

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-531296

(P2017-531296A)

(43) 公表日 平成29年10月19日(2017.10.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 B 3/30 (2006.01)	HO 1 B 3/30 N	5G305
HO 1 B 9/02 (2006.01)	HO 1 B 9/02 A	5G333
HO 1 B 17/56 (2006.01)	HO 1 B 17/56 A	
HO 1 B 19/00 (2006.01)	HO 1 B 19/00 301	
	HO 1 B 3/30 Z	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁)		

(21) 出願番号 特願2017-520321 (P2017-520321)  
 (86) (22) 出願日 平成27年10月14日 (2015.10.14)  
 (85) 翻訳文提出日 平成29年4月14日 (2017.4.14)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/055534  
 (87) 国際公開番号 W02016/061230  
 (87) 国際公開日 平成28年4月21日 (2016.4.21)  
 (31) 優先権主張番号 62/065,096  
 (32) 優先日 平成26年10月17日 (2014.10.17)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 505005049  
 スリーエム イノベイティブ プロパティ  
 ズ カンパニー  
 アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133  
 -3427, セント ポール, ポスト オ  
 フィス ボックス 33427, スリーエ  
 ム センター  
 (74) 代理人 100110803  
 弁理士 赤澤 太朗  
 (74) 代理人 100135909  
 弁理士 野村 和歌子  
 (74) 代理人 100133042  
 弁理士 佃 誠玄  
 (74) 代理人 100157185  
 弁理士 吉野 亮平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 向上した絶縁破壊強度を有する誘電材料

(57) 【要約】

向上した絶縁破壊強度の誘電材料は、反対向きの第1主表面及び第2主表面を有する、基底誘電体層を備える。第1のストレス緩和層が、基底誘電体層の第1主表面上に配設される。第2のストレス緩和層が、基底誘電体層の第2主表面上に配設される。第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層の少なくとも一方の体積導電率は、基底誘電体層の体積導電率の少なくとも2倍である。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

反対向きの第 1 主表面及び第 2 主表面を有する、基底誘電体層と、  
前記基底誘電体層の前記第 1 主表面上に配設された、第 1 のストレス緩和層と、  
前記基底誘電体層の前記第 2 主表面上に配設された、第 2 のストレス緩和層と、を備え

、  
前記基底誘電体層の体積導電率に対する、前記第 1 のストレス緩和層及び前記第 2 のストレス緩和層の少なくとも一方の体積導電率の比率が、2 以上である、向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 2】

前記ストレス緩和層の少なくとも一方が、バインダー材料中に分散された充填材料を含む、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 3】

前記第 1 のストレス緩和層及び前記第 2 のストレス緩和層の少なくとも一方が、半導体充填材料を含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 4】

前記半導体充填材料が、ケイ素 ( Si )、ゲルマニウム ( Ge )、ガリウムヒ素 ( GaAs )、ヒ化ホウ素 ( BAs )、リン化インジウム ( InP )、ヒ化インジウム ( InAs )、アンチモン化ガリウム ( GaSb )、アンチモン化インジウム ( InSb )、リン化ガリウム ( GaP )、リン化ホウ素 ( BP )、アンチモン化アルミニウム ( AlSb )、ヒ化アルミニウム ( AlAs )、リン化アルミニウム ( AlP )、硫化カドミウム ( CdS )、セレン化カドミウム ( CdSe )、硫化亜鉛 ( ZnS )、酸化亜鉛 ( ZnO )、硫化銅 ( Cu<sub>2</sub>S )、硫化銀 ( Ag<sub>2</sub>O )、二硫化モリブデン ( MoS<sub>2</sub> )、二硫化タングステン ( WS<sub>2</sub> )、リン化ニッケル ( II ) ( NiP )、硫化スズ ( II ) ( SnS )、硫化スズ ( IV ) ( SnS<sub>2</sub> )、硫化鉛 ( II ) ( PbS )、セレン化鉛 ( PbSe )、酸化銅 ( I ) ( Cu<sub>2</sub>O )、酸化銅 ( II ) ( CuO )、酸化ニッケル II ( NiO )、二酸化スズ ( SnO<sub>2</sub> )、酸化スズ ( II ) ( SnO )、二酸化モリブデン ( MoO<sub>2</sub> )、二酸化チタン ( TiO<sub>2</sub> )、銀ガリウムヒ素 ( AgGaAs )、及びチタン酸バリウム ( BaTiO<sub>3</sub> ) からなる群から選択される材料を含む、請求項 3 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 5】

前記半導体充填材料が、低バンドギャップ半導電材料を含む、請求項 3 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 6】

前記充填材料が、ドーパ半導体、並びに、合成中に形成された格子構造内の空孔及び格子間欠陥を有する半導体からなる群から選択される材料を含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 7】

前記充填材料が、高バンドギャップ ( 絶縁 ) 材料を含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 8】

前記充填材料が、窒化ホウ素 ( BN )、窒化アルミニウム ( AlN )、マイカ、及びアルミナ ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ) からなる群から選択される材料を含む、請求項 7 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 9】

前記充填材料が、金属、グラフェン、カーボンブラック、カーボンナノチューブ、ドーパ半導体、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される導電材料を含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

## 【請求項 10】

前記ストレス緩和層の少なくとも一方が、前記層の全体積に対して、約 0.5 体積% ~

10

20

30

40

50

約 100 v % の充填材料を含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 1】

前記充填材料が、1 種以上の微粒子を含み、それぞれが、球形、平板、小板、立方体、針状、偏球、回転楕円体、角錐、角柱、薄片、棒状、繊維状、小片、髭状、及びこれらの混合から選択される形状を有する、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 2】

各充填材料微粒子のサイズを、約 10 nm ~ 約 100 μm とすることができる、請求項 1 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 3】

前記第 1 のストレス緩和層及び前記第 2 のストレス緩和層の少なくとも一方が、バインダー材料を含む、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。 10

【請求項 1 4】

前記バインダー材料が、ポリマーを含む、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 5】

前記バインダー材料が、シリコン、ポリ(塩化ビニル)、EPDM ゴム、EPR、EVA、ポリイミド、フルオロポリマー、エポキシ、ポリスルフィド、ポリエチレン、及びポリエステルからなる群から選択されるポリマーを含む、請求項 1 4 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 6】

各ストレス緩和層が、添加物を更に含む、請求項 2 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。 20

【請求項 1 7】

前記添加物が、溶媒、分散剤、消泡剤、及び界面活性剤のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 0 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 8】

前記第 1 のストレス緩和層及び前記第 2 のストレス緩和層が、異なる材料から形成される、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 1 9】

前記基底誘電体層が、ポリマー及び絶縁材料からなる群から選択される材料を含む、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。 30

【請求項 2 0】

前記基底誘電体層が、シリコン、ポリ(塩化ビニル)、ポリイミド、ポリエチレン、及びポリエステルのうちの 1 つを含む、請求項 1 8 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 2 1】

各ストレス移行層が、約  $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ~ 約  $1 \times 10^{-8} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 2 2】

各ストレス移行層が、約  $1 \times 10^{-11} \text{ S/m}$  ~ 約  $1 \times 10^{-9} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。 40

【請求項 2 3】

前記基底誘電体層が、約  $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ~ 約  $1 \times 10^{-10} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 2 4】

各ストレス移行層が、前記ストレス移行層の全体積に対して約 0.8 体積% ~ 約 12 体積% の濃度を有する、MOS 2 充填材料を含む、請求項 1 に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項 2 5】

各ストレス移行層が、前記ストレス移行層の全体積に対して約 0.5 体積% ~ 約 16 体 50

積%の濃度を有する、WS2充填材料を含む、請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項26】

各ストレス移行層が、前記ストレス移行層の全体積に対して約2体積%～約15体積%の濃度を有する、ケイ素充填材料を含む、請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料。

【請求項27】

導体と、  
前記導体を囲む第1の遮蔽層と、  
請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を含む、絶縁層と、  
前記絶縁層を囲む第2の遮蔽層と、  
前記第2の遮蔽層を囲む保護ジャケットと、を備える、電力ケーブル。

10

【請求項28】

請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を含む絶縁層を含む、成形体を備える、誘電ストレス制御デバイス。

【請求項29】

請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を備える、ケーブルアクセサリ。

【請求項30】

請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を備える、マスチック。

【請求項31】

請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を備える、テープ。

20

【請求項32】

請求項1に記載の向上した絶縁破壊強度の誘電材料を備える、成形物品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、向上した絶縁破壊強度、及び電氣的用途に有用な他の特性を有する、誘電材料に関する。

【背景技術】

【0002】

固体の誘電体絶縁材料が、主にシステム電圧を維持するために、ケーブル、アクセサリ、変圧器、発電機、電力コンデンサなどを含めた電力用途において、絶縁材として一般的に使用される。典型的な誘電体絶縁材料としては、エチレンプロピレンジエンモノマー（EPDM）ゴム、エチレンプロピレンゴム（EPR）、及びシリコンが挙げられる。中電圧及び高電圧の電力ケーブルは、典型的には、半導電層によって囲まれた導体を備え、更に、その導体の周囲の電界を制御するために、誘電体絶縁層を備える。絶縁材料はまた、ケーブルアクセサリ内での電氣的ストレス制御にも、重要な役割を果たす。特に、地中のアクセサリは、誘電体層の絶縁破壊レベルを下回る電氣的ストレスを維持して制御するために、ストレス制御を提供する必要がある。誘電材料の絶縁破壊強度が向上するにつれて、ケーブル又はアクセサリが、同じ電圧レベルで機能するために必要とされる絶縁層は、より薄いものとなる。向上した絶縁破壊強度を有する誘電材料を組み込んだ、ケーブル及びアクセサリは、それゆえ、同等の電圧性能を有する、従来の絶縁材料で作製されたケーブル及びアクセサリと比較して、より小さく、より軽く、かつ低コストで作製することができる。このことは、送電電圧で特に重要であるが、中電圧級のケーブル及びアクセサリに関しても重要である。

30

40

【0003】

地球全体の電力需要が増加し続けているため、改善された中電圧及び高電圧の電力構成要素が、依然として必要とされている。したがって、向上した絶縁破壊強度を有する絶縁材料が、必要とされている。

【発明の概要】

50

## 【0004】

本発明の第1の態様によれば、向上した絶縁破壊強度の誘電材料は、反対向きの第1主表面及び第2主表面を有する、基底誘電体層を備える。第1のストレス緩和層が、基底誘電体層の第1主表面上に配設される。第2のストレス緩和層が、基底誘電体層の第2主表面上に配設される。第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層の少なくとも一方の体積（バルク）導電率は、基底誘電体層の体積導電率の少なくとも2倍である。

## 【0005】

別の態様では、ストレス緩和層の少なくとも一方は、バインダー材料中に分散された、充填材料を含む。

## 【0006】

別の態様では、第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層の少なくとも一方は、半導体充填材料を含む。

## 【0007】

別の態様では、この半導体充填材料は、ケイ素（Si）、ゲルマニウム（Ge）、ガリウムヒ素（GaAs）、ヒ化ホウ素（BAs）、リン化インジウム（InP）、ヒ化インジウム（InAs）、アンチモン化ガリウム（GaSb）、アンチモン化インジウム（InSb）、リン化ガリウム（GaP）、リン化ホウ素（BP）、アンチモン化アルミニウム（AlSb）、ヒ化アルミニウム（AlAs）、リン化アルミニウム（AlP）、硫化カドミウム（CdS）、セレン化カドミウム（CdSe）、硫化亜鉛（ZnS）、酸化亜鉛（ZnO）、硫化銅（Cu<sub>2</sub>S）、硫化銀（Ag<sub>2</sub>O）、二硫化モリブデン（MoS<sub>2</sub>）、二硫化タングステン（WS<sub>2</sub>）、リン化ニッケル（II）（NiP）、硫化スズ（II）（SnS）、硫化スズ（IV）（SnS<sub>2</sub>）、硫化鉛（II）（PbS）、セレン化鉛（PbSe）、酸化銅（I）（Cu<sub>2</sub>O）、酸化銅（II）（CuO）、酸化ニッケル（II）（NiO）、二酸化スズ（SnO<sub>2</sub>）、酸化スズ（II）（SnO）、二酸化モリブデン（MoO<sub>2</sub>）、二酸化チタン（TiO<sub>2</sub>）、銀ガリウムヒ素（AgGaAs）、及びチタン酸バリウム（BaTiO<sub>3</sub>）からなる群から選択される材料を含む。

## 【0008】

別の態様では、半導体充填材料は、低バンドギャップ半導電材料を含む。

## 【0009】

別の態様では、充填材料は、ドーパ半導体、並びに、合成中に形成された格子構造内の空孔及び格子間欠陥を有する半導体からなる群から選択される材料を含む。

## 【0010】

別の態様では、充填材料は、高バンドギャップ（絶縁）材料を含む。

## 【0011】

別の態様では、充填材料は、窒化ホウ素（BN）、窒化アルミニウム（AlN）、マイカ、及びアルミナ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）からなる群から選択される材料を含む。

## 【0012】

別の態様では、充填材料は、金属、グラフェン、カーボンブラック、カーボンナノチューブ、ドーパ半導体、及びこれらの組み合わせからなる群から選択される導電材料を含む。

## 【0013】

別の態様では、ストレス緩和層の少なくとも一方は、その層の全体積に対して、約0.5体積%～約100体積%の充填材料を含む。

## 【0014】

別の態様では、充填材料は、1種以上の微粒子を含み、それぞれが、球形、平板、小板、立方体、針状、偏球、回転楕円体、角錐、角柱、薄片、棒状、繊維状、小片、髭状、及びこれらの混合から選択される形状を有する。

## 【0015】

別の態様では、各充填材料微粒子のサイズは、約10nm～約100μmとすることができる。

10

20

30

40

50

- 【0016】  
別の態様では、第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層の少なくとも一方は、バインダー材料を含む。
- 【0017】  
別の態様では、バインダー材料は、ポリマーを含む。
- 【0018】  
別の態様では、バインダー材料は、シリコン、ポリ(塩化ビニル)、EPDMゴム、EPR、EVA、ポリイミド、フルオロポリマー、エポキシ、ポリスルフィド、ポリエチレン、及びポリエステルからなる群から選択されるポリマーを含む。
- 【0019】  
別の態様では、各ストレス緩和層は、添加物を更に含む。 10
- 【0020】  
別の態様では、添加物は、溶媒、分散剤、消泡剤、及び界面活性剤のうちの少なくとも1つを含む。
- 【0021】  
別の態様では、第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層は、異なる材料から形成される。
- 【0022】  
別の態様では、基底誘電体層は、ポリマー及び絶縁材料からなる群から選択される材料を含む。 20
- 【0023】  
別の態様では、基底誘電体層は、シリコン、ポリ(塩化ビニル)、ポリイミド、ポリエチレン、及びポリエステルのうちの1つを含む。
- 【0024】  
別の態様では、各ストレス移行層は、約 $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ~ 約 $1 \times 10^{-8} \text{ S/m}$ の体積導電率を有する。
- 【0025】  
別の態様では、各ストレス移行層は、約 $1 \times 10^{-11} \text{ S/m}$  ~ 約 $1 \times 10^{-9} \text{ S/m}$ の体積導電率を有する。
- 【0026】  
別の態様では、基底誘電体層は、約 $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ~ 約 $1 \times 10^{-10} \text{ S/m}$ の体積導電率を有する。 30
- 【0027】  
別の態様では、各ストレス移行層は、そのストレス緩和層の全体積に対して約0.8体積% ~ 約12体積%の濃度を有する、 $\text{MoS}_2$  充填材料を含む。
- 【0028】  
別の態様では、各ストレス移行層は、そのストレス移行層の全体積に対して約0.5体積% ~ 約16体積%の濃度を有する、 $\text{WS}_2$  充填材料を含む。
- 【0029】  
別の態様では、各ストレス移行層は、そのストレス移行層の全体積に対して約2体積% ~ 約15体積%の濃度を有する、ケイ素充填材料を含む。 40
- 【0030】  
本発明の別の態様では、電力ケーブルは、導体と、その導体を囲む第1の遮蔽層と、本明細書で説明される向上した絶縁破壊強度の誘電材料を含む絶縁層とを備える。この電力ケーブルは、絶縁層を囲む第2の遮蔽層と、その第2の遮蔽層を囲む保護ジャケットとを更に含む。
- 【0031】  
本発明の別の態様では、誘電ストレス制御デバイスは、本明細書で説明される向上した絶縁破壊強度の誘電材料を含む絶縁層を含む、成形体を備える。
- 【0032】 50

本発明の別の態様では、ケーブルアクセサリは、本明細書で説明される向上した絶縁破壊強度の誘電材料を含む。

【0033】

本発明で使用するとき、

「ストレス緩和層」とは、誘電基底材料と導電電極との境界面のような高い電氣的ストレスの領域を低減し、かつ例えば、充填材料と誘電バインダー材料との混合物を含み得る、絶縁層を意味する。

【0034】

「絶縁層」とは、約  $10^{-5}$  S/m 未満の体積導電率を有する材料を指す。

【0035】

「向上した絶縁破壊強度」とは、その多層材料の絶縁破壊強度が、基底誘電材料の絶縁破壊強度よりも大きいことを指す。

【0036】

本発明の上記の「発明の概要」は、本発明の、開示される各実施形態又は全ての実装を説明することを意図するものではない。以下の図及び「発明を実施するための形態」は、例示的实施形態をより詳細に例示するものである。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】本発明の第1の態様による、向上した絶縁破壊強度の材料の側面図である。

【図2】本発明の別の態様による、向上した絶縁破壊強度の材料を含む電力ケーブルの等角図である。

【図3A】比較的低バンドギャップの種々の半導電充填材のストレス緩和層でコーティングされたシリコン基材の添加レベルに対する、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図3B】比較的高バンドギャップの種々の半導電充填材のストレス緩和層でコーティングされたシリコン基材の添加レベルに対する、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図3C】種々の電子伝導半導電充填材のストレス緩和層でコーティングされたシリコン基材の添加レベルに対する、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図3D】種々の絶縁充填材のストレス緩和層でコーティングされたシリコン基材の添加レベルに対する、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図4】 $\text{MoS}_2$  及びケイ素充填材のストレス緩和層でコーティングされたシリコン基材を昇温で水中に浸漬させた時間に対する、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図5】二硫化モリブデンを含むストレス緩和層の厚さの関数としての、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【図6】4.4%  $\text{MoS}_2$  充填材を含有する厚いストレス緩和コーティングで両面上をコーティングされている誘電基底材料の厚さの関数としての、絶縁破壊強度を示すグラフである。

【0038】

本発明は様々な修正及び代替形態が可能であるが、それらの具体像が、例として図面に示されており、詳細に説明される。しかしながら、説明される特定の实施形態に本発明を限定することを意図するものではない点を理解するべきである。逆に、添付の「特許請求の範囲」によって定義される本発明の範囲内に含まれる、全ての修正、等価物、及び代替物を網羅することを意図するものである。

【発明を実施するための形態】

【0039】

以下の好適な実施形態の「発明を実施するための形態」では、その一部を構成する添付図面が参照される。これらの添付図面は、本発明を實踐することが可能な特定の实施形態を、例として示すものである。他の实施形態を使用することができ、本発明の範囲から逸脱することなく、構造的変更又は論理的变化を実施することができる点が理解されよう。それゆえ、以下の「発明を実施するための形態」は、限定的な意味で解釈されるべきではなく、本発明の範囲は、添付の「特許請求の範囲」によって定義されるものである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 0 】

既存のインフラストラクチャにおける電力容量を増大させるための、より薄く、より軽い、よりコンパクトな構成要素が、電力事業で必要とされている。現行の絶縁材料における絶縁破壊強度の限界は、そのような、同じ電圧レベルに関する、より薄く、より軽い、より信頼性の高い構成要素に対する障害として、従来より見なされている。本明細書で説明されるように、本発明の誘電材料の実施形態は、従来材料に勝る、絶縁破壊強度の著しい向上をもたらす。そのような、向上した絶縁破壊強度の誘電材料は、電力ケーブルの作製、並びに、接続部及び端末部などのアクセサリ（モジュール式アクセサリを含む）、絶縁テープ及び絶縁紙などの作製の際に使用することができ、それらは全て、低減された絶縁体厚さ、及び改善された絶縁破壊強度を有する。本発明の更なる実施形態は、湿潤条件での、より信頼性の高い電力ケーブルアクセサリの動作を可能にする、水口バラスト性をもたらす。

10

## 【 0 0 4 1 】

図 1 は、本発明の第 1 の態様の、向上した絶縁破壊強度の多層材料 1 0 0 を示す。材料 1 0 0 は、反対向きの第 1 主表面 1 2 1 及び第 2 主表面 1 2 2 を有する、基底誘電体層（又は、基材）1 2 0 を含む。第 1 のストレス緩和層 1 1 0 が、基底誘電体層 1 2 0 の第 1 主表面 1 2 1 上に配設される。第 2 のストレス緩和層 1 3 0 が、基底誘電体層 1 2 0 の第 2 主表面 1 2 2 上に配設される。本明細書の複数の実施例で示されるように、本発明の一態様では、第 1 のストレス緩和層 1 1 0 の体積導電率は、基底誘電体層 1 2 0 の体積導電率の少なくとも 2 倍である。別の態様では、第 1 のストレス緩和層 1 1 0 及び第 2 のストレス緩和層の体積導電率は、基底誘電体層 1 2 0 の体積導電率の 2 倍～1 0 0 倍である。この多層材料が、半導電材料又は導電材料と（例えば、電気ケーブル内でのように）接触している場合、この基底誘電体層とストレス緩和層との異なる体積導電率のレベルは、構造体内に導電率勾配をもたらす。それゆえ、境界面ストレス緩和層のそれぞれの導電率は、好ましくは、基底層の導電率よりも高く、半導電材料又は導電材料よりも低い。基底誘電体層の表面上に存在する、電荷トラップなどの表面欠陥は、ストレス緩和層が存在する場合、絶縁破壊に関して、より重要性が低いものとなる。

20

## 【 0 0 4 2 】

本発明の別の態様では、各ストレス移行層は、約  $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ～ 約  $1 \times 10^{-8} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する。例えば、1 つの特定の態様では、第 1 のストレス緩和層及び第 2 のストレス緩和層は、それぞれ約  $1 \times 10^{-11} \text{ S/m}$  ～ 約  $1 \times 10^{-9} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する。

30

## 【 0 0 4 3 】

本発明の別の態様では、基底誘電体層は、約  $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ～ 約  $1 \times 10^{-10} \text{ S/m}$  の体積導電率を有する。

## 【 0 0 4 4 】

更には、多層材料 1 0 0 の絶縁破壊強度はまた、第 1 のストレス緩和層及び第 2 のストレス緩和層の厚さに応じて変化し得る。一態様では、第 1 のストレス緩和層及び第 2 のストレス緩和層は、約 5 nm ～ 約 80 ミル（2 mm）の厚さを有する。ストレス緩和層の厚さの関数として絶縁破壊強度を示す、以下で更に詳細に論じられる図 5 もまた、参照されたい。

40

## 【 0 0 4 5 】

本発明の実施形態の誘電体基材（基底誘電体層）に関して好適な材料としては、例えば、シリコーン、ポリ（塩化ビニル）、エチレンプロピレンジエンモノマー（EPDM）ゴム、エチレンプロピレンゴム（EPR）、エチレン酢酸ビニル（EVA）、ポリイミド、フルオロポリマー、エポキシ、ポリスルフィド、ポリエチレン、及びポリエステルなどの、ポリマーが挙げられる。基底誘電体層に関する他の例示的材料としては、マイカなどの絶縁材料が挙げられる。他の好適な誘電体層の材料としては、例えば、以下の表 2 で列挙される基底誘電材料を挙げることができる。

## 【 0 0 4 6 】

50

ストレス緩和層は、それぞれ、バインダー材料中に分散された充填材料を含み得る。一部の好ましい実施形態では、この充填材料は、半導電材料を含む。例示的な無機半導電材料としては、限定するものではないが、ケイ素 (Si)、ゲルマニウム (Ge)、ガリウムヒ素 (GaAs)、ヒ化ホウ素 (BAs)、リン化インジウム (InP)、ヒ化インジウム (InAs)、アンチモン化ガリウム (GaSb)、アンチモン化インジウム (InSb)、リン化ガリウム (GaP)、リン化ホウ素 (BP)、アンチモン化アルミニウム (AlSb)、ヒ化アルミニウム (AlAs)、リン化アルミニウム (AlP)、硫化カドミウム (CdS)、セレン化カドミウム (CdSe)、硫化亜鉛 (ZnS)、酸化亜鉛 (ZnO)、硫化銅 (Cu<sub>2</sub>S)、硫化銀 (Ag<sub>2</sub>O)、二硫化モリブデン (MoS<sub>2</sub>)、二硫化タングステン (WS<sub>2</sub>)、リン化ニッケル (II) (NiP)、硫化スズ (II) (SnS)、硫化スズ (IV) (SnS<sub>2</sub>)、硫化鉛 (II) (PbS)、セレン化鉛 (PbSe)、酸化銅 (I) (Cu<sub>2</sub>O)、酸化銅 (II) (CuO)、酸化ニッケル (II) (NiO)、二酸化スズ (SnO<sub>2</sub>)、酸化スズ (II) (SnO)、二酸化モリブデン (MoO<sub>2</sub>)、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、銀ガリウムヒ素 (AgGaAs)、及びチタン酸バリウム (BaTiO<sub>3</sub>) が挙げられる。一部の実施形態では、充填材料は、ポリアニリン、ポリピロール、ポリチオフエン、ポリフェニレン、ポリ(p-フェニレンスルフィド)、及びそれらの誘導体などの、導電性ポリマーを含む。別の態様では、充填材料は、低バンドギャップ半導電材料を含む。別の例示的な実施形態では、充填材はまた、ドープ半導体、あるいは、合成中に形成された格子構造内の空孔及び格子間欠陥を有する半導体も含み得る。他の実施形態では、充填材料は、窒化ホウ素 (BN)、窒化アルミニウム (AlN)、マイカ、又はアルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) などの、絶縁材料を含み得る。充填材料はまた、金属、グラフェン、カーボンブラック、又はカーボンナノチューブなどの、導電材料も含み得る。他の好適な充填材料としては、例えば、以下の表 1 で列挙される材料を挙げることができる。充填材料は、1つのタイプの材料、又は2種以上の材料の組み合わせを含み得る。

10

20

30

40

50

#### 【0047】

バインダー材料は、ポリマーを含めた、広範囲の材料から選択することができる。本発明のバインダー材料に関して好適な材料としては、例えば、基底誘電体層に関して上記で列挙されたものと同じ材料、すなわち、シリコン、ポリ(塩化ビニル)、EPDMゴム、EPR、EVA、ポリイミド、フルオロポリマー、エポキシ、ポリスルフィド、ポリエチレン、及びポリエステルなどの、ポリマーが挙げられる。他の好適なバインダー材料としては、例えば、以下の表 2 で列挙されるバインダー材料を挙げることができる。一部の好ましい実施形態では、バインダー材料は、基底誘電基材の材料と同じ材料とすることができる。

#### 【0048】

一態様では、ストレス緩和層は、それぞれ、その層の全体積に対して、約 0.5 体積% ~ 約 100 体積% の充填材料を含み得る。好ましくは、ストレス緩和層は、それぞれ約 0.5 体積% ~ 約 21 体積% の充填材料を含み得る。より好ましくは、ストレス緩和層は、それぞれ約 2 体積% ~ 約 14 体積% の充填材料を含み得る。

#### 【0049】

一態様では、より低い添加レベルで導電率勾配を達成するために、低バンドギャップ半導体充填材料を利用することができる。

#### 【0050】

充填材料が微粒子である場合には、その微粒子は、球形、平板、小板、立方体、針状、偏球、回転楕円体、角錐、角柱、薄片、棒状、繊維状、小片、髭状など、又はこれらの混合などの、任意の好適な形状を有し得る。一態様では、各充填材料微粒子のサイズは、約 10 nm ~ 約 100 μm とすることができる。

#### 【0051】

この組成物はまた、それらの材料に対する、他の周知の添加物も含むことにより、例えば、それらの加工性及び/又は特定の用途に対する適合性を、改善することができる。好

適な添加物としては、溶媒、分散剤、消泡剤、及び界面活性剤が挙げられる。

【0052】

第1のストレス緩和層及び第2のストレス緩和層は、同じ組成物又は異なる組成物を有し得る。

【0053】

以下の実施例で示されるように、1つ以上のストレス緩和層によって各主表面上が覆われている基底誘電体層を有する多層材料は、基底誘電体層自体よりも、又は、ストレス緩和層によって一方の主面上のみが覆われている基底誘電体層よりも、遥かに大きい絶縁破壊強度を生じさせる。

【0054】

多層材料100は、以下で説明される実施例のうちの1つ以上で説明されるように、吹き付け、浸漬コーティング、又はパーコーティングなどの、従来のプロセスを使用して作製することができる。一部の実施形態では、基底誘電体層の表面を、乾燥粉末絶縁材料で擦るか又は研磨することにより、数ナノメートル~数マイクロメートルの厚さを有するストレス緩和層を堆積させることができる。この方式で形成されたストレス緩和層は、例えば、二硫化モリブデン又は二硫化タンゲステン、若しくはそれらの組み合わせなどの、層状(プレートレット)半導体を含み得る。

【0055】

本明細書で説明される実施形態の組成物は、様々な用途のための様々な物品、例えば、スプレー、コーティング、マスチック、テープ、及び一定の構成を有する成形体で使用することができる。本明細書で説明される実施形態の組成物は、高電圧ケーブルアクセサリなどの、ストレス制御素子又はデバイスで使用するために特に好適であり、この組成物の高い絶縁破壊強度特性が有用となる。誘電特性及び幾何学構成に関して、それぞれの適用部位に存在する電界の望ましい修正に従って設計されている、誘電ストレス制御デバイスを製造することができる。これらのストレス制御デバイスは、本明細書で説明される、本発明の種々の組成物のうちの1つ以上を含み得る。

【0056】

特定の態様では、誘電ストレス制御デバイス又は素子は、ケーブル絶縁体及び/又はシールドの端部上に定置することが可能な、スリーブなどの成形体を含み得る。他の幾何学構成を有するストレス制御デバイス又は素子は、例えば、高電圧ケーブルの負荷遮断エルボ、移行接続部若しくは通過接続部、貫通接続部、及び分岐部内での、許容不能なほど高い局所的な電界集中を防止するために有用であり得る。

【0057】

少なくとも一実施形態では、本組成物は、エラストマー特性を有する。このことにより、種々の寸法又はサイズの電氣的構造構成要素に適した、常温収縮誘電ストレス制御デバイスを製造することが可能となる。例えば、スリーブの場合には、同デバイスは、ケーブル絶縁体と共に適用可能となる十分な弾性、及び/又は様々な厚さの寸法を有し得る。

【0058】

更には、実施例で更に示されるように、本明細書で説明される、高い絶縁破壊強度の材料の実施形態は、水エージング試験での、改善された電氣的性能をもたらし得る。

【0059】

例えば、本発明の物品は、以下の用途のうちの1つ以上で使用することができる。

(i) 電気ケーブル用の絶縁体、この場合、その絶縁体は、導体と主要誘電体との間、又は、ケーブルの保護遮蔽体と主要誘電体との間に位置する。

(ii) 米国特許第3,666,876号で説明されている層状構成体内でのような、電気ケーブル用の絶縁体。

(iii) 電気ケーブル末端部用のストレス制御カバー。そのようなストレス制御手段は、スプレー、コーティング、マスチック、成形部品、チューブ材、又はテープの形態とすることができ、必要に応じて、外部保護層と共に、又は外部保護層なしで使用することができる。

10

20

30

40

50

(iv) 機械内の、固定子バーの端部、又は絶縁導電体、例えばモータ巻線の端部用の、ストレス制御カバー。

(v) 避雷器内のストレス制御構成要素。

(vi) 碍子本体の構成要素、この場合、その材料は、外部層又は内部構成要素、例えば、耐張碍子、懸垂碍子、ポスト碍子、若しくはブッシング碍子用の絶縁体を提供する、笠又はチューブ材とすることができる。

#### 【0060】

特に、ケーブル及びケーブルアクセサリに関しては、本明細書で説明される、向上した絶縁破壊強度の多層材料の実施形態を使用することにより、標準的な中電圧の端末部、接続部、及びモジュール式ケーブルアクセサリ内で必要とされる、絶縁材料の量を削減することができる。本明細書で説明される、向上した絶縁破壊強度の多層材料はまた、最大50%の絶縁材料の削減を実現することにより、コスト及び製品重量の削減をもたらす得るため、伝送ケーブルアクセサリ内で利用することもできる。更には、電力ケーブルに関して必要とされる絶縁体の量もまた、大幅に削減することができる。それに応じて、絶縁体のOD(外径)が縮小されるため、必要とされる半導電絶縁シールドも少量となるであろう。一つの実装例では、このケーブルの外径の全体的な縮小により、公益事業体は、既存の都心部の電線管内の既存のPILCケーブルを置き換え、そのシステムを通じて、同等以上の電力を得ることが可能となるであろう。

10

#### 【0061】

例えば、本発明の別の態様では、電力ケーブルは、本明細書で説明される向上した絶縁破壊強度の多層材料を含み得る。図2は、導体遮蔽層204によって囲まれた導体202を含む、例示的な電力ケーブル200を示す。導体遮蔽層204は、導電材料又は半導電材料を含む。本明細書で説明される向上した絶縁破壊強度の多層材料を含む、絶縁層100が、導体遮蔽層204を囲んでいる。絶縁遮蔽層206が、絶縁層100を囲んでいる。絶縁遮蔽層206は、導体層207によって囲まれた半導電材料を含む。保護外側ジャケット208が、この高電力ケーブルを囲んでいる。

20

#### 【実施例】

#### 【0062】

以下の実施例及び比較実施例は、本発明の理解を助けるために提供されるものであり、本発明の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。別段の指示のない限り、全ての部及び百分率は、体積基準である。以下の試験方法及び試験プロトコルは、以下の例示的実施例又は比較実施例の評価に採用されたものである。

30

#### 【0063】

材料リスト

#### 【0064】

## 【表 1】

表1. 充填材料

充填材	充填材タイプ	300K(eV)での典型的な半導体バンドギャップ	粒径(μm)	供給元
二硫化モリブデン(MoS <sub>2</sub> )	半導電性	1.7	<2	Sigma Aldrich
二硫化タングステン(WS <sub>2</sub> )	半導電性	1.2	0.6	M.K.Impex Corp.(Canada)
ケイ素	半導電性	1.1	~2	Alfa Aesar
酸化銅(II)(CuO)	半導電性	1.2	<5	Sigma Aldrich
二酸化チタン(TiO <sub>2</sub> )	半導電性	3.0	0.9~1.6	Alfa Aesar
ポリアニリン	半導電性	~3	不明	Sigma Aldrich
チタン酸バリウム(BT)	半導電性	3.1	<2.1	Ferro
酸化亜鉛(ZnO)	半導電性	3.4	不明	Sigma Aldrich
アルミナ(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	絶縁性	5.9	~44	Alumatis
マイカ	絶縁性	-	17	Imerys
カーボン5000	導電性	-		Cabot
カーボン250G	導電性	-	0.04	Ensaco

10

## 【 0 0 6 5 】

## 【表 2】

表2. 他の材料

材料	機能	説明	供給元
Semicosil 960	誘電バインダー	室温硬化型シリコーンゴム(RTV)	Wacker Silicones
Butvar B-98	誘電バインダー	ポリビニルブチラール	Solutica
P114	誘電バインダー	合成ゴム	3M
PS	誘電バインダー	ポリスチレン	Sigma Aldrich
Elastosil LR 3003/30AB	基底誘電体	液状シリコーンゴム(LSR)	Wacker Silicones
QS3	基底誘電体	ゴムシリコーン	3M
1018(事前調整なし)	基底誘電体	ポリ塩化ビニル(PVC)	3M
Kapton-H	基底誘電体	ポリイミド(PI)	Dupont
HDEP	基底誘電体	高密度ポリエチレン	Blue Ridge Films
マイカ	基底誘電体	マイカ(白雲母)	Axim
PET	基底誘電体	ポリエステル	3M
KYNAR	基底誘電体	フッ化ポリビニリデン(PVDF)	Elf Atochem
OS20	溶媒/分散剤	オクタメチルトリシロキサン	Dow Corning

30

## 【 0 0 6 6 】

## 【表 3】

表 3. 試験方法論

特性	試験方法	表題
絶縁破壊強度	ASTM D149-09	商用電力周波数における固体電気絶縁材料の絶縁破壊電圧及び絶縁破壊強度の標準試験方法
体積導電率	ASTM D 150-98(2004)	固体電気絶縁体の交流損失特性及び誘電率(比誘電率)の標準試験方法
誘電損失、 $\tan(\delta)$	ASTM D 150-98(2004)	固体電気絶縁体の交流損失特性及び誘電率(比誘電率)の標準試験方法
比誘電率、K	ASTM D 150-98(2004)	固体電気絶縁体の交流損失特性及び誘電率(比誘電率)の標準試験方法
静電容量	ASTM D 150-98(2004)	固体電気絶縁体の交流損失特性及び誘電率(比誘電率)の標準試験方法

10

## 【0067】

以下の等式を使用して、比誘電率  $K$ 、周波数  $f$ 、及び誘電損失率  $\tan(\delta)$  から体積導電率を算出した：

$$\text{導電率} = \tan(\delta)^2 f_0 K$$

式中、 $f_0$  は、自由空間の誘電率 ( $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ) である。

20

## 【0068】

## 試料の調製

別段の指示がない限り、例示的及び説明的な絶縁破壊強度向上材料を、以下の通りに調製した。高速ミキサー (Flack Tek, Inc. 製の DAC 150FVZ) を使用して、充填材料とバインダーとの混合物を、2500rpm で3分間にわたって高速混合することにより、ストレス緩和コーティングを形成した。分散を促進させることが必要な場合には、最初に、充填材料の一部を、充填材の約10重量%の量のOS20中に予備混合して、濃厚なスラリーを調製し、次いで、バインダー材料と高速混合した。誘電基底材料の平板 (3インチ×6インチ×厚さ34~40ミル) を、製造元の推奨手順に従って調製した。次いで、この誘電基底基材上に、ストレス緩和層をパーコーティングすることにより、薄層 (厚さ1~2ミル) を得た。コーティングされた基材を、室温で一晩にわたり硬化させた。両面上にコーティングを形成するために、次いで、各基材を反対側に裏返して、第2のストレス緩和コーティング層でコーティングし、再度、室温で一晩にわたり硬化させた。この多層材料構造体は、図1に模式的に表されている。

30

## 【0069】

## 結果

比較実施例及び例示的实施例の調製に使用した誘電基底材料に関する体積導電率の値を、表4に示す。

## 【0070】

40

【表 4】  
表 4.

誘電体基材	導電率(S/m)
シリコーン	4.68E-12
ポリエステル(PET)	1.12E-11
ポリイミド(KAPTON)	1.27E-11
高密度ポリエチレン(HDPE)	2.02E-12
PVDF(KYNAR)	6.84E-11

10

## 【 0 0 7 1 】

表 5 は、様々な構成を有する試料の誘電特性を要約したものである。比較実施例 C E 1 に関しては、充填材を含有しない R T V シリコーンコーティング ( S e m i c o s i l 9 6 0 ) を、 L S R 誘電基底材料平板の両面に適用するものとした。 S e m i c o s i l 9 6 0 R T V シリコーン中に 4 . 4 体積 % ( v % ) の二硫化モリブデン ( M o S <sub>2</sub> ) を含有するストレス緩和材料を使用して、実施例 1 及び実施例 2、並びに比較実施例 C E 2 及び比較実施例 C E 3 を調製した。実施例 1 に関しては、 4 . 4 v % M o S <sub>2</sub> / R T V コーティングを、前述のように、 L S R 誘電基底材料平板の両面に適用するものとした。実施例 2 に関しては、 L S R 基材を、実施例 1 に関して説明されたように、 4 . 4 v % M o S <sub>2</sub> / R T V コーティングで両面上をコーティングし、次いで、そのシリコーン基材がストレス緩和コーティング内に完全に封入されることを確実にするために、浸漬コーティング法を介して、 4 つの縁部もまた、 4 . 4 v % M o S <sub>2</sub> / R T V コーティングでコーティングするものとした。 C E 2 は、一方の面のみに 4 . 4 v % M o S <sub>2</sub> / R T V シリコーンコーティングが適用された、 L S R 平板を含むものとした。 C E 3 に関しては、 3 インチ × 3 インチ ( 7 . 6 c m × 7 . 6 c m ) の金型内で、 M o S <sub>2</sub> / R T V シリコーン材料を室温で一晩にわたって硬化させることによって、厚さ 3 9 ミル ( 0 . 9 9 m m ) の、 R T V シリコーン中 M o S <sub>2</sub> の自立型シートを調製した。実施例 3 に関しては、 L S R 基材の両面上を、 M o S <sub>2</sub> 乾燥粉末で研磨 ( バフ加工 ) し、次いで、加圧空気を吹き付けることにより、その基材の表面上のあらゆる自由流動性粉末を除去した。

20

30

## 【 0 0 7 2 】

表 5 に示されるように、実施例 1、実施例 2、及び実施例 3 は全て、半導電充填材を含有しないコーティングを有する L S R 試料 ( C E 1 ) と比較して、絶縁破壊強度の劇的な向上を示している。 M o S <sub>2</sub> / R T V シリコーンの自立型シート ( C E 3 ) は、 C E 1 と比較しても、絶縁破壊強度の改善を示すものではない。一方の面上のみをストレス緩和材料でコーティングされた試料 ( C E 2 ) の絶縁破壊試験のデータは、 C E 1 に勝る測定可能な改善を示すものではない。

40

## 【 0 0 7 3 】

## 【表 5】

表5.

実施例	比誘電率	誘電損失	厚さ		絶縁破壊強度	
			ミル	mm	V/ミル	kV/cm
CE1	2.89	0.005	39	0.99	580	228
CE2	3.0	0.009	35	0.89	544	214
CE3	4.25	0.018	39	0.99	410	161
実施例1	2.97	0.0066	38	0.97	1121	441
実施例2	3.25	0.0125	46	1.2	990	390
実施例3	2.92	0.0006	35	0.89	932	367

10

## 【0074】

表6は、様々な量の $\text{MoS}_2$ を有する $\text{MoS}_2/\text{Semicosil 960RTV}$ コーティングで両面上をコーティングされた、LSR誘電基底材料の試料の誘電特性を要約したものである。表7は、様々な量の $\text{WS}_2$ を有する $\text{WS}_2/\text{Semicosil 960RTV}$ コーティングで両面上をコーティングされた、LSR誘電基底材料の試料の誘電特性を要約したものである。表6及び表7から理解することができるように、これらの試料の絶縁破壊強度は、ストレス緩和コーティング中の $\text{MoS}_2$ 及び $\text{WS}_2$ 半導電充填材料の添加レベルが増大するにつれて、顕著な向上を示している。実際に、その絶縁破壊強度は、ストレス緩和コーティングを有さないシリコンLSR誘電基底材料(CE1)と比較して、約100%向上した。

20

## 【0075】

## 【表 6】

表6.

30

実施例	RTVコーティング中の $\text{MoS}_2$ の量(体積%)	比誘電率	誘電損失	厚さ		絶縁破壊強度	
				ミル	mm	V/ミル	kV/cm
CE1	0	2.89	0.005	39	0.99	580	228
実施例1	4.4	2.97	0.0066	38	0.97	1121	441
実施例4	0.96	2.99	0.0063	39	0.99	508	200
実施例5	2.0	2.97	0.0071	37	0.94	860	338
実施例6	10.9	3.21	0.0178	42	1.1	1130	445

40

## 【0076】

【表 7】

表 7.

実施例	RTVコーティング中の WS <sub>2</sub> の量(体積%)	比誘電率	誘電損失	厚さ		絶縁破壊強度	
				ミル	mm	V/ミル	kV/cm
CE1	0	2.89	0.005	39	0.99	580	228
実施例7	0.65	2.99	0.0058	37	0.94	6.08	239
実施例8	1.4	2.96	0.0061	37	0.94	616	243
実施例9	3.0	2.97	0.0093	37	0.94	1124	443
実施例10	7.6	3.00	0.0071	39	0.99	1238	487

10

## 【 0 0 7 7 】

表 8 は、MoS<sub>2</sub> を含有するストレス緩和コーティングで両面上をコーティングされている様々な誘電基底材料と、無充填のバインダーコーティングで両面上をコーティングされている同じ誘電基底材料とを比較するものである。コーティング厚さは、約 1 ~ 2 ミル ( 0 . 0 2 5 4 ~ 0 . 0 5 mm ) とした。実施例の各セットに関して、絶縁破壊強度の増大百分率を算出した。実施例 1 及び実施例 1 1 ~ 1 7 の全ては、対応の比較実施例 CE 1 及び比較実施例 CE 4 ~ CE 1 0 と比較して、絶縁破壊強度の著しい向上を示している。

## 【 0 0 7 8 】

20

【表 8】

表 8.

実施例	基底誘電材料	コーティング	厚さ		絶縁破壊強度		絶縁破壊強度の増大(%)
			ミル	mm	V/ミル	kV/cm	
CE1	LSR	無充填RTV*	39	0.99	580	228	93
実施例1		4.4v% MoS <sub>2</sub> /RTV*	38	0.97	1121	441	
CE4	ガムシリコーン	無充填RTV*	57	1.45	505	199	54
実施例11		4.4v% MoS <sub>2</sub> /RTV*	57	1.45	778	306	
CE5	PVC	無充填RTV*	6	0.15	1414	557	70
実施例12		4.4v% MoS <sub>2</sub> /RTV*	7	0.18	2388	940	
CE6	PI	無充填RTV*	4.7	0.12	3337	1314	59
実施例13		10.9v% MoS <sub>2</sub> /RTV*	5.1	0.13	5310	2091	
CE7	HDEP	無充填PS	5.6	0.14	3160	1244	65
実施例14		7.3v% MoS <sub>2</sub> /PS	6.0	0.15	5228	2058	
CE8	マイカ	無充填RTV*	6.2	0.16	1292	509	116
実施例15		10.9v% MoS <sub>2</sub> /RTV*	6.3	0.16	2796	1101	
CE9	PET	無充填P114	2.2	0.056	4318	1700	37
実施例16		10v% MoS <sub>2</sub> /P114	2.3	0.058	5926	2333	
CE10	PET	無充填Butvar B-98	2.1		4330	1705	42
実施例17		10v% MoS <sub>2</sub> /B-98	2.1		6158	2424	

30

40

\*表 8 の試料に関して使用された RTV は、Semicosil 960RTV であった。

## 【 0 0 7 9 】

Semicosil 960RTV バインダー中に様々なタイプ及び量の ( 体積百分率で表される ) 充填材を含むコーティングの、自立型シートを調製して、誘電特性を測定し

50

た。結果を表 9 に示す。

【 0 0 8 0 】

【 表 9 】

表 9.

実施例	充填材	充填材添加レベル (V%)	比誘電率 (K)	誘電損失	体積導電率 (S/m)
実施例 18	CuO	3.5	3.05	0.0017	2.94E-11
実施例 19		8.9	3.92	0.0063	1.38E-10
実施例 20		18.1	6.02	0.0248	8.31E-10
実施例 21	MoS2	2.0	3.09	0.0006	1.09E-11
実施例 22		4.4	4.25	0.0179	4.23E-10
実施例 23		10.9	6.00	0.0633	2.11E-09
実施例 24	ケイ素	4.2	3.21	0.0013	2.32E-11
実施例 25		9.0	4.00	0.0022	4.89E-11
実施例 26		14.6	5.05	0.0040	1.13E-10
実施例 27		20.9	5.39	0.0031	9.29E-11
実施例 28	チタン酸バリウム	3.7	2.57	0.0019	2.71E-11
実施例 29		9.3	3.45	0.0046	8.83E-11
実施例 30		18.8	6.07	0.0124	4.18E-10
実施例 31	TiO2	2.4	2.85	0.0015	2.38E-11
実施例 32		5.2	3.41	0.0028	5.30E-11
実施例 33		12.8	4.77	0.0067	1.78E-10
実施例 34	ZnO	3.3	3.06	0.0017	2.95E-11
実施例 35		4.7	3.07	0.0037	6.37E-11
実施例 36		7.8	3.54	0.0033	6.49E-11
実施例 37		11.6	3.50	0.0062	1.20E-10
実施例 38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.1	2.78	0.0121	1.87E-10
実施例 39		14.7	3.27	0.0246	4.46E-10
実施例 40		27.9	3.81	0.0666	1.41E-09
実施例 41	マイカ	7.6	3.14	0.0442	7.70E-10
実施例 42		18.0	3.23	0.1223	2.51E-09
実施例 43		33.1	3.30	0.1096	2.01E-09
実施例 44	Ag	4.6	4.09	0.0013	2.95E-11
実施例 45		6.8	10.96	0.1574	9.58E-09
実施例 46	カーボン (Ensaco 250G)	3.4	4.34	0.0020	4.74E-11
実施例 47		5.1	49.10	0.2323	6.34E-08
実施例 48		6.8	921.41	4.0133	2.06E-05
実施例 49	カーボン (Cabot 5000)	3.2	1.57	0.0009	7.8586E-12
実施例 50		5.4	5.69	0.0079	2.50E-10
実施例 51		8.4	99.47	2481.0	1.37E-03

\* 測定中に火花発生を観察

【 0 0 8 1 】

表 10 は、表 9 で説明されたストレス緩和コーティングで両面上をコーティングされた、LSR 誘電基底材料の絶縁破壊強度を、Semicosil 960 RTV シリコン基底誘電基材と比較して提示するものである。RTV シリコン基底誘電体層の体積導電率 ( $4.68 \times 10^{-12} \text{ S/m}$ ) に対する、各ストレス緩和層の体積導電率 (表 9 によ

10

20

30

40

50

るもの)の比率として、導電率比を算出した。結果を表10に示す。

【0082】

【表10】

表10.

実施例	充填材	充填材添加レベル (V%)	厚さ		導電率比	絶縁破壊強度	
			ミル	mm		V/ミル	kV/cm
CE11	なし	0.0	37.7	0.96	N/A	594	234
実施例18	CuO	3.5	37.7	0.96	6.29	820	323
実施例19		8.9	36.9	0.94	29.5	922	363
実施例20		18.1	37.7	0.96	178	954	376
実施例21		2.0	36.3	0.92	2.32	966	380
実施例22	MoS <sub>2</sub>	4.4	38.4	0.98	90.4	1096	432
実施例23		10.9	40.0	1.0	451	1343	529
実施例24		4.2	36.3	0.92	4.96	729	287
実施例25	ケイ素	9.0	39.0	0.99	10.4	1253	493
実施例26		14.6	39.6	1.0	24.2	1191	469
実施例27		20.9	37.8	0.96	19.9	1214	478
実施例28		3.7	37.9	0.96	5.80	563	222
実施例29	チタン酸バリウム	9.3	39.0	0.99	18.9	656	258
実施例30		18.8	41.6	1.1	89.4	922	363
実施例31		2.4	37.1	0.94	5.08	595	234
実施例32	TiO <sub>2</sub>	5.2	40.0	1.0	11.33	713	281
実施例33		12.8	38.2	0.97	38.0	765	301
実施例34		3.3	39.2	1.0	6.31	689	271
実施例35	ZnO	4.7	38.4	0.98	13.6	834	328
実施例36		7.8	40.2	1.0	13.9	871	343
実施例37		11.6	35.8	0.91	25.6	923	363
実施例38		6.1	38.0	0.97	39.9	614	242
実施例39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.7	40.2	1.0	95.3	676	266
実施例40		27.9	37.6	0.96	301	604	238
実施例41		7.6	39.0	0.99	164.63	632	249
実施例42	マイカ	18.0	37.6	0.96	536.64	699	275
実施例43		33.1	42.4	1.08	430	683	269
実施例44	Ag	4.6	36.9	0.94	6.31	704	277
実施例45		6.8	38.0	0.97	2048	788	310
実施例47	カーボン (Ensaco 250G)	5.1	34.8	0.88	13.4E+04	982*	387*
実施例48		6.8	35.4	0.90	4.39E+06	989*	389*
実施例49	カーボン (Cabot 5000)	3.2	34.5	0.88	1.68	885	348
実施例50		5.4	35.8	0.91	53.4	1046*	412*

\*測定中に火花発生を観察

【0083】

図3A～図3Dは、表10のデータ、並びに追加充填材及び充填材添加レベルに関するデータを示す。図3A及び図3Bは、半導電充填材を使用して作製された試料の絶縁強度を示す。図3Cは、電子伝導充填材を使用して作製された試料の絶縁強度を示す。絶縁充填材を含むコーティングを使用して作製された試料の絶縁強度が、図3Dに提示されている。各図では、対照試料は、無充填のSemiconsil 960RTVバインダーで両面上をコーティングされた、LSR基底誘電材料(CE1)を指す。図3A～図3Dは、電子伝導充填材又は半導電充填材のいずれかに基づくストレス緩和層が、無充填のRTV

シリコンを有する L S R 誘電基底材料平板と比較して、絶縁破壊強度の向上を示すものであることを実証している。しかしながら、表 10 で示されるように、電子伝導充填材を有する試料では、トラッキング及び火花発生が観察された。それゆえ、導電充填材は絶縁破壊強度を向上させるが、半導電充填材は、より制御可能な方式で絶縁破壊強度を向上させる能力を有するため、導電充填材よりも好ましいものとするができる。高導電充填材を有するコーティングは、絶縁破壊強度の低下を示す。絶縁充填材は、絶縁破壊強度に対して、明らかな影響力を及ぼすものではなかった。

#### 【0084】

表 9 及び表 10 並びに図 3 A ~ 図 3 D で提示された結果を比較することにより、ストレス緩和層の体積導電率が、絶縁破壊の向上に重要な役割を果たすことが実証される。例えば、 $1 \times 10^{-12} \text{ S/m}$  ~ 約  $1 \times 10^{-8} \text{ S/m}$  の範囲内の体積導電率を有する材料は、シリコン基材上に好適なストレス緩和層を提供する。

10

#### 【0085】

本発明の材料はまた、昇温での湿潤条件におけるエージングの後も、向上した絶縁破壊強度性能を示すものである。表 11 で説明されるように、3つのタイプのストレス緩和層コーティングを調製して、L S R 誘電基底材料の両面上にコーティングした。R T V 615 シリコン誘電バインダー中での、ケイ素粉末の分散を促進するために、前述のように、最初に、粉末の約 10 重量%の量の O S 20 中にケイ素粉末を予備混合して濃厚なスラリーを調製し、次いで、R T V 615 と高速混合した。このコーティング中の、シリコン誘電バインダーに対するケイ素の最終比率は、約 30 重量% (14.6 v%) とした。M o S<sub>2</sub> を半導電充填材として使用することによって、シリコン基材上の同様の多層構造体もまた調製した。薄い R T V コーティング (半導電充填材なし) を有する多層シリコン基材もまた、比較実施例 C E 11 として調製した。試料を、90 の対流式オープン内で水中に浸漬することによってエージングした。それらの試料を定期的に取り出して、表面の水を、布で軽く押さえることによって除去した。オープンから取り出した直後に、絶縁破壊強度を測定した。

20

#### 【0086】

表 11 及び図 4 は、90 の水中でのエージング後の、絶縁破壊強度の変化を示す。エージングの前は、実施例 52 及び実施例 53 の双方の絶縁破壊強度は、比較実施例 C E 11 に対して、100%を超える向上を示すものであった。水エージングの後には、半導電基材の絶縁破壊強度は低下して、暫くの時間の後、横ばい状態となる。実施例 52 は、実施例 53 (106 日後、~49%) と比較した場合、より高い絶縁破壊強度の保持率 (130 日後、~68%) を示した。C E 11 の絶縁破壊強度は、測定可能な経時的低下を何ら示していないが、130 日間の水エージングの後、実施例 52 の絶縁破壊強度 (868 V/ミル) は、C E 11 (616 V/ミル) よりも高く、実施例 53 の絶縁破壊強度 (629 V/ミル) は、C E 11 とほぼ同じである。更には、これらの絶縁破壊試験の間、実施例 52 は、目視可能な放電を示さなかった。

30

#### 【0087】

【表 11】

表 11.

実施例	コーティング	時間(日数)	絶縁破壊強度		絶縁破壊強度 保持率(%)
			V/ミル	kV/cm	
GE11	無充填RTV	0	594	234	100
		55	665	262	112
		100	603	237	102
		126	616	243	104
実施例52	14.6v% 2 $\mu$ m ケイ素/RTV	0	1292	509	100
		70	778	306	60.2
		100	866	341	67.1
		131	868	342	67.2
実施例53	4.4v% MoS <sub>2</sub> /RTV	0	1261	497	100
		30	628	247	49.8
		63	618	243	49.1
		106	629	248	49.0

10

20

## 【0088】

絶縁破壊強度に対する、ストレス緩和コーティング層の厚さの効果もまた試験した。厚さ20ミルのLSRシリコン誘電基底材料片を、Semicosil 960RTVシリコンバインダー中に4.4v% MoS<sub>2</sub>充填材を含有する様々な厚さのストレス緩和コーティングで、両面上をコーティングした。ストレス緩和コーティングの厚さを、約0.8ミル~約1.8ミル(0.02~0.46mm)で変化させて、約21.6ミル~約56.6ミル(0.55~1.44mm)の範囲の、全体の試料厚さを生じさせるものとした。比較のために、同等の全体厚さを有する、非コーティングLSRシリコン平板のセットもまた調製した(CE12)。図5に結果が提示されており、絶縁破壊強度の改善は、薄いストレス緩和コーティング層に関して最大であることが示されている。

30

## 【0089】

様々な厚さのLSRシリコン誘電基底材料を、Semicosil 960RTVシリコンバインダー中に4.4v% MoS<sub>2</sub>充填材を含有する厚さ5ミル(0.13mm)のストレス緩和コーティングで、両面上をコーティングした。同等の全体厚さを有する、非コーティングLSRシリコン平板もまた、比較のために試験した(CE12)。図6に絶縁破壊強度の測定値が提示されており、全体の試料厚さに対する、ストレス緩和コーティング層の厚さの割合が小さくなる場合であっても、絶縁破壊強度の改善が得られることが示されている。

40

## 【0090】

本発明のストレス緩和コーティングを、電気的接続部内での性能に関しても評価した。20重量部のMoS<sub>2</sub>及び80重量部のSemicosil 960RTVを含有するコーティング溶液を、20重量部のOS20で希釈することにより、粘度を低下させた。0.38''(9.65mm)の内径、並びに約8''(20cm)及び12''(30cm)の長さを有する、常温収縮シリコンチューブを、この溶液中で浸漬コーティングすることにより、そのチューブの内側表面及び外側表面の双方に、均質なコーティングを得た。OS20溶媒の除去後、このコーティングの最終組成は、4.4体積%(20重量%)のMoS<sub>2</sub>であった。次いで、この常温収縮チューブを、取り外し可能な支持コア上に

50

拡張させた。比較実施例 C E 1 2 及び比較実施例 C E 1 3 は、コーティングしないものとした。

【 0 0 9 1 】

接続部を、以下の通りに組み立てた。15 kV の 1 / 0 A W G 電力ケーブルの 2 つの端部を、接続部装着のために調製した。常温収縮試料チューブを、それらのケーブルの一方の上に配置し、それらのケーブルの端部をコネクタと接続した。このコネクタを、半導電テープ ( 3 M C o m p a n y ( U S ) 製の S C O T C H 1 3 テープ ) で覆い、その半導電テープを、ケーブル絶縁体上まで延在させた。次いで、ケーブル絶縁体、半導電テープ、及びケーブルの半導電層の縁部を、フッ化炭素グリース ( 3 M C o m p a n y ( U S ) 製の P 5 5 / R ) で覆い、あらゆる空気間隙を充填した。次いで、支持コアを除去して、3 M 常温収縮装着プロセスに従うことによって、シリコンチューブを、そのチューブの各端部がケーブル半導電層の各端部上に少なくとも 0 . 5 ' ' ( 1 . 2 7 c m ) 延在している状態で、ケーブル上に装着した。このチューブ材を、半導電テープで上巻きし、次いで、そのチューブの上に、金属メッシュ ( 3 M C o m p a n y ( U S ) 製の S C O T C H 2 4 電気遮蔽テープ ) を、一方のケーブルの金属シールドから他方のケーブル上の金属シールドまで適用した。最終的に、接合部全体を、ビニル絶縁テープで覆った。

10

【 0 0 9 2 】

次いで、これらの接続部を、高電圧下での性能に関して評価した。部分放電試験を実行し、次いで、A C 電圧を 5 分ごとに 5 k V 上昇させる、A C 段階試験を実行した。試験結果を、表 1 2 に要約する。表 1 2 では、C S V はコロナ開始電圧を指し、C E V はコロナ消滅電圧を指す。長さを 8 ' ' とした実施例 5 4 及び実施例 5 5 に関しては、絶縁体を通過する欠陥は発生せず、むしろ、チューブとケーブル絶縁体との境界面に、欠陥が下降した。1 2 ' ' の試料に関しては、二硫化モリブデンでコーティングされたシリコンチューブを使用するケーブル接合部の A C 段階欠陥レベル ( 実施例 5 6 、 > 7 0 k V ) は、非コーティングのシリコンチューブを使用するケーブル接続部の A C 段階欠陥レベル ( C E 1 3 、 < 4 0 k V ) よりも著しく高い。実施例 5 6 に関しては、ストレス緩和コーティングは、シリコンチューブの内側表面を完全には覆わないものとしたが、これにより、絶縁破壊レベルの低下、及び半径方向の欠陥がもたらされた可能性がある。

20

【 0 0 9 3 】

【表 1 2】

30

表 1 2 .

試験番号	説明	長さ、インチ (cm)	部分放電値 (kV)	AC段階欠陥レベル	欠陥モード
CE12	非コーティング シリコンチューブ	8(20)	N/A	40kVへ 上昇中に欠陥	絶縁体を 通過して半径方向
CE13	非コーティング シリコンチューブ	12(30)	CSV=18.9 CEV=15.5	35kV、 23秒後	絶縁体を 通過して半径方向
実施例54	20% MoS <sub>2</sub> /RTV コーティングを有する シリコンチューブ	8(20)	N/A	55kV	境界面に下降
実施例55	20% MoS <sub>2</sub> /RTV コーティングを有する シリコンチューブ	8(20)	CSV=13 CEV=11.7	80kV、5分後	境界面に下降
実施例56	20% MoS <sub>2</sub> /RTV コーティングを有する シリコンチューブ	12(30)	CSV=18.5 CEV=15.9	70kV、1分後	絶縁体を 通過して半径方向

40

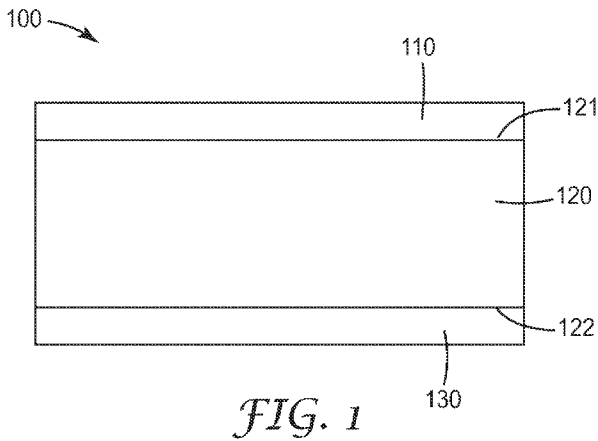
【 0 0 9 4 】

好ましい実施形態の説明を目的として、本明細書では特定の実施形態を例示及び説明しているが、当業者には、本発明の範囲を逸脱することなく、図示及び説明された特定の实

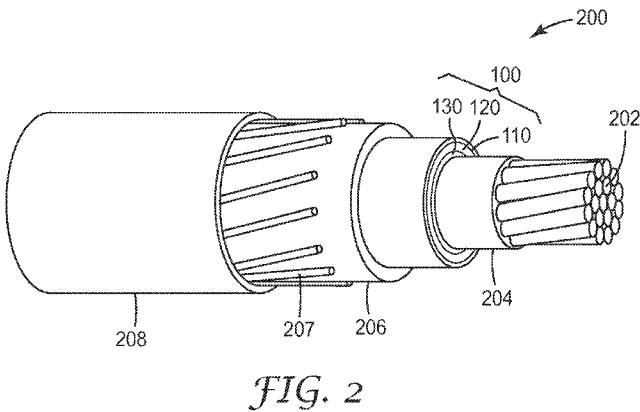
50

施形態を、多種多様な代替的実装及び/又は等価的実装で置き換えることができる点が、理解されるであろう。本出願は、本明細書で論じられた好適な実施形態の、あらゆる適合形態又は変形形態を含むことを意図するものである。それゆえ、本発明が、「特許請求の範囲」及びその等価物によってのみ限定されることを、明白に意図するものである。

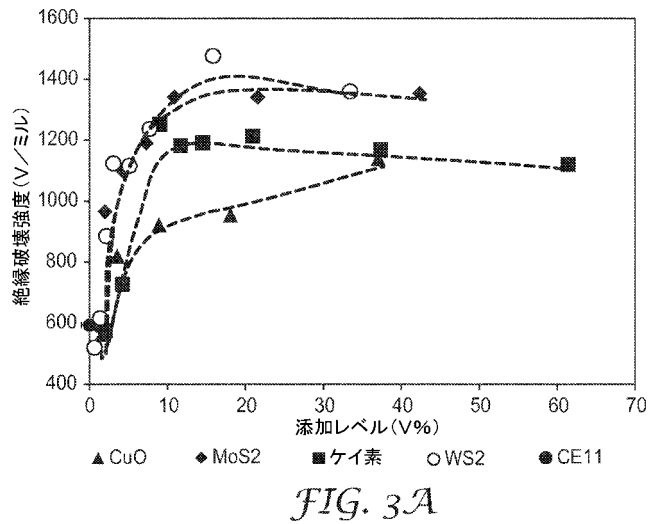
【図1】



【図2】



【図3A】



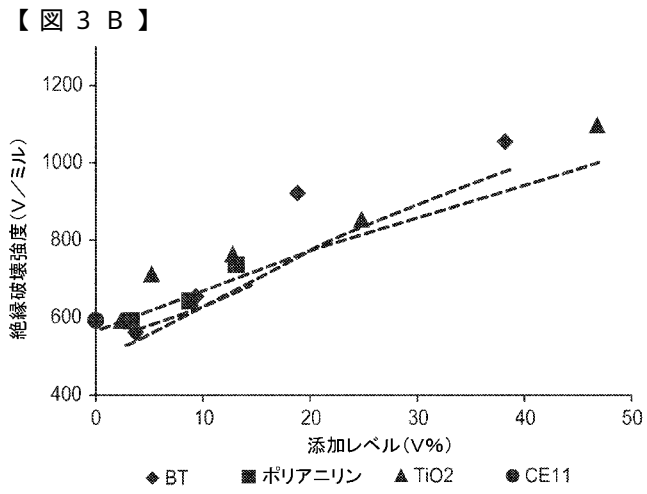


FIG. 3B

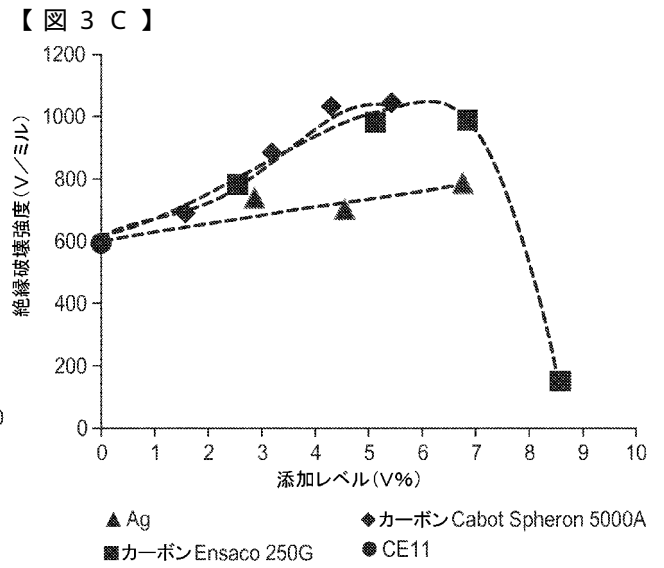


FIG. 3C

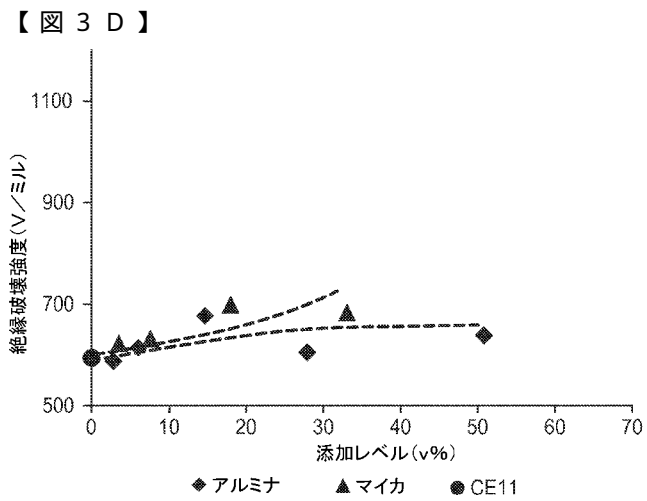


FIG. 3D

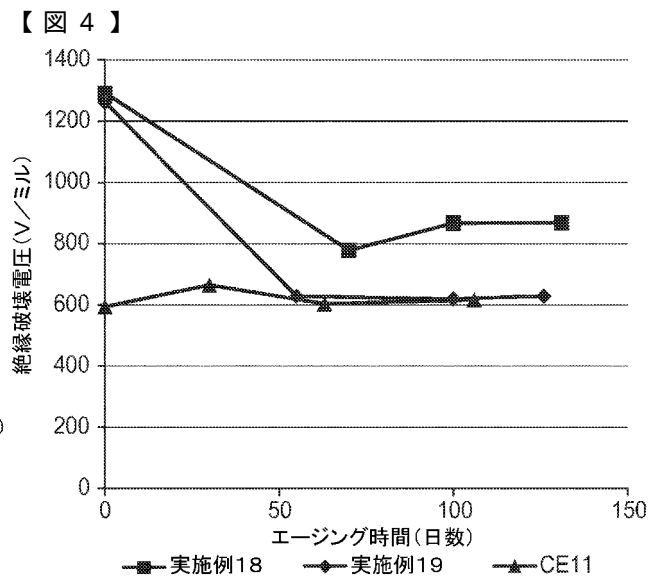


FIG. 4

【 図 5 】

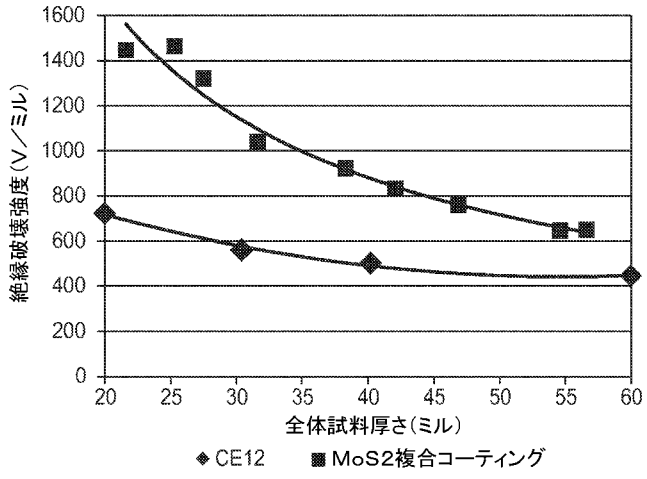


FIG. 5

【 図 6 】

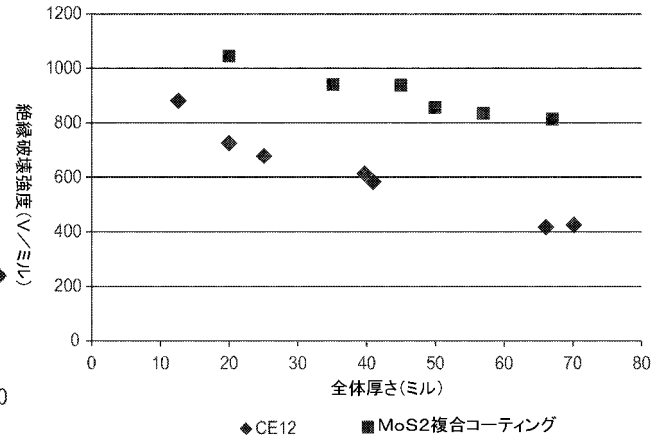


FIG. 6

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2015/055534
---

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	H01B3/30 H01B9/02	B32B27/08 H01B3/42 H01B3/44 H01B3/46
ADD. According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01B B32B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 854 774 A (BRITISH INSULATED CALLENDERS) 23 November 1960 (1960-11-23) page 1 - page 2; claims 1-3 -----	1-3, 9-13, 19-27
X	EP 0 645 781 A1 (ALCATEL CABLE [FR]) 29 March 1995 (1995-03-29)  column 1, line 1 - column 6, line 48 -----	1-3,5,6, 9-15, 18-20, 27,32
X	WO 98/34245 A1 (ASEA BROWN BOVERI [SE]; FROMM UDO [SE]; HOERNFELDT SVEN [SE]; HOLMBERG) 6 August 1998 (1998-08-06) page 4, line 26 - page 9, line 26 -----	1-27,32
A	EP 1 786 006 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 16 May 2007 (2007-05-16) the whole document -----	1-32
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search  5 February 2016		Date of mailing of the international search report  15/02/2016
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Marsitzky, Dirk

1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/055534

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 854774	A	23-11-1960	FR 1226169 A GB 854774 A	08-07-1960 23-11-1960
EP 0645781	A1	29-03-1995	AU 683076 B2 CN 1124868 A DE 69402494 D1 DE 69402494 T2 DK 0645781 T3 EP 0645781 A1 FR 2710183 A1 JP 4040114 B2 JP H07169339 A	30-10-1997 19-06-1996 15-05-1997 17-07-1997 05-05-1997 29-03-1995 24-03-1995 30-01-2008 04-07-1995
WO 9834245	A1	06-08-1998	AT 436079 T AU 724971 B2 AU 5890498 A BR 9807141 A CA 2276399 A1 CN 1244290 A EP 1016102 A1 JP 4372844 B2 JP 2001509957 A KR 20010049160 A NO 993671 A NZ 337096 A PL 334615 A1 TR 9901585 T2 US 6970063 B1 WO 9834245 A1	15-07-2009 05-10-2000 25-08-1998 25-01-2000 06-08-1998 09-02-2000 05-07-2000 25-11-2009 24-07-2001 15-06-2001 28-07-1999 25-05-2001 13-03-2000 21-09-1999 29-11-2005 06-08-1998
EP 1786006	A1	16-05-2007	CN 1967751 A EP 1786006 A1 JP 2007142396 A US 2007108490 A1 US 2010259865 A1	23-05-2007 16-05-2007 07-06-2007 17-05-2007 14-10-2010

## フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72) 発明者 ソマシリ, ナナヤッカラ, エル. , ディー.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72) 発明者 ファイン, ポール, ヴィ.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72) 発明者 ロティーズ, アンドリュウ, シー.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72) 発明者 テイラー, ウィリアム, エル.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72) 発明者 ブユクル, レヴェント  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72) 発明者 フィッシャー, カール, イー.  
アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

F ターム(参考) 5G305 AA02 AA20 AB02 AB08 BA15 CA01 CA03 CA11 CA15 CA21  
CA26 CA35 CA38 CA47 CC01 CC02 CC04 CC20 CD01 CD16  
5G333 AA03 AB07 AB12 AB14 CA01 CA03 DA03 DA21 DB05