

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成23年3月10日(2011.3.10)

【公開番号】特開2009-181804(P2009-181804A)

【公開日】平成21年8月13日(2009.8.13)

【年通号数】公開・登録公報2009-032

【出願番号】特願2008-19639(P2008-19639)

【国際特許分類】

H 01 B	11/18	(2006.01)
H 01 B	11/02	(2006.01)
H 01 B	7/08	(2006.01)
H 05 K	1/02	(2006.01)
H 05 K	3/46	(2006.01)

【F I】

H 01 B	11/18	D
H 01 B	11/02	
H 01 B	7/08	
H 05 K	1/02	P
H 05 K	1/02	N
H 05 K	3/46	S
H 05 K	3/46	Z

【手続補正書】

【提出日】平成23年1月21日(2011.1.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた二本以上の導体線と、前記導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体と、前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするためのシールド導体によって構成されるシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項2】

伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた一本以上の導体線と、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するとともに前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするための一一本以上のシールド導体線と、前記導体線と前記シールド導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体によって構成されるシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体線を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体線の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 3】

伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた二本以上の導体線と、前記導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体と、前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするためのシールド導体によって構成されるシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記シールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 ω_{min} における表皮深さ (λ_{min}) よりも大きくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 4】

伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた一本以上の導体線と、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するとともに前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするための一本以上のシールド導体線と、前記導体線と前記シールド導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体によって構成されるシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体線を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体線の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記シールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 ω_{min} における表皮深さ (λ_{min}) よりも大きくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 5】

請求項 3 に記載のシールド付き伝送線路において、

前記導体線が 2 本であると共に、前記シールド導体が前記 2 本の導体線を覆い、シールド付ペアケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 6】

請求項 4 に記載のシールド付き伝送線路において、

前記導体線が 1 本であると共に前記シールド導体線が外部導体として前記導体線を覆い、同軸ケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 7】

請求項 3 に記載のシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体がストリップ線路のグランド配線として使用され、プリント配線基板を構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 8】

請求項 4 に記載のシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体線がマイクロストリップ線路のグランド配線または電源配線として使用され、プリント配線基板を構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 9】

請求項 3 に記載のシールド付き伝送線路において、

前記シールド導体が前記絶縁体を覆うシールド層として使用され、フレキシブルフラットケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路。

【請求項 10】

外部導体を複数の導体線を撚り合わせた撚り線層によって構成した同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二層以上の撚り線層によって構成し、かつ、前記撚り線層の内側の層を低損失導体材料、外側の層を高損失導体材料によって構成し、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撚り線層の厚みを、前記低損失導体材料によって構成した撚り線層の厚みよりも小さくしたことを特徴とする同軸ケーブル。

【請求項 11】

外部導体を複数の導体線を撲り合わせた撲り線層によって構成した同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二層以上の撲り線層によって構成し、かつ、前記撲り線層の内側の層を低損失導体材料、外側の層を高損失導体材料によって構成し、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みを、前記低損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みを、前記同軸ケーブルからの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 t_{min} における表皮深さ (t_{min}) よりも大きくしたことを特徴とする同軸ケーブル。

【請求項 1 2】

内部導体を構成する一本の導体線と、外部導体を構成する一本の中空導体線と、内部導体と外部導体を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体からなるセミリジッド同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二種類以上の導体材料によって構成し、かつ前記外部導体の内側表面に低損失導体材料、外側表面に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブル。

【請求項 1 3】

内部導体を構成する一本の導体線と、外部導体を構成する一本の中空導体線と、内部導体と外部導体を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体からなるセミリジッド同軸ケーブルにおいて、

前記外部導体を二種類以上の導体材料によって構成し、かつ前記外部導体の内側表面に低損失導体材料、外側表面に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記セミリジッド同軸ケーブルからの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 t_{min} における表皮深さ (t_{min}) よりも大きくしたことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブル。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のセミリジッド同軸ケーブルにおいて、

前記外部導体を、低損失導体材料からなる中空導体線の外側表面に高損失導体材料をマッキすることによって形成したことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブル。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】シールド付き伝送線路及び同軸ケーブル

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、高周波成分を含む電気信号を伝送するためのシールド付き伝送線路及び同軸ケーブルに関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年の半導体集積回路の処理速度向上に伴い、電子機器の内部や電子機器の間で、1 GHz 以上の高周波成分を含む高速な電気信号がやりとりされるようになった。その結果、ケーブルやプリント配線基板などの伝送線路の部分で意図せざる高周波電磁界が発生して、機器の誤動作や、人体・隣接電子機器に悪影響を与える可能性が懸念されている。このため、1 GHz 以上の高周波帯でも電磁ノイズの発生を規制する動きが広がっており、伝送線路部分での不要電磁界の発生を抑制する技術が必要になっている。

【0 0 0 3】

伝送線路からの不要電磁界の発生を抑える技術としては、従来から、伝送線路の周囲にシールド層を設けて、伝送線路を流れる電流によって発生する電磁界をシールド層の内部

または近傍に閉じ込める対策が実施されてきた。一般に、伝送線路は、往路電流と帰路電流が流れる少なくとも二本以上の導線から構成され、シールド層は多くの場合、導体材料によって構成される。以下では、上述の伝送線路を構成する二本以上の導線を、単に伝送線路を構成する導線と略記する。伝送線路の周囲にシールド層を設置する際の形態には、大別して次の二種類がある。

【0004】

まず、第一のシールド層の設置形態においては、伝送線路を構成する導線の外側に、伝送線路を構成する導線とは別な導体から成るシールド層を追加する。これによって、伝送線路を構成する導線で発生する電磁界が、シールド層の近傍または内部に閉じ込められる。また、第二のシールド設置形態においては、シールド層として新たな導体を追加するのではなく、伝送線路を構成する導線のうちの一部の導線が、他の導線の一部または全部を覆う構造とする。これによって、上記の一部の導線がシールド層としての機能を持ち、他の導線で発生する電磁界が、上記の一部の導線の近傍または内部に閉じ込められる。

【0005】

上述の第一のシールド層の設置形態の例としては、シールド付きペアケーブル（Twinx）やシールド付きカッドケーブル、シールド付きツイストペアケーブル（FTP）、シールド付きフラットケーブル（FFC）、リジッドプリント配線基板またはフレキシブルプリント配線基板上のマイクロストリップ線路などがある。また、同じく上述の第二のシールド設置形態の例としては、同軸ケーブルや、リジッドプリント配線基板またはフレキシブルプリント配線基板上のストリップ線路などがある。ただし、以上の例は、あくまでも従来技術によるシールド付き伝送線路において、シールド層の設置形態の分類を明確にするために例示したものであって、本発明の適用範囲を限定するものではない。

【0006】

従来技術について記載した非特許文献1としては、「高速信号ボードの設計（応用編）」の（10.2 同軸ケーブルのノイズと干渉）がある。ここで非特許文献1として同軸ケーブルに関する文献を挙げたのは、同軸ケーブルは構造が単純なために、シールド層を流れる不要電流の分析が最も進んでいるからであり、本発明の適用範囲が同軸ケーブルに限定されることを意味するものではない。

【0007】

また特開平9-129041号公報（特許文献1）には高周波用の伝送線路において、シールド層を導電率が異なる複数の導体で構成することが開示されている。

【0008】

【非特許文献1】ハワード・ジョンソン「高速信号ボードの設計（応用編）」2007年、丸善株式会社、596-601頁

【特許文献1】特開平9-129041号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら従来の技術では、伝送線路自体から発生する電磁界をシールド層の近傍または内部に閉じ込めることは可能であるが、シールド層が導体によって構成されているために、シールド層を電子回路に接続すると、信号伝送の目的とは直接関係のない電流がシールド層に流れ、それが新たな不要電磁界の発生源になってしまいうとい問題があった。このために従来の技術では、シールド層に電流を流さないようにシールド層と電子回路の接続部にコモンモードチョークなどのノイズ対策部品を追加する対策がとられてきた。

またそのほかにも、上述の原因から考えて合理的な対策とは言いがたいが、シールド層を厚くしてシールド層の遮蔽性能を上げるという対策もとられてきた。

【0010】

しかしこれらは、新たにノイズ対策部品を追加する方法や、シールド層の膜厚を厚くする方法であるためシールド付き伝送線路のコストが高くなるという問題があった。

【0011】

また特許文献 1 記載の方法は、同軸ケーブルの外部から同軸ケーブルの内部への熱伝達を抑制するための方法であり、そのためにシールド層を 99 % 以上の高損失材料で構成するものである。しかしながら、この構成では高周波領域において電磁ノイズの発生量を少なくすることはできないという問題があった。

【 0 0 1 2 】

そこで本発明の目的は、上記課題を解決し、高周波領域において電磁ノイズの発生量が少なく、かつ良好な信号伝送特性を持つシールド付き伝送線路及び同軸ケーブルを、低コストに提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

【 0 0 1 4 】

本発明では上記の課題を解決するために、請求項 1 の発明は、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた二本以上の導体線と、前記導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体と、前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするためのシールド導体によって構成されるシールド付き伝送線路において、前記シールド導体を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【 0 0 1 5 】

請求項 2 の発明は、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた一本以上の導体線と、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するとともに前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするための一本以上のシールド導体線と、前記導体線と前記シールド導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体によって構成されるシールド付き伝送線路において、前記シールド導体線を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体線の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【 0 0 1 6 】

請求項 3 の発明は、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた二本以上の導体線と、前記導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体と、前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするためのシールド導体によって構成されるシールド付き伝送線路において、前記シールド導体を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記シールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 λ_{min} における表皮深さ

(λ_{min}) よりも大きくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【 0 0 1 7 】

請求項 4 の発明は、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するために設けられた一本以上の導体線と、伝送線路の入力側と出力側を電気的に接続するとともに前記導体線から発生する不要電磁界をシールドするための一本以上のシールド導体線と、前記導体線と前記シールド導体線を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体によって構成されるシールド付き伝送線路において、前記シールド導体線を導電率が異なる二種類以上の導体材料によって構成し、かつ、前記シールド導体線の前記導体線に近い側に低損失導体材料、前記導体線から遠い側に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記シールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値 λ_{min} における表皮深さ (λ_{min}) よりも大きくしたことを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【 0 0 1 8 】

請求項5の発明は、請求項3に記載のシールド付き伝送線路において、前記導体線が2本であると共に、前記シールド導体が前記2本の導体線を覆い、シールド付きペアケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【0019】

請求項6の発明は、請求項4に記載のシールド付き伝送線路において、前記導体線が1本であると共に前記シールド導体線が外部導体として前記導体線を覆い、同軸ケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【0020】

請求項7の発明は、請求項3に記載のシールド付き伝送線路において、前記シールド導体がストリップ線路のグランド配線として使用され、プリント配線基板を構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【0021】

請求項8の発明は、請求項4に記載のシールド付き伝送線路において、前記シールド導体線がマイクロストリップ線路のグランド配線または電源配線として使用され、プリント配線基板を構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【0022】

請求項9の発明は、請求項3に記載のシールド付き伝送線路において、前記シールド導体が前記絶縁体を覆うシールド層として使用され、フレキシブルフラットケーブルを構成していることを特徴とするシールド付き伝送線路である。

【0023】

請求項10の発明は、外部導体を複数の導体線を撲り合わせた撲り線層によって構成した同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二層以上の撲り線層によって構成し、かつ、前記撲り線層の内側の層を低損失導体材料、外側の層を高損失導体材料によって構成し、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みを、前記低損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みよりも小さくしたことを特徴とする同軸ケーブルである。

【0024】

請求項11の発明は、外部導体を複数の導体線を撲り合わせた撲り線層によって構成した同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二層以上の撲り線層によって構成し、かつ、前記撲り線層の内側の層を低損失導体材料、外側の層を高損失導体材料によって構成し、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みを、前記低損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料によって構成した撲り線層の厚みを、前記同軸ケーブルからの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値_{min}における表皮深さ(λ_{min})よりも大きくしたことを特徴とする同軸ケーブルである。

【0025】

請求項12の発明は、内部導体を構成する一本の導体線と、外部導体を構成する一本の中空導体線と、内部導体と外部導体を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体からなるセミリジッド同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二種類以上の導体材料によって構成し、かつ前記外部導体の内側表面に低損失導体材料、外側表面に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくしたことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブルである。

【0026】

請求項13の発明は、内部導体を構成する一本の導体線と、外部導体を構成する一本の中空導体線と、内部導体と外部導体を保持し互いに電気的に絶縁するための絶縁体からなるセミリジッド同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を二種類以上の導体材料によって構成し、かつ前記外部導体の内側表面に低損失導体材料、外側表面に高損失導体材料を配置し、かつ、前記高損失導体材料の厚みを前記低損失材料の厚みよりも小さくし、かつ、前記高損失導体材料の厚みを、前記セミリジッド同軸ケーブルからの不要電磁界の発生を抑制したい周波数領域の下限値_{min}における表皮深さ(λ_{min})よりも大きくしたことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブルである。

【0027】

請求項14の発明は、請求項13に記載のセミリジッド同軸ケーブルにおいて、前記外部導体を、低損失導体材料からなる中空導体線の外側表面に高損失導体材料をメッキすることによって形成したことを特徴とするセミリジッド同軸ケーブルである。

【発明の効果】

【0028】

本発明によれば、高周波領域において電磁ノイズの発生量が少なく、かつ良好な信号伝送特性を持つシールド付き伝送線路を、低成本で実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

まず本発明の原理について以下に詳述する。

本発明では、シールド導体を流れる不要電流の高周波成分がシールド導体表面の薄い表面層に集中し、かつ、上述の不要電流の高周波成分が、伝送線路から遠い側のシールド導体表面に集中して流れるという事実に着目した。すなわち、本発明は、上述の不要電流の高周波成分を減衰させるために、シールド導体の伝送線路から遠い側の表面に、高周波電流層の厚さ、すなわち表皮深さ (δ) よりも厚い高損失導体層を設けたことを特徴としている。ここで、周波数 ν における表皮深さ (δ) は、周知のように、導体材料の透磁率 μ と導電率 σ を用いて次の式(1)によって与えられる。

【数1】

$$\delta(\nu) = \sqrt{\frac{1}{\pi\nu\mu\sigma}} \quad \cdots \text{式(1)}$$

【0030】

以下、図面を参照して本発明の作用を詳細に説明する。なお、全ての図において同一の機能を有するものには同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0031】

まず、シールド層を持たない伝送線路からの不要電磁界の発生機構を図1に示す。一般に、電気信号を送信側回路1から受信側回路3に伝送するためには、伝送線路2を介して送信側回路1と受信側回路3を接続する必要がある。伝送線路2を構成する導線21は、送信側回路1の信号源11と受信側回路3の負荷31を接続し、その結果として、受信側回路3の負荷31を流れる電流または負荷31の両端に現れる電圧が受信信号として検出される。この際、導線21を流れる電流は電磁気学の法則にしたがって電磁界22を発生し、それが伝送線路の外部において不要電磁界として観測される。

【0032】

次に、シールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生機構を図2(a)に示す。一般に、シールド付き伝送線路のシールド層は、伝送線路を構成する導線21をシールド導体23によって部分的または完全に覆うことによって、導線21に流れる電流から発生する電磁界22を、シールド導体23の近傍または内部に閉じ込める役割を果たす。

【0033】

しかし、図2(b)にその一例を示す従来技術によるシールド付き伝送線路においては、シールド導体23を送信側回路1および受信側回路3に電気的に接続した際に、信号伝送とは直接関係がない不要電流25がシールド導体23を流れることができるために、シールド導体を設けることによって新たな不要電磁界26が発生してしまうという問題がある。

【0034】

この際、高周波においては電流の流れる経路が導体表面の表皮深さ (δ) の領域に限定されるという事実と、高周波電流はインピーダンスを最小にする経路を流れるという一般法則を用いると、上述の不要電磁界26は、シールド導体23の伝送線路から遠い側の表面を流れることが分かる。また、流れる不要電流25の大きさは、(i)送信側回路と受信

側回路の設計、(ii)シールド導体と送信側回路および受信側回路の接続方法、(iii)シールド層の電気抵抗、が決まるとほぼ決まってしまうので、従来技術によるシールド付き伝送線路では、シールド上を流れる不要電流25による不要電磁界26の発生を抑制することは困難である。

【0035】

これに対して、図2(c)にその一例を示す本発明のシールド付き伝送線路では、シールド導体の、伝送線路を構成する導線から遠い側の表面に、不要電流25の高周波成分を減衰させるための高損失導体層41を設けて、高周波領域における不要電磁界26の発生を抑制した。本発明の目的は、不要電流25の高周波成分を減衰させることにあるので、高損失導体層41の厚みは、不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値を ω_{min} として、周波数 ω_{min} における表皮深さ(ω_{min})よりも大きくとれば十分である。代表的な金属に対する表皮深さ(ω_{min})の値は、周知のように $\omega_{min} = 1\text{ GHz}$ において数 μm 以下なので、高損失導体層41の厚みは、通常のケーブルやプリント基板のシールド層の厚みに比べて十分に薄い。

【0036】

次に、図2の場合とは異なるタイプのシールド付き伝送線路からの不要電磁界の発生機構を、図3(a)に示す。図3(a)の伝送線路では、伝送線路を構成する一部の導線の役割をシールド導体線24が兼ねている。同軸ケーブルやプリント配線基板のストリップ線路は、このタイプのシールド付き伝送線路に分類できる。図3(a)のシールド付き伝送線路では、信号源11から出力される電流が導線21を通って受信側回路に達した後、シールド導体線24を通って送信側回路に戻る。この際に導線21を流れる往路電流の総和とシールド導体線24を流れる帰路電流の総和が等しければ、シールド導体線24の外部には通常の使用において問題となるような大きさの放射電磁界は生じない。

【0037】

ところが、図3(b)に示す従来技術によるシールド付き伝送線路では、図3(a)においてシールド導体線24を送信側回路1および受信側回路3に接続した際に、シールド導体線24に、信号電流以外の、信号伝送とは直接関係がない不要電流25が流れることが可能であり、それによって新たな不要電磁界26が発生する場合がある。この不要電流25は、上述の図2の場合と同じ理由によって、シールド導体線24の伝送線路から遠い側の表面を流れ、かつ従来の技術においては不要電流25から発生する不要電磁界26の量を減らすことは難しい。

【0038】

これに対し、図3(c)にその一例を示す本発明のシールド付き伝送線路では、シールド導体の伝送線路を構成する導線から遠い側の表面に、不要電流25の高周波成分を減衰させるための高損失導体層41を設けて、高周波領域における不要電磁界26の発生を抑制した。本発明は、不要電流25の高周波成分を減衰させることを目的としているので、高損失導体層41の厚みは、不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値を ω_{min} として、周波数 ω_{min} における表皮深さ(ω_{min})よりも大きくとれば十分である。

【0039】

なお、以上に示した図面と説明は、あくまで代表的な場合について本発明の作用を例示したものであって、本発明の適用範囲を限定するものではない。

【0040】

以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳細に説明する。

【0041】

[第一の実施の形態]

本発明の第一の実施例を図5(a)に示す。図5(a)は本発明の一例として構成したシールド付きペアケーブルの断面図である。また、図4(a)は、図5(a)との比較対象になる従来技術によるシールド付きペアケーブルの断面図である。

【0042】

図4(a)の従来技術によるシールド付きペアケーブルにおいて、101は周囲の媒質、

102はシールド導体、103は誘電体、106と107は本来目的とする信号伝送を行うための信号導体を表す。

【0043】

図4(b)は、従来技術のシールド付きペアケーブルについて、直流付近の周波数における、導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流123は、「直流電流は電気抵抗を最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、信号導体106と107の断面をほぼ均一に流れる。電流121は、信号電流123が流れることによってシールド導体内に誘起される電流であって、電流122は、主に送信側電子回路の内部や送信側電子回路とシールド導体の接続部で生じる不要電流を表している。シールド層の信号電流によって誘起された電流121は、ペアケーブルの奇モードの電界の空間分布に対応して角度方向には不均一な分布を持つが、直流付近の周波数においては表皮深さが大きいため、半径方向にはシールド導体の内側表面からシールド導体の内部に深く侵入しうる。また、不要電流122も、直流付近の周波数においては導体内部に深く侵入する。このため、直流付近の周波数においては、シールド導体を上述の誘起電流121と不要電流122が空間的に重なり合った形で流れることになる。

【0044】

図4(c)は、従来技術のシールド付きペアケーブルについて、高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流143は、表皮効果と近接効果のために信号導体106と107の対抗する面に集中する。また、シールド導体内部の電流は、式(1)の表皮効果のために、シールド導体表面の表皮深さ(mm)程度の厚みの領域に集中する。信号電流によってシールド導体内部に誘起される電流141は、ペアケーブルの奇モードの電界に対応して角度方向には不均一な空間分布を持ち、かつ信号導体上の電荷分布が作る電界を遮蔽するようにシールド導体の内側表面に集中する。一方、不要電流142は「高周波電流はインピーダンスを最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、シールド導体の外側表面に集中する。

【0045】

図5(a)は、本発明の一実施例として構成したシールド付きペアケーブルの断面図であって、104は高損失導体層、105は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層104を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、シールド層からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。

【0046】

図5(a)において、低損失導体層105の材料としては、例えば、通常信号導体やシールド導体として用いられる銅、銀、アルミ、金などの導電率の大きい金属や、それらの合金、またはそれらの金属を層状構造にしたものを用いても良い。また、高損失導体層104の材料としては、低損失導体層105に比べて導電率が小さい材料を用いることが可能であり、例えば、スズ、ニッケル、クロム、鉄、ビスマス、チタン、カーボンなどの金属や半金属、導電性ポリマー、導電率の大きい半導体材料、はんだ合金、ステンレス、炭素鋼、フェライト、およびそれらの材料を層状構造にしたものなどを用いてもよい。

【0047】

高損失導体層104と低損失導体層105からなる層状構造の構成手段としては、低損失導体からなる一本の円筒導体の表面に高損失導体材料をメッキしても良いし、低損失導体からなる一本の円筒導体の表面に高損失導体材料を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層を形成しても良いし、低損失導体を材料とする一本の円筒導体の表面に高損失導体を材料とする金属箔を巻き付けても良いし、低損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層を形成しても良いし、低損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層の外側に高損失導体をメッキしても良いし、低損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層の外側に高損失導体を材料とする金属箔を巻き付けても良い。

【0048】

また、信号導体 106、107 は、一本の導体円柱や導体円筒によって構成しても良いし、可とう性を持たせるために複数の導体円柱や導体円筒からなる撲り線構造によって構成しても良い。図 5(a)では信号導体の数を二本としているが、本発明の要点はシールド導体の構造にあるので、信号導体の数は二本以上であっても良い。さらに、図 5(a)の断面図に対応する長手方向の構造は、一様でもよく、また信号導体の配置にねじりを加えた所謂ツイストペア構造であっても良い。

【0049】

以下、本実施例のシールド付きペアケーブルの機能を、直流付近に近い周波数と、高周波領域に分けて詳しく説明する。図 5(b)は、本発明のシールド付きペアケーブルの、直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものである。シールド導体には、信号電流に伴って誘起される電流 121 と不要電流 122 が流れているので、高損失導体層 104 を設けると両者が影響を受けることになる。しかし、直流付近の周波数においては、どちらの電流もシールド導体の内部に深く侵入しているので、高損失導体層の断面積を H 、低損失導体層の断面積を L とすると、高損失導体層 104 を設けたことによる直流抵抗の変化はおよそ $(H + L)/L$ 倍になる。ここで、不要電磁界を抑制したい周波数が十分高い周波領域にある場合には、対応する表皮厚さが小さいので、シールド導体厚を適切に設定することによって $(H + L)/L$ を、個々の応用の目的から見て十分に近い値にすることが可能である。したがって、直流付近の周波数においては、高損失導体層 104 を設けたことによる、信号電流に伴って誘起される電流 121 と不要電流 122 への影響は十分に小さくすることができる。

【0050】

一方、図 5(c)は、本発明のシールド付きペアケーブルの、高い周波数、すなわち不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値 ω_{min} における、導体内部の電流分布を図示したものである。高周波においては、信号電流に伴って誘起される電流 141 がシールド導体の内側表面に集中するため、高損失導体層 104 の厚みが低損失導体層 105 の厚みよりも小さければ、高損失導体層 104 を設けたことによる、誘起電流 141 への影響は存在しない。

【0051】

また、高周波においては、不要電流はシールド導体の外側表面の電流経路 144 を流れるほかないが、電流経路 144 が高損失導体層 104 によって形成されているために、不要電流は伝送方向に急速に減衰してしまい、実際にはほとんど流れることができない。高損失導体層 104 の電気抵抗率を H 、低損失導体層 105 の電気抵抗率を L とすると、高損失導体層 104 を設けた場合の不要電流の高周波成分の減衰率は、高損失導体層がない場合のおよそ H/L 倍になる。 $H/L > 1$ であるような材料の組合せを用いれば、高損失導体層を設けた部分(電流経路 144)を流れる電流は十分な距離を伝播した後では十分に小さくなるので、本発明の構造によって、不要電磁界の原因になる不要電流の高周波成分を選択的に除去することができる。なお、以上はあくまで本発明の一実施例を示したものであり、本発明の有効範囲を限定するものではない。

【0052】

[第二の実施の形態]

本発明の第二の実施例の断面図を図 7(a)に示す。図 7(a)は本発明の一例として構成した同軸ケーブルの断面図である。また、図 6(a)は図 7(a)と比較される従来技術による同軸ケーブルの断面図である。

【0053】

従来技術による同軸ケーブルを示した図 6(a)において、201 は周囲の媒質、202 は外部導体、203 は誘電体、206 は内部導体である。同軸ケーブルにおいては、信号電流が内部導体と外部導体を流れると同時に、外部導体はシールド導体としての役割も兼ねる。

【0054】

図 6(b)は、従来技術の同軸ケーブルについて、直流付近の周波数における、導体内部

の電流分布を図示したものである。信号電流 223 は、「直流電流は電気抵抗を最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、内部導体 206 の断面をほぼ均一に流れる。電流 221 は外部導体を流れる信号電流であって、内部導体を流れる往路電流に対する帰路電流である。

【0055】

また、電流 222 は、主に送信側電子回路の内部や送信側電子回路と外部導体の接続部で生じる不要電流を表している。外部導体を流れる信号電流 221 は、「直流電流は電気抵抗を最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、外部導体の内部をほぼ均一に流れる。また、不要電流 222 も、直流付近の周波数においては外部導体の内部に深く侵入している。このため、直流付近の周波数においては、外部導体を、上述の信号電流 221 と不要電流 222 が空間的に重なり合った形で流れることになる。信号電流 221 と不要電流 222 は、それぞれ、同軸ケーブルのノーマルモード電流とコモンモード電流と呼ばれることがある。

【0056】

図 6(c) は、従来技術の同軸ケーブルについて、高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。内部導体の信号電流 243 は、表皮効果のために内部導体 206 の表面に集中する。また、外部導体内部の電流も、表皮効果のために外部導体表面の表皮深さ (λ_{min}) 程度の厚みの領域に集中する。外部導体を流れる信号電流 241 は、内部導体の信号電流 243 と電気的に結合しているため、外部導体の内側表面に集中する。一方、不要電流 242 は「高周波電流はインピーダンスを最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、外部導体の外側表面に集中する。

【0057】

図 7(a) は、本発明の一実施例として構成した同軸ケーブルの断面図であって、204 は高損失導体層、205 は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層 204 を設けたことによって、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、外部導体からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。

【0058】

図 7(a)において、低損失導体層 205 の材料としては、例えば、通常信号導体や外部導体として用いられる銅、銀、アルミ、金などの導電率の大きい金属や、それらの合金、またはそれらの金属を層状構造にしたもの用いても良い。また、高損失導体層 204 の材料としては、低損失導体層 205 に比べて導電率が小さい材料を用いることが可能であり、例えば、スズ、ニッケル、クロム、鉄、ビスマス、チタン、カーボンなどの金属や半金属、導電性ポリマー、導電率の大きい半導体材料、はんだ合金、ステンレス、炭素鋼、フェライト、およびそれらの材料を層状構造にしたものなどを用いてもよい。

【0059】

高損失導体層 204 と低損失導体層 205 からなる層状構造の構成手段としては、低損失導体からなる一本の円筒導体の表面に高損失導体材料をメッキしても良いし、低損失導体からなる一本の円筒導体の表面に高損失導体材料を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層を形成しても良いし、低損失導体を材料とする一本の円筒導体の表面に高損失導体を材料とする金属箔を巻き付けても良いし、低損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層の外側に、高損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層を形成しても良いし、低損失導体を材料とする複数の円柱導体からなる撲り線層の外側に、高損失導体を材料とする金属箔を巻き付けても良い。

【0060】

また、内部導体 206 は、一本の導体円柱や導体円筒によって構成しても良いし、可とう性を持たせるために複数の導体円柱や導体円筒からなる撲り線構造によって構成しても良い。図 7(a)では信号導体の数を一本としているが、本発明の要点は外部導体の構造にあるので、信号電流の往路導体になる内部導体の数は、一本以上であっても良い。

【0061】

さらに、図7(a)の断面図に対応する長手方向の構造は、一様でもよく、また信号導体の配置にねじりを加えた所謂ツイストペア構造であっても良い。

【0062】

以下、本実施例の同軸ケーブルの機能を、直流付近に近い周波数と、高周波領域に分けて詳しく説明する。

【0063】

図7(b)は、本発明の同軸ケーブルの、直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものである。外部導体には、信号電流221と不要電流222が流れているので、高損失導体層204を設けると両者が影響を受けることになる。しかし、直流付近の周波数においては、どちらの電流も外部導体の内部に深く侵入しているので、高損失導体層と低損失導体層の断面積を H および L とすると、高損失導体層204を設けたことによる直流抵抗の変化はおよそ $(H+L)/L$ 倍になる。ここで、不要電磁界を抑制したい周波数が十分高い周波領域にある場合には、対応する表皮厚さが小さいので、外部導体の厚さを適切に設定することによって $(H+L)/L$ を、個々の応用の目的から見て十分1に近い値にすることが可能である。したがって、直流付近の周波数においては、高損失導体層204を設けたことによる、信号電流221と不要電流222への影響は十分に小さくすることができる。

【0064】

一方、図7(c)は、本発明の同軸ケーブルの、高い周波数、すなわち不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値 ω_{min} における、導体内部の電流分布を図示したものである。

【0065】

高周波においては、外部導体を流れる信号電流241が外部導体の内側表面に集中するため、高損失導体層204の厚みが低損失導体層205の厚みよりも小さければ、高損失導体層204を設けたことによる、信号電流241への影響は存在しない。また、高周波においては、不要電流は外部導体の外側表面の電流経路244を流れるほかないが、電流経路244が高損失導体層204によって形成されているので、不要電流は伝送方向に急速に減衰してしまい、実際にはほとんど流れることができない。

【0066】

高損失導体層204と低損失導体層205の電気抵抗率を H および L とすると、高損失導体層204を設けた場合の不要電流の高周波成分の減衰率は、高損失導体層がない場合のおよそ H/L 倍になる。 $H/L \approx 1$ であるような材料の組合せを用いれば、外部導体の外側表面の電流経路244を流れる不要電流は、十分な距離を伝播した後では十分に小さくなるので、本発明の構造によって、不要電磁界の原因になる不要電流の高周波成分を選択的に除去することができる。なお、以上はあくまで本発明の一実施例を示したものであり、本発明の有効範囲を限定するものではない。

【0067】

[第三の実施の形態]

本発明の第三の実施例の断面図を図9(a)に示す。図9(a)は本発明の一例として、プリント配線基板上に差動ストリップ線路を構成したものの断面図である。また、図8(a)は図9(a)と比較される、従来技術によるプリント配線基板の断面図である。

【0068】

従来技術によるプリント配線基板を示した図8(a)において、301は周囲の媒質、302はレジスト、303はグランド導体、306は誘電体、311と312は信号導体、313は周囲にある信号導体以外の配線パターンである。プリント配線基板上の差動ストリップ線路においては、信号導体311、312に近接して配置されたグランド導体が、下方への不要電磁界の漏出を防ぎ、さらに信号導体と逆符号の電磁界を発生して不要電磁界を弱めるためのシールド層として機能する。

【0069】

図 8(b)は、従来技術のプリント配線基板について、直流付近の周波数における、導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流 3 2 3 は、「直流電流は電気抵抗を最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、信号導体 3 1 1 と 3 1 2 の断面をほぼ均一に流れる。電流 3 2 1 は、差動ストリップ線路の信号導体 3 1 1 と 3 1 2 に信号電流 3 2 3 が流れることによってグランド導体内に誘起される電流であって、電流 3 2 2 は、主に送信側電子回路の内部や電子回路とプリント配線基板の接続部で生じる不要電流を表している。グランド導体内の誘起電流 3 2 1 は、差動ストリップ線路の電界分布に対応して、信号電流 3 2 3 のペア内の位相関係に依存した横方向に不均一な分布を持つが、直流付近の周波数においては表皮深さが大きいので、深さ方向にはグランド導体内部に深く侵入しうる。また、不要電流 3 2 2 も、直流付近の周波数においてはグランド導体内部に深く侵入する。このため、直流付近の周波数においては、グランド導体内部を、上述の誘起電流 3 2 1 と不要電流 3 2 2 が空間的に重なり合った形で流れることになる。

【 0 0 7 0 】

図 8(c)は、従来技術のプリント配線基板の、高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流 3 4 3 は、表皮効果と近接効果によって信号導体 3 1 1 と 3 1 2 の下側表面、中でもコーナー部分に集中する。また、グランド導体を流れる二種類の電流も、表皮効果のためにグランド導体表面の表皮深さ (λ_{min}) 程度の厚みの領域に集中する。二種類の電流のうち、信号電流によって誘起される電流 3 4 1 は、差動ストリップ線路の電界分布に応じた横方向に不均一な空間分布を持ち、かつ信号導体上の電荷分布が作る電界を遮蔽するように、グランド導体 3 0 3 の信号導体 3 1 1 、 3 1 2 に近い側の表面に集中する。一方、不要電流 3 4 2 は「高周波電流はインピーダンスを最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、グランド導体 3 0 3 の、信号導体 3 1 1 、 3 1 2 から遠い側の表面に集中する。

【 0 0 7 1 】

図 9(a)は、本発明の一実施例として構成したプリント配線基板上の差動ストリップ線路の断面図であって、3 0 4 は高損失導体層、3 0 5 は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れている部分に高損失導体層 3 0 4 を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、グランド導体からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。

【 0 0 7 2 】

図 9(a)において、低損失導体層 3 0 5 の材料としては、例えば、通常導体材料として用いられる銅に加え、銀、アルミ、金などの導電率の大きい金属や、それらの合金、またはこれらの金属を層状構造にしたものを用いても良い。また、高損失導体層 3 0 4 の材料としては、低損失導体層 3 0 5 に比べて導電率が小さい材料を用いることが可能であり、例えば、スズ、ニッケル、クロム、鉄、ビスマス、チタン、カーボンなどの金属や半金属、導電性ポリマー、導電率の大きい半導体材料、はんだ合金、ステンレス、炭素鋼、フェライト、およびそれらの材料を層状構造にしたものなどを用いてもよい。誘電体 3 0 6 の材料としては、通常のリジッドプリント配線基板やフレキシブルプリント配線基板に用いられている材料をそのまま用いることができる。例を挙げれば、ガラスエポキシ樹脂、テフロン(登録商標)、アルミナ、サファイア、ポリイミド、液晶ポリマーなどである。また、レジスト 3 0 2 は無くても良い。

【 0 0 7 3 】

高損失導体層 3 0 4 と低損失導体層 3 0 5 からなる層状構造の構成手段としては、低損失導体の表面に高損失導体材料をメッキしても良い。また、図 9(a)では差動ストリップ線路の例を示したが、本発明の要点はグランド導体の構造にあるので、信号配線は差動ストリップ線路以外の線路であっても良く、例えば導体配列は所謂 G S S G 配列などのより複雑なものであって良く、線路構造もストリップ線路以外のコプレーナー線路などであっても良い。また、図 9(a)では一層の信号層と一層のグランド層からなる二層プリント配線基板の例を示したが、多層プリント配線基板でも、信号配線層と隣接するグランド配線層の、信号配線層から遠い側の表面に高損失導体層を設ければ本発明の効果がえられるこ

とは明白である。

【0074】

以下、本実施例のプリント配線基板の機能を、直流付近に近い周波数と、高周波領域に分けて詳しく説明する。

【0075】

図9(b)は、本発明のプリント配線基板の、直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものである。グランド導体には、信号電流に伴って誘起される電流321と不要電流322が流れているので、高損失導体層304を設けると両者が影響を受けることになる。しかし、直流付近の周波数においては、どちらの電流もグランド導体の内部に深く侵入しているので、高損失導体層の断面積を H 、低損失導体層の断面積 L とすると、高損失導体層304を設けたことによる直流抵抗の変化はおよそ $(H+L)/L$ 倍となる。ここで、不要電磁界を抑制したい周波数が十分高い周波領域にある場合には、対応する表皮厚さが小さいので、グランド導体厚を適切に設定することによって $(H+L)/L$ を、個々の応用の目的から見て十分1に近い値にすることが可能である。したがって、直流付近の周波数においては、高損失導体層304を設けたことによる、信号電流に伴って誘起される電流321と不要電流322への影響は十分に小さくすることができる。

【0076】

一方、図9(c)は、本発明のプリント配線基板の、高い周波数、すなわち不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値 ω_{min} における、導体内部の電流分布を図示したものである。高周波においては、信号電流に伴って誘起される電流341が、グランド導体の、信号導体に近い側の表面に集中するために、高損失導体層304の厚みが低損失導体層305の厚みよりも小さければ、高損失導体層304を設けたことによる、誘起電流341への影響は存在しない。また、高周波においては、不要電流は、グランド導体の信号導体から遠い側の表面(電流経路344)を流れるほかないが、電流経路344が高損失導体層304によって形成されているので、不要電流は伝送方向に急速に減衰してしまい、実際にはほとんど流れることができない。高損失導体層304と低損失導体層305の電気抵抗率を H および L とすると、高損失導体層304を設けた場合の不要電流の高周波成分の減衰率は、高損失導体層がない場合のおよそ H/L 倍になる。 $H/L \approx 1$ であるような材料の組合せを用いれば、高損失導体層を設けた部分(電流経路344)を流れる電流は十分な距離を伝播した後では十分に小さくなるので、本発明の構造によって、不要電磁界の原因になる不要電流の高周波成分を選択的に除去することができる。なお、以上はあくまで本発明の一実施例を示したものであり、本発明の有効範囲を限定するものではない。

【0077】

[第四の実施の形態]

本発明の第四の実施例の断面図を図11(a)に示す。図11(a)は本発明の一例として、プリント配線基板上に差動マイクロストリップ線路を構成したものの断面図である。また、図10(a)は図11(a)と比較される、従来技術によるプリント配線基板の断面図である。

【0078】

従来の技術を示した図10(a)において、301は周囲の媒質、302はレジスト、303はグランド導体、306は誘電体、311と312は信号導体、313は周囲にある信号導体以外の配線パターンである。プリント配線基板上の差動マイクロストリップ線路においては、信号導体311、312の上下に近接して配置されたグランド導体が、不要電磁界の漏出を防ぎ、さらに信号導体と逆符号の電磁界を発生して不要電磁界を弱めるためのシールド層として機能する。

【0079】

図11(a)は、本発明の一実施例として構成したプリント配線基板上の差動ストリップ線路の断面図であって、304は高損失導体層、305は低損失導体層を表している。本

実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層304を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、シールド層からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。図11(a)の構成材料の例、層状構造の構成手段の例、構造変形例などは、実施例三の場合と同様である。本実施例は実施例三と類似しているので、機能などの詳細の説明は省略する。

【0080】

[第五の実施の形態]

本発明の第五の実施例の断面図を図13(a)に示す。図13(a)は本発明の一例として、プリント配線基板上にストリップ線路を構成したものの断面図である。また、図12(a)は図13(a)と比較される、従来技術によるプリント配線基板の断面図である。

【0081】

従来技術によるプリント配線基板を示した図12(a)において、401は周囲の媒質、402はレジスト、403はグランド導体、406は誘電体、411は信号導体、413は周囲にある信号導体以外の配線パターンである。プリント配線基板上のストリップ線路においては、信号導体411に近接して配置されたグランド導体が、信号導体を流れる往路電流に対応した帰路電流を流すとともに、下方への不要電磁界の漏出を防ぎ、さらに信号導体と逆符号の電磁界を発生して不要電磁界を弱めるためのシールド層としての機能を持つ。

【0082】

図12(b)は、従来技術のプリント配線基板について、直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流423は、「直流電流は電気抵抗を最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、信号導体411の断面をほぼ均一に流れる。電流421は、グランド導体を流れるリターン電流であって、電流422は、主に送信側電子回路の内部や電子回路とプリント配線基板の接続部で生じる不要電流を表している。グランド導体を流れるリターン電流421は、横方向に不均一な分布を持つが、直流付近の周波数においては表皮深さが大きいので深さ方向にはグランド導体内部に深く侵入している。また、不要電流422も、直流付近の周波数においてはグランド導体内部に深く侵入する。このため、直流付近の周波数においては、グランド導体内部を、リターン電流421と不要電流422が空間的に重なり合った形で流れることになる。

【0083】

図12(c)は、従来技術のプリント配線基板の、高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。信号電流443は、表皮効果によって信号導体411の下側表面、中でもコーナー部分に集中する。また、グランド導体を流れる二種類の電流も、表皮効果のためにグランド導体表面の表皮深さ(min)程度の厚みの領域に集中する。二種類の電流のうち、リターン電流441は、信号導体上の電荷分布が作る電界を遮蔽するよう、グランド導体403の信号導体411に近い側の表面に集中する。一方、不要電流442は「高周波電流はインピーダンスを最小にする経路を流れる」という一般法則にしたがって、グランド導体403の、信号導体411から遠い側の表面に集中する。

【0084】

図13(a)は、本発明の一実施例として構成したプリント配線基板上のストリップ線路の断面図であって、404は高損失導体層、405は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層404を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、グランド導体からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。

【0085】

図13(a)において、低損失導体層405の材料としては、例えば、通常導体材料として用いられる銅に加え、銀、アルミ、金などの導電率の大きい金属や、それらの合金、またはこれらの金属を層状構造にしたものを用いても良い。また、高損失導体層404の材料としては、低損失導体層405に比べて導電率が小さい材料を用いることが可能であり、例えば、スズ、ニッケル、クロム、鉄、ビスマス、チタン、カーボンなどの金属や半金

属、導電性ポリマー、導電率の大きい半導体材料、はんだ合金、ステンレス、炭素鋼、フェライト、およびそれらの材料を層状構造にしたものなどを用いてもよい。誘電体406の材料としては、通常のリジッドプリント配線基板やフレキシブルプリント配線基板に用いられている材料をそのまま用いることができる。例を挙げれば、ガラスエポキシ樹脂、テフロン（登録商標）、アルミナ、サファイア、ポリイミド、液晶ポリマーなどである。また、レジスト402は無くても良い。

【0086】

高損失導体層404と低損失導体層405からなる層状構造の構成手段としては、低損失導体の表面に高損失導体材料をメッキしても良い。また、図13(a)ではストリップ線路の例を示したが、本発明の要点はグランド導体の構造にあるので、信号配線はストリップ線路以外の線路であっても良い。

【0087】

また、図13(a)では一層の信号層と一層のグランド層からなる二層プリント配線基板の例を示したが、多層プリント配線基板でも、信号配線層と隣接するグランド配線層の、信号配線層から遠い側の表面に高損失導体層を設ければ本発明の効果がえられることは明白である。また、グランド層ではなく、信号配線層と隣接する電源層の信号配線層から遠い側の表面に高損失導体層を設けることによっても本発明で述べられている効果をえることができる。

【0088】

以下、本実施例のプリント配線基板の機能を、直流付近に近い周波数と、高周波領域に分けて詳しく説明する。図13(b)は、本発明のプリント配線基板の、直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものである。グランド導体には、リターン電流421と不要電流422が流れているので、高損失導体層404を設けると両者が影響を受けることになる。しかし、直流付近の周波数においては、どちらの電流もグランド導体の内部に深く侵入しているので、高損失導体層と低損失導体層の断面積を_Hおよび_Lとすると、高損失導体層404を設けたことによる直流抵抗の変化はおよそ(_H+_L)/_L倍となる。ここで、不要電磁界を抑制したい周波数が十分高い周波領域にある場合には、対応する表皮厚さが小さいので、グランド導体厚を適切に設定することによって(_H+_L)/_Lを、個々の応用の目的から見て十分1に近い値にすることが可能である。したがって、直流付近の周波数においては、高損失導体層404を設けたことによる、リターン電流421と不要電流422への影響は十分に小さくすることができる。

【0089】

一方、図13(c)は、本発明のプリント配線基板の、高い周波数、すなわち不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限値_{min}における、導体内部の電流分布を図示したものである。高周波においては、リターン電流441が、グランド導体の、信号導体に近い側の表面に集中するために、高損失導体層404の厚みが低損失導体層405の厚みよりも小さければ、高損失導体層404を設けたことによるリターン電流341への影響は存在しない。また、高周波においては、不要電流は、グランド導体の信号導体から遠い側の表面444を流れるほかないが、電流経路444が高損失導体層404によって形成されているので、不要電流は伝送方向に急速に減衰してしまい、実際にはほとんど流れることができない。

【0090】

高損失導体層404と低損失導体層405の電気抵抗率を_Hおよび_Lとすると、高損失導体層404を設けた場合の不要電流の高周波成分の減衰率は、高損失導体層がない場合のおよそ_H/_L倍になる。_H/_L>1であるような材料の組合せを用いれば、高損失導体層を設けた部分444を流れる電流は十分な距離を伝播した後では十分に小さくなるので、本発明の構造によって、不要電磁界の原因になる不要電流の高周波成分を選択的に除去することができる。なお、以上はあくまで本発明の一実施例を示したものであり、本発明の有効範囲を限定するものではない。

【0091】

[第六の実施の形態]

本発明の第六の実施例の断面図を図15(a)に示す。図15(a)は本発明の一例として、プリント配線基板にマイクロストリップ線路を構成したものの断面図である。また、図14(a)は図15(a)と比較される、従来技術によるプリント配線基板の断面図である。

【0092】

従来の技術を示した図14(a)において、401は周囲の媒質、402はレジスト、403はグランド導体、406は誘電体、411は信号導体、413は周囲にある信号導体以外の配線パターンである。プリント配線基板上のマイクロストリップ線路においては、信号導体411の上下に近接して配置されたグランド導体403が、不要電磁界の漏出を防ぎ、さらに信号導体と逆符号の電磁界を発生して不要電磁界を弱めるためのシールド層として機能する。

【0093】

図15(a)は、本発明の一実施例として構成したプリント配線基板上のストリップ線路の断面図であって、404は高損失導体層、405は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層404を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、シールド層からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。図15(a)の構成材料の例、層状構造の構成手段の例、構造変形例などは、実施例5の場合と同様である。本実施例は実施例5と類似しているので、機能などの詳細の説明は省略する。

【0094】

[第七の実施の形態]

本発明の第七の実施例の断面図を図17(a)に示す。図17(a)は本発明の一例として構成したシールド付きフレキシブルフラットケーブルの断面図である。また、図16(a)は図17(a)と比較される、従来技術によるシールド付きフレキシブルフラットケーブルの断面図である。

【0095】

従来の技術を示した図16(a)において、501は周囲の媒質、503はシールド導体、503は誘電体、511は信号導体、513は周囲にある信号導体以外の配線パターンである。シールド付きフレキシブルフラットケーブルにおいては、信号導体511の上下に近接して配置されたシールド導体502が、不要電磁界の漏出を防ぐためのシールド層として機能する。

【0096】

図17(a)は、本発明の一実施例として構成したシールド付きフレキシブルフラットケーブルの断面図であって、504は高損失導体層、505は低損失導体層を表している。本実施例においては、従来不要電流の高周波成分が流れていた部分に高損失導体層504を設けたことにより、不要電流の高周波成分を効率的に減衰させて、シールド層からの不要電磁界の発生を抑制できるようになった。図17(a)の構成材料の例、層状構造の構成手段の例、構造変形例などは、実施例5の場合と同様である。本実施例は上述した実施例三～実施例六と類似しているので、機能などの詳細の説明は省略する。

【0097】

以上説明した第一～第七の実施形態によれば、高周波成分を含む電気信号が流れる各種のシールド付き伝送線路において、シールド導体を流れる高周波不要電流を効果的に減衰させて除去することができる。またそれによって、伝送特性に顕著な影響を与えることなく、低コストな手段で、伝送線路の部分から発生する高周波不要電磁界の発生量を小さくすることができる。

【0098】

以下に最適条件の根拠について詳述する。シールド付き伝送線路の代表的な例として図18に示す同軸ケーブルについて、シールド導体の役割を果たす外部導体の内部における電流の空間分布を計算した例を図19に示す。計算にあたっては、外部導体の導電率を $5.8 \times 10^6 [S/m]$ 、誘電体の誘電率を2.1とし、外部導体の内側の半径を $A=0.0$

655 mm、外側の半径を $B = 0.0735$ mmとした。通常のごく一般的な伝送線路に對して本発明の手法が有効であることは上記の記載からすでに明らかなので、パラメータの選定にあたっては、極端な場合として極細同軸ケーブルの値を用いた。

【0099】

図19(a)は、周波数が50 Hzの場合における外部導体(シールド導体)内部の電流分布である。この場合には、周波数が低く、表皮深さが大きいために、シールド導体の内部において信号電流と不要電流は空間的に分離していない。

【0100】

一方、図19(b)は、周波数が10 GHzの場合における外部導体(シールド導体)内部の電流分布である。この場合には、周波数が大きいため、極細同軸ケーブルのような極端に外部導体(シールド導体)が薄い伝送線路に対しても、信号電流と不要電流が明確に空間的に分離する。図19(b)において、内部導体(信号導体)に近い側に集中しているのが信号電流であり、内部導体(信号導体)から遠い側に集中しているのが不要電流である。10 GHzの場合における表皮深さは約0.7 μmである。なお、ここで外部導体の信号電流および不要電流と書いたものは、慣用においては、同軸ケーブルのノーマルモード電流とコモンモード電流とも呼ばれることがある。

【0101】

本発明の構成において、高損失材料の厚みは広い範囲の値をとることができるが、シールド導体上の不要電流を効率的に減衰させるために、高損失材料の厚みは、不要電磁界の抑制効果をえたい最低周波数における表皮深さよりも大きくする必要がある。また、高損失材料の厚みが低損失材料の厚みよりも大きくなると、低い周波数における電気抵抗などの信号伝送特性に影響が出るため、高損失材料の厚みは低損失材料の厚みよりも小さくするべきである。

【0102】

なお、高周波用の伝送線路において、シールド層を導電率が異なる複数の導体で構成した上述の特許文献1の例があるが、本発明とは解決しようとする課題が異なるため、使用されるパラメータ領域が異なっている。特許文献1では、特許明細書の記述により、所期の効果を得るためにシールド層の99%以上を高損失材料で構成する必要があるが、本発明は、高損失材料がシールド層の50%以下の場合に関するものなので、特許文献1とは対象とするパラメータ領域が異なっている。

【産業上の利用可能性】

【0103】

本発明のシールド付き伝送線路を、高周波成分を含む電気信号が流れるデバイスやシステムに用いると、従来のシールド付き伝送線路を使った場合に比べて不要電磁界の発生量を小さくすることができる。適用システムの例としては、コンピュータ、携帯電話、PDAなどの情報機器に用いられているプリント配線基板および基板間接続ケーブル、テレビ、ビデオカメラなどの映像機器に用いられているプリント配線基板および基板間接続ケーブル、自動車、飛行機や車載機器に用いられているプリント配線基板および基板間接続ケーブル、筐体や建物間の通信に用いられるメタルトランシーバ用ケーブル、医療機器に用いられているプリント配線基板および基板間接続ケーブル、微弱電気信号を出力するセンサーへの入出力ケーブルなどがある。

【0104】

また、本発明のシールド付き伝送線路を使用すると、送信側電子回路や電子回路と伝送線路の接続部分で発生するコモンモード電流を選択的に減衰させることができるので、伝送特性を改良する目的でも使用することができる。この目的では、とくに、無線アンテナへの給電ケーブルや、微弱電気信号を出力するセンサーへの入出力ケーブルに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図1】シールド層を持たない伝送線路からの不要電磁界発生メカニズムについての説明

図である。

【図2】図2(a)は従来技術によるシールド付き伝送線路からの不要電磁界発生メカニズムについての説明図であり、図2(b)は従来技術によるシールド付き伝送線路の横断面図であり、図2(c)は本発明のシールド付き伝送線路の横断面図の一例である。

【図3】図3(a)は従来技術による他のシールド付き伝送線路からの不要電磁界発生メカニズムについての説明図であり、図3(b)は従来技術による他のシールド付き伝送線路の横断面図であり、図3(c)は本発明の他のシールド付き伝送線路の横断面図の一例である。

【図4】図4(a)は従来技術によるシールド付きペアケーブルの横断面図であり、図4(b)は従来技術によるシールド付きペアケーブルの直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図4(c)は従来技術によるシールド付きペアケーブルの高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図5】図5(a)は本発明の第一の実施形態によるシールド付きペアケーブルの横断面図であり、図5(b)は本発明の第一の実施形態によるシールド付きペアケーブルの直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図5(c)は本発明の第一の実施形態によるシールド付きペアケーブルの高周波(ω_{min})における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図6】図6(a)は従来技術による同軸ケーブルの横断面図であり、図6(b)は従来技術による同軸ケーブルの直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図6(c)は従来技術による同軸ケーブルの高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図7】図7(a)は本発明の第二の実施形態による同軸ケーブルの横断面図であり、図7(b)は本発明の第二の実施形態による同軸ケーブルの直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図7(c)は本発明の第二の実施形態による同軸ケーブルの高周波(ω_{min})における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図8】図8(a)は従来技術によるプリント配線基板の横断面図であり、図8(b)は従来技術によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図8(c)は従来技術によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図9】図9(a)は本発明の第三の実施形態によるプリント配線基板の横断面図であり、図9(b)は本発明の第三の実施形態によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図9(c)は本発明の第三の実施形態によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図10】図10(a)は従来技術によるプリント配線基板の横断面図であり、図10(b)は従来技術によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図10(c)は従来技術によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図11】図11(a)は本発明の第四の実施形態によるプリント配線基板の横断面図であり、図11(b)は本発明の第四の実施形態によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図11(c)は本発明の第四の実施形態によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図12】図12(a)は従来技術によるプリント配線基板の横断面図であり、図12(b)は従来技術によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図12(c)は従来技術によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図13】図13(a)は本発明の第五の実施形態によるプリント配線基板の横断面図であり、図13(b)は本発明の第五の実施形態によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図13(c)は本発明の第五の実施形態によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものであ

る。

【図14】図14(a)は従来技術によるプリント配線基板の横断面図であり、図14(b)は従来技術によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図14(c)は従来技術によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図15】図15(a)は本発明の第六の実施形態によるプリント配線基板の横断面図であり、図15(b)は本発明の第六の実施形態によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図15(c)は本発明の第六の実施形態によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図16】図16(a)は従来技術によるプリント配線基板の横断面図であり、図16(b)は従来技術によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図16(c)は従来技術によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図17】図17(a)は本発明の第七の実施形態によるプリント配線基板の横断面図であり、図17(b)は本発明の第七の実施形態によるプリント配線基板の直流付近の周波数における導体内部の電流分布を図示したものであり、図17(c)は本発明の第七の実施形態によるプリント配線基板の高周波における導体内部の電流分布を図示したものである。

【図18】シールド導体上の不要電流の空間分布を計算するための計算モデルとして、従来技術による同軸ケーブルを図示したものである。

【図19】図19(a)は50Hzの電気信号を流した場合のシールド導体上の信号電流と不要電流の空間分布を図示したものであり、図19(b)は1GHzの電気信号を流した場合のシールド導体上の信号電流と不要電流の空間分布を図示したものである。

【符号の説明】

【0106】

1 送信側回路

1 1 信号源

1 2 送信側回路のグランド

1 3 送信側回路における往路電流と帰路電流の位相差

1 4 信号源の接地電圧

2 伝送線路

2 1 伝送線路を構成する導線

2 2 伝送線路を構成する導線から発生する不要電磁界

2 3 シールド導体

2 4 シールド導体線

2 5 シールド導体を流れる不要電流

2 6 シールド導体から発生する不要電磁界

2 7 シールド導体の送信側回路のグランドに対する接地電圧

2 8 シールド導体の受信側回路のグランドに対する接地電圧

2 9 伝送線路を構成する導線の一部(帰路導線)

3 受信側回路

3 1 信号負荷

3 2 受信側回路のグランド

3 3 信号負荷の接地電圧

4 0 送信側回路のグランドと受信側回路のグランドの電位差

4 1 高損失導体層

4 2 低損失導体層

1 0 1 周囲の媒質

1 0 2 シールド導体

1 0 3 誘電体

1 0 4 高損失導体層（シールド導体の一部）

1 0 5 低損失導体層（シールド導体の一部）

1 0 6 信号導体（伝送線路を構成する導体）

1 0 7 信号導体（伝送線路を構成する導体）

1 2 1 信号電流によって誘起されたシールド導体上の電流（直流付近の周波数）

1 2 2 シールド導体上の不要電流（直流付近の周波数）

1 2 3 信号電流（直流付近の周波数）

1 2 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

1 4 1 信号電流によって誘起されたシールド導体上の電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

1 4 2 シールド導体上の不要電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

1 4 3 信号電流（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

1 4 4 シールド導体の外側表面の電流経路

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

2 0 1 周囲の媒質

2 0 2 シールド導体（=外部導体）

2 0 3 誘電体

2 0 4 高損失導体層（シールド導体（=外部導体）の一部）

2 0 5 低損失導体層（シールド導体（=外部導体）の一部）

2 0 6 内部導体（伝送線路を構成する導体）

2 2 1 外部導体を流れる信号電流（直流付近の周波数）

2 2 2 外部導体を流れる不要電流（直流付近の周波数）

2 2 3 信号電流（直流付近の周波数）

2 2 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

2 4 1 外部導体を流れる信号電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

2 4 2 外部導体を流れる不要電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

2 4 3 信号電流（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

2 4 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

3 0 1 周囲の媒質

3 0 2 レジスト

3 0 3 グランド導体

3 0 4 高損失導体層（シールド導体（=グランド導体）の一部）

3 0 5 低損失導体層（シールド導体（=グランド導体）の一部）

3 0 6 誘電体

3 1 1 信号導体（伝送線路を構成する導体）

3 1 2 信号導体（伝送線路を構成する導体）

3 1 3 信号導体以外の周囲の配線パターン

3 2 1 信号電流によって誘起されたグランド導体上の電流（直流付近の周波数）

3 2 2 グランド導体上の不要電流（直流付近の周波数）

3 2 3 信号電流（直流付近の周波数）

3 2 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

3 4 1 信号電流によって誘起されたグランド導体上の電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

3 4 2 グランド導体上の不要電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

3 4 3 信号電流（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 min ）

3 4 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

4 0 1 周囲の媒質

4 0 2 レジスト

4 0 3 グランド導体

4 0 4 高損失導体層（シールド導体（=グランド導体）の一部）

4 0 5 低損失導体層（シールド導体（=グランド導体）の一部）

4 0 6 誘電体

4 1 1 信号導体（伝送線路を構成する導体）

4 1 3 信号導体以外の周囲の配線パターン

4 2 1 グランド導体上のリターン電流（直流付近の周波数）

4 2 2 グランド導体上の不要電流（直流付近の周波数）

4 2 3 信号電流（直流付近の周波数）

4 2 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

4 4 1 グランド導体上のリターン電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

4 4 2 グランド導体上の不要電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

4 4 3 信号電流（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

4 4 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

5 0 1 周囲の媒質

5 0 2 シールド導体

5 0 3 誘電体

5 0 4 高損失導体層（シールド導体の一部）

5 0 5 低損失導体層（シールド導体の一部）

5 1 1 信号導体（伝送線路を構成する導体）

5 1 3 信号導体以外の周囲の配線パターン

5 2 1 シールド導体上のリターン電流（直流付近の周波数）

5 2 2 シールド導体上の不要電流（直流付近の周波数）

5 2 3 信号電流（直流付近の周波数）

5 2 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域

5 4 1 シールド導体上のリターン電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

5 4 2 シールド導体上の不要電流

（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

5 4 3 信号電流（不要電磁界の発生を抑えたい周波数領域の下限周波数 f_{min} ）

5 4 4 高損失導体層を設けたことによる高損失領域