% aufrechterhalten wird. Für das dargestellte Kabel beträgt die Wanddicke weniger als 0,76 mm (0,030 Zoll).

[0018] In der dargestellten bevorzugten Ausführungsform wird der durchgehende Mantel **14** aus einem flachen Metallstreifen geformt, der zu einer röhrenförmigen Konfiguration mit aneinanderstoßenden gegenüberliegenden Seitenkanten des Streifens geformt wird, wobei die aneinanderstoßenden Kanten

durchgehend durch eine kontinuierliche Längsschweißnaht verbunden werden, wie bei 15 angedeutet. Die Herstellung des Mantels **14** durch Längsschweißen wird zwar als bevorzugt dargestellt, aber der Fachmann wird erkennen, daß auch andere Verfahren zur Herstellung eines mechanisch und elektrisch zusammenhängenden dünnwandigen röhrenförmigen Metallmantels angewandt werden könnten. Zum Beispiel können, wie der Fachmann erkennen wird, auch Verfahren angewandt werden, die für einen "nahtlosen", in Längsrichtung verlaufenden Mantel sorgen.

[0019] Die Innenfläche des röhrenförmigen Mantels **14** wird über ihre gesamte Länge und ihre gesamte Umfangsausdehnung durch eine dünne Klebstoffschicht **16** mit der Außenfläche des Schaumstoffdielektrikums **12** verbunden. Vorzugsweise ist die Klebstoffschicht **16** ein EAA- oder EMA-Copolymer, wie oben beschrieben. Die Klebstoffschicht **16** sollte möglichst dünn aufgetragen werden, um eine Beeinträchtigung der elektrischen Eigenschaften des Kabels zu vermeiden. Wünschenswert ist eine Dicke der Klebstoffschicht **16** von etwa 0,03 mm (1 Mil) oder weniger. Das gegenwärtig bevorzugte Verfahren zum Erzielen einer solchen dünnen Klebstoffschicht und eine dafür geeignete Klebstoffzusammensetzung werden in US-Patent Nr. 4484023 von Gindrup beschrieben.

[0020] Die Außenfläche des Mantels **14** ist wahlweise von einer Schutzhülle **18** umgeben. Geeignete Zusammensetzungen für die äußere Schutzhülle **18** sind unter anderem thermoplastische Beschichtungsmaterialien, wie z. B. Polyethylen, Polyvinylchlorid, Polyurethan und Kautschuke. Die Schutzhülle **18** kann durch eine Klebstoffschicht **19** an die Außenfläche des Mantels **14** gebunden werden, um dadurch die Biegeeigenschaften des Koaxialkabels zu verstärken. Vorzugsweise ist die Klebstoffschicht **19** eine dünne Schicht aus Klebstoff, wie z. B. aus einem EAA- oder EMA-Copolymer, wie oben beschrieben.

[0021] [Fig. 2](#) veranschaulicht eine geeignete Anordnung der Vorrichtung zur Herstellung des in [Fig. 1](#) dargestellten Kabels. Wie dargestellt, wird der Innenleiter **11** von einer geeigneten Zufuhrquelle aus zugeführt, wie z. B. einer Spule **31**, und eine Klebstoffschicht **13** wird auf die Oberfläche des Innenleiters aufgebracht. Der beschichtete Innenleiter **11** wird dann zu einer Extrudervorrichtung **32** geführt. Die Extrudervorrichtung **32** extrudiert fortlaufend die verschäumbare Polymerzusammensetzung konzentrisch um den Innenleiter **11** herum. Beim Verlassen des Extruders schäumt das Kunststoffmaterial auf und dehnt sich aus, um eine durchgehende zylinderförmige Wand aus dem Schaumstoffdielektrikum **12** zu bilden, das den Innenleiter **11** umgibt.

[0022] In einer alternativen Ausführungsform der

Erfindung kann das Schaumstoffdielektrikum **12** eine Gradientendichte aufweisen, wobei die Dichte des Schaumstoffdielektrikums von einer Innenfläche des Schaumstoffdielektrikums zu einer Außenfläche des Schaumstoffdielektrikums radial ansteigt. Die Gradientendichte kann das Ergebnis einer Veränderung der verschäumbaren Polymerzusammensetzung oder der Bedingungen beim Austritt am der Extrudervorrichtung **32** sein. Typischerweise entsteht jedoch die Gradientendichte, indem eine erste verschäumbare Polymerzusammensetzung und eine zweite Polymerzusammensetzung nacheinander extrudiert werden, um das Schaumstoffdielektrikum **12** zu formen. Die erste und die zweite Polymerzusammensetzung können koextrudiert oder getrennt extrudiert werden, um eine innere Schaumstoffdielektrikumschicht und eine äußere Dielektrikumschicht zu bilden. Sobald das äußere Dielektrikum verschäumt und expandiert ist, weist es eine größere Dichte als die innere dielektrische Schaumstoffschicht auf. Die äußere dielektrische Schicht kann ein verschäumtes Dielektrikum oder eine unverschäumte dielektrische Haut sein und kann aus dem gleichen Material bestehen wie die innere dielektrische Schaumstoffschicht. Die erhöhte Dichte an der Außenfläche des Schaumstoffdielektrikums **12** führt zu einer Erhöhung der Kernsteifigkeit und erhöht auf diese Weise die Biegeeigenschaften des Koaxialkabels.

[0023] Die Außenfläche des Kerns **10** wird mit einer Schicht aus dem Klebstoff **16** überzogen. Eine Copolymer-Klebstoffzusammensetzung wird auf die Oberfläche des Schaumstoffdielektrikums **12** durch geeignete Mittel aufgebracht, um die Klebstoffschicht **16** zu bilden. Zum Beispiel kann die Klebstoffzusammensetzung auf die verschäumbare Polymerzusammensetzung oder die zweite Polymerzusammensetzung in der Extrudervorrichtung **32** koextrudiert werden oder in einer getrennten Extrudervorrichtung auf das Schaumstoffdielektrikum **12** extrudiert werden. Alternativ können der Innenleiter **11** und das umgebende Dielektrikum **12** durch eine Klebstoffauftragstation **34** gelenkt werden, wo eine dünne Schicht aus einer Klebstoffzusammensetzung, wie z. B. EAA oder EMA, durch geeignete Mittel aufgetragen wird, wie z. B. durch Sprühen oder Tauchen. Nach Verlassen der Klebstoffauftragstation **34** kann überschüssiger Klebstoff durch geeignete Mittel entfernt werden, und der klebstoffbeschichtete Kern **10** wird durch eine Klebstofftrockenstation **36** gelenkt, wie z. B. einen erhitzten Tunnel oder eine Kammer. Nach Verlassen der Trockenstation **36** wird der Kern durch eine Abkühlungsstation **37** gelenkt, wie z. B. durch einen Wassertrog.

[0024] Sobald die Klebstoffschicht **16** auf den Kern **10** aufgebracht ist, wird ein schmaler Metallstreifen **S** aus einer geeigneten Zufuhrquelle, wie z. B. einer Spule **38**, herangeführt und zu einer röhrenförmigen Konfiguration geformt, die den Kern umgibt. Der

Streifen S bewegt sich dann durch eine Schweißvorrichtung 39, und die einander gegenüberliegenden Seitenkanten des Streifens S werden aneinanderstoßend angeordnet und durch kontinuierliches Längsschweißen miteinander verbunden. Der Kern und der umgebende Mantel werden dann durch ein rollendes oder unbewegliches Reduktionswerkzeug 40 geführt, wo der Durchmesser des röhrenförmigen Mantels 14 verkleinert und der Mantel in enge Beziehung mit dem Kern 10 gebracht wird. Die so erzeugte Baugruppe kann dann durch eine Beschichtungsextrudervorrichtung 42 laufen, wo eine Polymerzusammensetzung um den Metallmantel 14 herum extrudiert wird, um eine Schutzhülle 18 zu formen, die den Mantel umgibt. Außerdem kann vor dem Aufbringen der Polymerzusammensetzung, welche die Hülle 18 bildet, eine dünne Klebstoffschicht 19 durch geeignete Mittel, wie z. B. Koextrusion in der Beschichtungsextrudervorrichtung 42, auf die Oberfläche des Mantels 14 aufgebracht werden. Die Beschichtungsextrudervorrichtung 42 dient außerdem zur Aktivierung des Klebstoffs 16, um dadurch eine Bindung zwischen dem Mantel 14 und der Außenfläche des Dielektrikums 12 zu bilden. Das so hergestellte Kabel kann dann auf geeigneten Behältern, wie z. B. einer Spule 44, aufgenommen werden, die sich zur Lagerung und zum Versand eignen. Typischerweise ist der Durchmesser des Kabels größer als etwa 0,54 cm (0,25 Zoll).

[0025] Die erfindungsgemäßen Koaxialkabel weisen gegenüber herkömmlichen Koaxialkabeln verbesserte Biegeeigenschaften auf. Ein Merkmal, das die Biegeeigenschaften des erfindungsgemäßen Koaxialkabels verbessert, besteht darin, daß der Mantel 14 mit dem Schaumstoffdielektrikum 12 verklebt wird. In dieser Beziehung unterstützt das Schaumstoffdielektrikum 12 den Mantel beim Biegen, um eine Beschädigung des Koaxialkabels zu verhindern. Außerdem kann das Schaumstoffdielektrikum 12, wie oben beschrieben, eine Gradientendichte aufweisen, um den Mantel beim Biegen zu unterstützen. Daher ist eine erhöhte Kernsteifigkeit im Verhältnis zur Mantelsteifigkeit vorteilhaft für die Biegeeigenschaften des Koaxialkabels. Konkret weisen die erfindungsgemäßen Koaxialkabel mit geschweißtem Mantel ein Verhältnis der Kernsteifigkeit zur Mantelsteifigkeit von mindestens 5 und vorzugsweise mindestens 10 auf. Außerdem ist der minimale Biegeradius der erfindungsgemäßen Koaxialkabel mit geschweißtem Mantel erheblich kleiner als 10 Kabeldurchmesser und liegt mehr in der Größenordnung von etwa 7 Kabeldurchmessern oder darunter. Die Wanddicke des röhrenförmigen Mantels wird so reduziert, daß das Verhältnis der Wanddicke zu ihrem Außendurchmesser (T/D-Verhältnis) für Kabel mit geschweißten Mänteln nicht größer als etwa 2,5% ist. Die reduzierte Wanddicke des Mantels trägt zu den Biegeeigenschaften des Koaxialkabels bei und verringert vorteilhafterweise die Dämpfung in dem Koaxialkabel. Die

Kombination dieser Merkmale und der oben beschriebenen Eigenschaften des Mantels 14 führt zu einem äußeren Mantel mit erheblichen Biegeeigenschaften.

[0026] Wie oben angegeben, weisen zwar Koaxialkabel mit geschweißten Mänteln im allgemeinen bessere mechanische Eigenschaften auf als Kabel mit nahtlosen Mänteln, aber die vorliegende Erfindung zielt auch auf nahtlose Mäntel und die Verbesserung ihrer elektrischen und mechanischen Eigenschaften ab. Bei diesen Mänteln ist das Verhältnis der Kernsteifigkeit zur Mantelsteifigkeit mindestens etwa gleich 2 und vorzugsweise mindestens etwa gleich 5. Außerdem ist der minimale Biegeradius bei den erfindungsgemäßen Koaxialkabeln mit nahtlosem Mantel erheblich kleiner als 15 Kabeldurchmesser und liegt mehr in der Größenordnung von etwa 10 Kabeldurchmessern oder darunter. Die Wanddicke des röhrenförmigen Mantels wird so reduziert, daß das Verhältnis der Wanddicke zu ihrem Außendurchmesser (T/D-Verhältnis) für Kabel mit nahtlosen Mantelkonstruktionen nicht größer ist als etwa 5,0%.

[0027] Zusätzlich zu verbesserten Biegeeigenschaften weist das erfindungsgemäße Koaxialkabel ferner eine Ausbreitungsgeschwindigkeit (V_p) auf, die größer ist als etwa 90% der Lichtgeschwindigkeit und sogar größer als etwa 91% der Lichtgeschwindigkeit. Die hohen V_p -Werte können zum großen Teil auf das erfindungsgemäße expandierte geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum zurückgeführt werden.

[0028] Typischerweise entsteht das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum aus Pellets eines Polymers, wie z. B. eines Polyolefins, die in die Extrudervorrichtung 32 gegeben werden. Typische Polyolefine sind unter anderem Polyethylen, Polypropylen und Kombinationen oder Copolymere davon. Vorzugsweise werden zum Formen des erfindungsgemäßen Schaumstoffdielektrikums 12 Polyethylen-Pellets verwendet, und besonders wünschenswert ist, daß das Polyethylen Hochdruckpolyethylen (HDPE) oder eine Kombination von HDPE und Niederdruckpolyethylen (LDPE) aufweist.

[0029] Herkömmlicherweise werden den Polymerpellets kleine Mengen eines Nukleierungsmittels beigemengt, die dazu dienen, Zellbildungsstellen für die Gasblasen während des Schaumbildungsvorgangs bereitzustellen. Zum Beispiel beschreibt US-Patent Nr. 4104481 von Wilkenloh et al. die Verwendung von Azobisformamiden, wie z. B. Azodicarbonamiden, als Nukleierungsmittel bei der Herstellung eines Schaumstoffdielektrikums für ein Koaxialkabel. Da das Nukleierungsmittel in sehr kleinen Konzentrationen eingesetzt wird, z. B. von nur 0,01 Gew.-%, können Vormischungspellets, die ein Gemisch aus dem Polymer und einer relativ hohen Konzentration des Nukleierungsmittels enthalten, mit unmodifizierten

Polymerpellets vermischt werden, um die gewünschte Gesamtkonzentration des Nukleierungsmittels zu erzielen, das gleichmäßig zusammen mit dem Polymer dispergiert wird. Die Vormischungspellets, die Nukleierungsmittel enthalten, sind herkömmlicherweise hergestellt worden, indem das Nukleierungsmittel zusammen mit dem Polymer compoundingiert wurde und daraus Pellets geformt wurden.

[0030] Nukleierungsmittel können entweder als exotherme Nukleierungsmittel oder als endotherme Nukleierungsmittel charakterisiert werden. Typische exotherme Nukleierungsmittel sind unter anderem Azobisformamide, wie z. B. Azodicarbonamide, die im Handel von Uniroyal Chemical Co. unter dem Warenzeichen Celogen erhältlich sind. Typische endotherme Nukleierungsmittel sind unter anderem Natriumbicarbonat/Zitronensäure-Mittel, Natriumcarbonat/Zitronensäure-Mittel, Natriumbicarbonat oder Natriumcarbonat in Kombination mit anderen schwachen organischen Säuren und dergleichen. Das bevorzugte Nukleierungsmittel für die vorliegende Erfindung ist eine Kombination aus exothermen und endothermen Nukleierungsmitteln. Konkret ist festgestellt worden, daß ein Polyolefinpolymer, wie z. B. Polyethylen, wenn es mit einer Kombination aus einem exothermen Nukleierungsmittel und einem endothermen Nukleierungsmittel verschäumt wird, ein geschlossenzelliges Schaumstoffdielektrikum mit einer niedrigeren Dichte als herkömmliche Schaumstoffdielektrika liefert, in denen Polyethylen nur im Gemisch mit exothermen Nukleierungsmitteln eingesetzt wird. Vorzugsweise ist das Nukleierungsmittel ein Gemisch aus einem exothermen Azobisformamid-Mittel, wie z. B. einem Azodicarbonamid, und einem endothermen Natriumcarbonat/Zitronensäure-Nukleierungsmittel.

[0031] Wie oben festgestellt, sind Nukleierungsmittel typischerweise zusammen mit dem Polymer compoundingiert worden, um Pellets zu formen, welche die Nukleierungsmittel enthalten. Dies erfordert ein gründliches Vermischen der Nukleierungsmittel mit dem Polymer in einem Extruder unter gleichzeitigem Erhitzen zum Schmelzen des Polymers. Das Gemisch wird dann extrudiert und zum Gebrauch in Pellets zerkleinert. Bei der vorliegenden Erfindung wird die Verwendung von Pellets besonders bevorzugt, die Nukleierungsmittel aufweisen, die einer geringen oder gar keiner Erwärmung ausgesetzt worden sind, d. h. von Pellets ohne Wärme-Vorgeschichte. Ein Verfahren zum Bereitstellen von Nukleierungsmitteln ohne Wärme-Vorgeschichte ist die Verwendung eines Bindemittels, wie z. B. eines Thermoplastharzes. Typischerweise werden unbehandelte Pellets, Perlen, Mikropellets, Pulver oder Granulat aus Harzmaterial mit einem Thermoplast-Bindemittel überzogen und dann mit einem Nukleierungsmittel zur Verwendung bei der Erfindung beschichtet. Typische Thermoplastbindemittel sind unter anderem Po-

lyethylen, Ethylen-Vinylacetat-(EVA-)Copolymere, Polystyrol, Polyvinylchlorid, Polyethylenterephthalat, Nylon, Fluorpolymere und dergleichen. Der Beschichtungsvorgang des Harzes mit dem Thermoplastbindemittel und dem Nukleierungsmittel erfolgt bei Temperaturen unter 93°C (200°F), so daß die Eigenschaften des Nukleierungsmittels nicht beeinflußt werden. Bei der vorliegenden Erfindung können Polyolefinpellets mit einem Thermoplastbindemittel und einem Gemisch aus endothermen/exothermen Nukleierungsmitteln beschichtet werden. Pellets von diesem Typ sind z. B. von NiTech Inc., Hickory, North Carolina, beziehbar.

[0032] Die mit Nukleierungsmittel beschichteten Pellets, die bei der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden, enthalten im allgemeinen etwa 80 bis weniger als 100 Gew.-% Polyolefin, mehr als 0 bis etwa 20 Gew.-% des exothermen Nukleierungsmittels und mehr als 0 bis etwa 20 Gew.-% des endothermen Nukleierungsmittels. Vorzugsweise enthalten die Pellets etwa 85 bis 95 Gew.-% des Polyolefins, etwa 1 bis 10 Gew.-% des exothermen Nukleierungsmittels und etwa 1 bis 10 Gew.-% des endothermen Nukleierungsmittels. Eine typische verwendbare Pelletformulierung für das erfindungsgemäße Schaumstoffdielektrikum enthält 90 Gew.-% HDPE, 7,5 Gew.-% des exothermen Azobisformamid-Nukleierungsmittels und 2,5 Gew.-% des endothermen Natriumbicarbonat/Zitronensäure-Nukleierungsmittels.

[0033] Die mit Nukleierungsmittel beschichteten Pellets werden mit unmodifizierten Polyolefinpellets vermischt, um die gewünschte Konzentration des Nukleierungsmittels bereitzustellen, das gleichmäßig in dem Polymer-Rohmaterial verteilt ist, das in die Extrudervorrichtung **32** eingespeist wird. Vorzugsweise sind etwa 0,1 bis 10 Gew.-% der Pellets HDPE-Pellets, die exotherme und endotherme Nukleierungsmittel enthalten und etwa 99,9 bis 90 Gew.-% der Pellets sind unmodifizierte LDPE- und HDPE-Pellets.

[0034] In der Extrudervorrichtung **32** werden die Polymerpellets zu einem geschmolzenen Zustand erhitzt, in dem sie weiter mit einem Treibmittel, wie z. B. Stickstoff oder Kohlendioxid, vereinigt werden. Diese Zusammensetzung wird am dem Kreuzkopfmundstück des Extruders extrudiert und umgibt den Mittelleiter **11**, wonach sie expandiert und aufschäumt, um das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum **12** zu erzeugen.

[0035] Aus dem Vorstehenden wird man erkennen, daß ein erfindungsgemäßes geschlossenzelliges Schaumstoffdielektrikum sich deutlich von Dielektrika unterscheidet, die unter Verwendung herkömmlicher Nukleierungsmittel hergestellt werden. Zum Beispiel wird der Schaumstoff außer einer niedrigeren Dichte dadurch gekennzeichnet, daß er Restmengen sowohl von exothermen als auch von endothermen Nu-

kleierungsmitteln aufweist. Außerdem können Restmengen des Thermoplast-Bindemittels (oder darin enthaltene Zerfallsprodukte) nachweisbar sein.

[0036] Das erfindungsgemäße Schaumstoffdielektrikum weist eine niedrigere Dichte auf und bietet eine größere Kernsteifigkeit für eine gegebene Dichte als Schaumstoffdielektrika, die mit der bisher bekannten Technologie unter Verwendung von Azodicarbonamid-Nukleierungsmitteln hergestellt werden. Die Dichte des Schaumstoffdielektrikums ist niedriger als etwa $0,22 \text{ g/cm}^3$, vorzugsweise niedriger als etwa $0,19 \text{ g/cm}^3$, und starker bevorzugt niedriger als etwa $0,17 \text{ g/cm}^3$. Wie dem Fachmann bekannt, führt eine niedrigere Dichte in dem Schaumstoffdielektrikum **12** im allgemeinen zu einer Erhöhung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Koaxialkabels. Außerdem führt eine Abnahme der Dichte der geschlossenen Zellen im allgemeinen zu einer Vergrößerung der Zellengröße. Die maximale Größe der Zellen in dem Schaumstoffdielektrikum ist typischerweise kleiner als etwa $170 \text{ }\mu\text{m}$, und die mittlere Zellengröße liegt zwischen etwa 90 und $130 \text{ }\mu\text{m}$. Konkret beträgt die maximale Zellengröße bei einer Dichte von etwa $0,22 \text{ g/cm}^3$ etwa $125 \text{ }\mu\text{m}$, bei einer Dichte von $0,19 \text{ g/cm}^3$ etwa $150 \text{ }\mu\text{m}$ und bei einer Dichte von $0,17 \text{ g/cm}^3$ etwa $170 \text{ }\mu\text{m}$. Obwohl wir uns nicht durch Theorie binden möchten, hat es den Anschein, daß die Zellengröße und -dichte bei der vorliegenden Erfindung auf die mangelnde Wärme-Vorgeschichte in den Polymerpellets zurückzuführen ist, wodurch ein Nukleierungsmittel mit einem höheren Anteil an feinkörnigen Teilchen und daher einer kleineren mittleren Teilchengröße bereitgestellt wird.

[0037] Es versteht sich, daß ein Fachmann nach dem Durchlesen der obigen Beschreibung der vorliegenden Erfindung Änderungen und Abwandlungen daran vornehmen könnte.

Patentansprüche

1. Flexibles Koaxialkabel, das einen Kern (**10**) mit mindestens einem Innenleiter (**11**) und einem den Innenleiter umgebenden geschlossenzelligen Schaumstoffdielektrikum (**12**) sowie einen röhrenförmigen Metallmantel (**14**) aufweist, der den Kern (**10**) eng umgibt, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) eine Dichte von nicht mehr als $0,22 \text{ g/cm}^3$ aufweist und Restmengen eines endothermen Nukleierungsmittels sowie Restmengen eines exothermen Nukleierungsmittels enthält.

2. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) ein Polyolefin aufweist.

3. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) außerdem Restmengen eines

thermoplastischen Bindemittels enthält.

4. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) ein Gemisch aus Hochdruckpolyethylen und Niederdruckpolyethylen ist.

5. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Kabel die Ausbreitung von Signalen mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit (V_p) von 90% der Lichtgeschwindigkeit oder mehr zuläßt.

6. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Zellen des geschlossenzelligen Schaumstoffdielektrikums (**12**) einen maximalen Zellendurchmesser von $170 \text{ }\mu\text{m}$ aufweisen.

7. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Zellen des geschlossenzelligen Schaumstoffdielektrikums (**12**) einen mittleren Zellendurchmesser zwischen etwa 90 und $130 \text{ }\mu\text{m}$ aufweisen.

8. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) eine Gradientendichte aufweist, wobei die Gradientendichte in radialer Richtung von einer Innenfläche des Dielektrikums (**12**) zu einer Außenfläche des Dielektrikums (**12**) zunimmt.

9. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Schaumstoffdielektrikum (**12**) eine innere dielektrische Schaumstoffschicht und eine äußere dielektrische Schicht aufweist, wobei die äußere dielektrische Schicht eine größere Dichte aufweist als die innere dielektrische Schaumstoffschicht.

10. Koaxialkabel nach Anspruch 9, wobei die äußere dielektrische Schicht eine ungeschäumte dielektrische Haut ist.

11. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der mindestens eine Innenleiter (**11**) an das Schaumstoffdielektrikum (**12**) gebunden wird, um den Kern (**10**) zu bilden.

12. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) einen Polyolefinschaum mit einer Dichte von nicht mehr als $0,19 \text{ g/cm}^3$ aufweist.

13. Koaxialkabel nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das geschlossenzellige Schaumstoffdielektrikum (**12**) einen Polyolefinschaum mit einer Dichte von nicht mehr als $0,17 \text{ g/cm}^3$ aufweist.

14. Verfahren zur Herstellung eines Koaxialkabels mit den folgenden Schritten:
Transportieren eines Leiters (**11**) in und durch einen Extruder (**32**) und Extrudieren einer verschäumbaren

Polymerzusammensetzung, die ein verschäumbares Polymer, ein endothermes Nukleierungsmittel, ein exothermes Nukleierungsmittel und ein Treibmittel aufweist, auf den Leiter;

Verschäumen und Blähen der verschäumbaren Polymerzusammensetzung zum Formen eines Kabelkerns (10), der aus einem geblähten Schaumstoffdielektrikum (12) besteht, das den durchlaufenden Leiter (11) umgibt; und

Formen eines elektrisch und mechanisch ununterbrochenen Metallmantels (14) um den Kabelkern (10) herum, um ein Koaxialkabel herzustellen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, das ferner das Extrudieren einer zweiten Polymerzusammensetzung auf die verschäumbare Polymerzusammensetzung aufweist, wobei nach dem Schritt zum Verschäumen und Blähen der verschäumbaren Polymerzusammensetzung die zweite Polymerzusammensetzung eine größere Dichte aufweist als die geblähte verschäumbare Polymerzusammensetzung.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Schritt zum Extrudieren der verschäumbaren Polymerzusammensetzung das Koextrudieren der verschäumbaren Polymerzusammensetzung und einer die verschäumbare Polymerzusammensetzung umgebenden zweiten Polymerzusammensetzung aufweist, wobei nach dem Schritt zum Verschäumen und Blähen der verschäumbaren Polymerzusammensetzung die zweite Polymerzusammensetzung eine größere Dichte als die geblähte verschäumbare Polymerzusammensetzung aufweist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14–16, wobei die verschäumbare Polymerzusammensetzung ferner ein thermoplastisches Bindemittel aufweist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14–17, wobei das verschäumbare Polymer ein Polyolefin ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

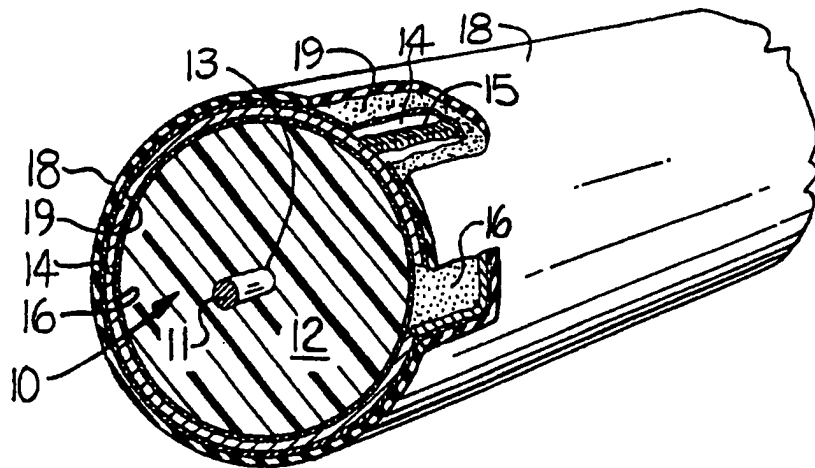


Fig 1

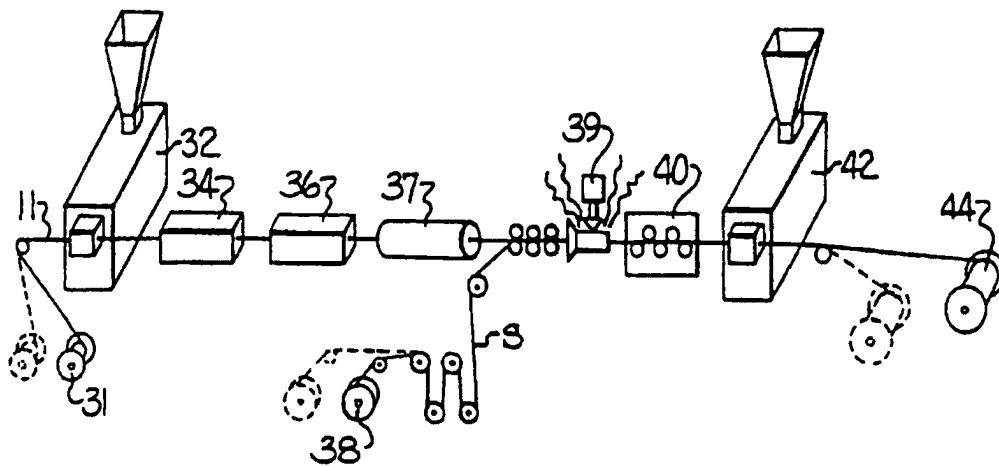


Fig 2