

無線LAN帯域向け非接触型電磁波シールド構造

米田 諭* 大橋英征***
 佐々木雄一*
 岡 尚人**

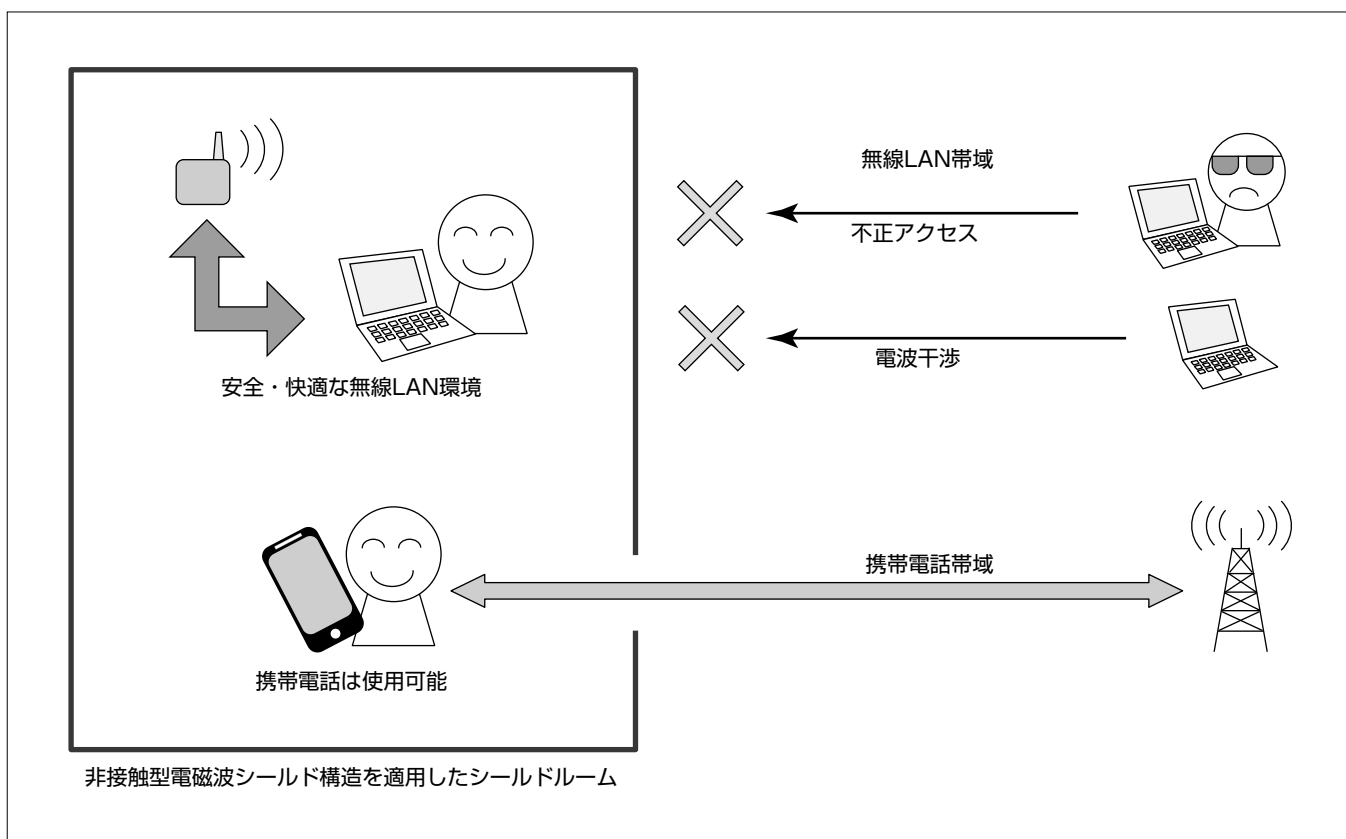
A Gasket-Free Electromagnetic Shielding Structure for Wireless LAN Frequency Band

Satoshi Yoneda, Yuichi Sasaki, Naoto Oka, Hideyuki Ohashi

要 旨

無線LAN(Local Area Network：構内通信網)の普及に伴い、外部環境からの電波干渉や不正アクセスに対するリスクが高まっている。これらのリスクを低減し、かつ、無線LAN帯域外での外部との無線通信を可能にするには、無線LAN帯域でだけシールド効果を持つシールドルームが有効となる。一般的なシールドルームでは、扉と扉枠の間に接触型の導電性ガスケットを用いているため、シールド効果は周波数に対して連続的となって特定帯域でのシールド効果の実現は困難である。さらに、閉扉時にガスケットに高い接触圧が必要となるため、通常の扉よりも開閉時の操作性が悪く、ガスケットの金属疲労による特性劣化も問題であった。そこで三菱電機では、これらの問

題に対し、無線LAN帯域向け非接触型電磁波シールド構造を開発した。この構造は、多段化したSIW(Substrate Integrated Waveguide：基板集積導波路)共振器を備えた誘電体基板をシールドルームの扉と扉枠の間に配置して構成する。間隙を通過する電磁波はSIW共振器の共振周波数でだけ伝搬を抑制されるので、無線LAN帯域にだけシールド効果を持つシールドルームを実現できる。さらに、非接触型なので、通常の扉と同等の操作性を実現できるうえ、金属疲労による特性劣化も発生しない。6段構成のSIW共振器について検討した結果、2.4GHzでのシールド効果を約30dB改善する測定結果が得られた。



非接触型電磁波シールド構造の適用によって実現される無線LAN環境

無線LAN帯域での外部環境からの電磁波をシールドすることで、不正アクセスによる情報漏洩(ろうえい)や電波干渉による通信速度低下のリスクが低減された安全・快適な無線LAN環境を構築できる。また、この構造では、シールド帯域外の電磁波はシールドされないので、無線LAN帯域以外の帯域を使用する携帯電話等の通信機器は通常どおりの使用が可能になる。

1. ま え が き

無線LANの普及に伴い、外部環境からの電波干渉による通信速度低下や不正アクセスによる情報漏洩のリスクが高まっている。これに対し、外部環境から電磁波的に隔離されたシールドルーム等の環境ではこれらのリスクの低減が期待できる。しかし、一般的なシールドルームのシールド効果は周波数に対して連続的なので、無線LAN帯域以外の帯域を使用する通信機器は使用できなくなる問題がある。また、一般的なシールドルームは扉と扉枠の間に接触型の導電性ガスケットを用いており、閉扉時に高い接触圧が必要となることから、一般的には通常の扉よりも操作性が悪くなる問題がある。

これらの問題を解決する手段の一つとして、当社では、無線LAN帯域向け非接触型電磁波シールド構造を開発した。この構造は、シールドルームの扉と扉枠の間に配置する非接触型の電磁波シールド構造で、所望の帯域にだけシールド効果を持ち、また、非接触型なので通常の扉と同等の操作性を実現可能とする特長を持つ。

本稿では、非接触型電磁波シールド構造と動作原理、及び試作評価結果について述べる。

2. 従来との比較

図1に、従来のシールドルームでの扉と扉枠の間隙部断面図、接触型の導電性ガスケット、及びシールド効果の周波数特性を模式的に表したグラフを示す。この構造は、接触型ガスケットの導通によってシールド効果を実現するので、閉扉時に高い接触圧が必要となる。そのため、扉の開閉機構は通常の扉よりも複雑になり、その操作性も通常の扉よりも一般的には悪くなる。また、そのシールド効果は周波数に対して連続的となるため、無線LAN帯域だけのシールド効果を目的とする場合は過剰であり、その他の帯域を使用する携帯電話等の通信機器は使用できなくなる問題がある。

次に、今回開発した構造を適用したシールドルームの扉と扉枠の間隙の断面と、多段SIW共振器装荷誘電体基板、及びシールド効果の周波数特性を模式的に表したグラフを図2に示す。SIW共振器は、貫通ビアと導体パターンによって誘電体基板内に構成されるキャビティ共振器の一種である⁽¹⁾。この構造は、非接触型で閉扉時に接触圧が不要なので、通常の扉と同等の操作性を実現できる。また、SIW共振器の共振周波数で必要十分なシールド効果を持ち、その他の周波数の電磁波は通過するので、無線LAN帯域外を使用する携帯電話等による通信が可能となる。

3. 構成と動作原理

3.1 多段SIW共振器のシールド効果

まず、4段に多段化したSIW共振器の構成例を図3に

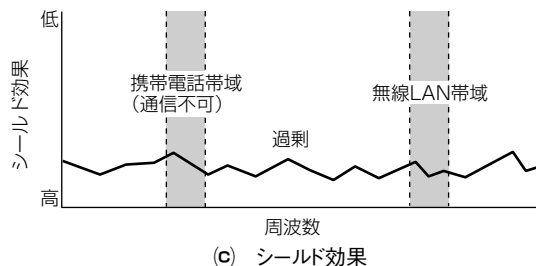
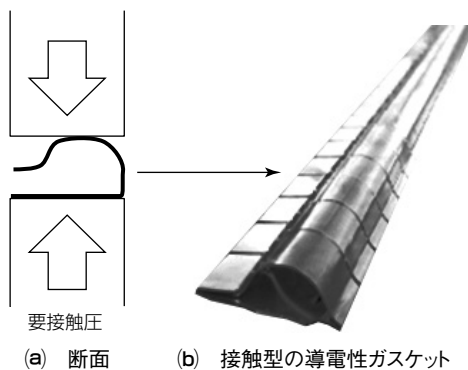


図1. 従来のシールドルームの扉と扉枠の間隙

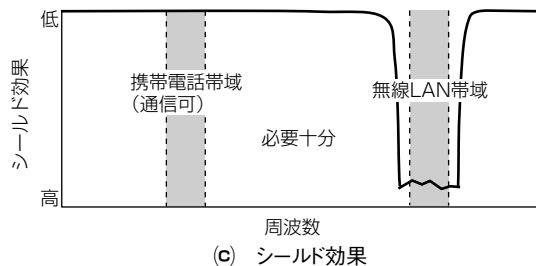
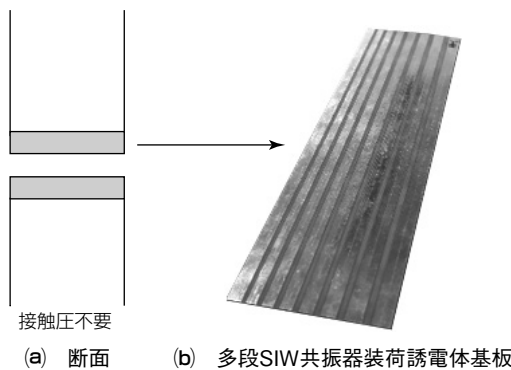


図2. 開発した構造を適用したシールドルームの扉と扉枠の間隙

示す。誘電体基板で、貫通ビア列と結合スリットとを電磁波伝搬方向に沿って交互に配置することで、4段のSIW共振器を構成している。次に、SIW共振器単体の断面を図4に示す。共振周波数での波長を λ として、結合スリットと貫通ビアの間隔は $\lambda/4$ である。このSIW共振器の主共振モードの電界強度は、図5に示すように、結合スリット周辺で最大、貫通ビア周辺で最小となる。図3で示した方向に電磁波が伝搬すると、SIW共振器の共振周波数で、SIW共振器はこのモードで共振する。その結果、結合スリットの先への伝搬が抑制され、共振周波数でのシ-

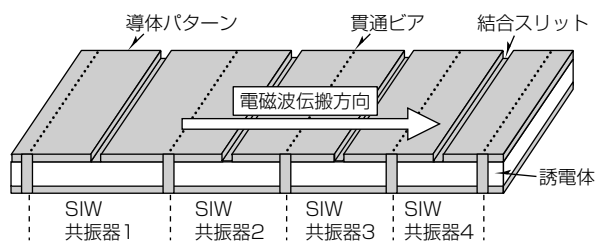


図3. 4段構成のSIW共振器

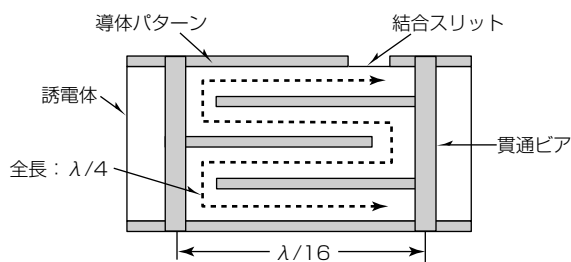


図7. 小型SIW共振器の断面

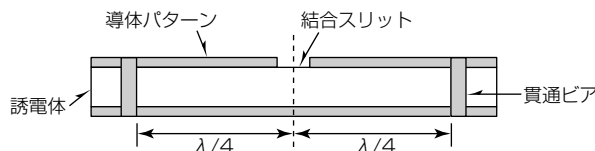
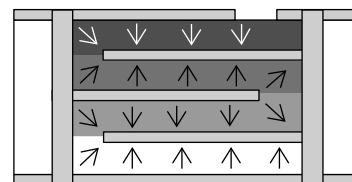
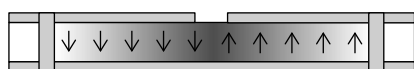


図4. SIW共振器の断面



電界強度：低 高, 電界方向：↑

図8. 小型SIW共振器の主共振モード



電界強度：低 高, 電界方向：↑

図5. SIW共振器の主共振モード

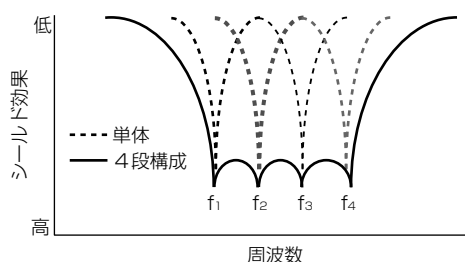


図6. 多段SIW共振器のシールド効果

シールド効果を得ることができる。SIW共振器単体の場合は狭帯域であるが、共振周波数が異なるSIW共振器を多段化することで、4段構成例の場合は図6に示すように、各SIW共振器の特性を足し合わせた広帯域なシールド効果が期待できる⁽²⁾。

3.2 無線LAN帯域向け小型化検討

一般的なガラスエポキシ樹脂基板を用いる場合、比誘電率は約4となるので、無線LAN帯域である2.4GHzでの $\lambda/2$ は約30mmになる。実用的な帯域幅のシールド効果を得るためには数段の多段化が必要である。多段化した構成を実用的な寸法で実現するには、電磁波伝搬方向でのSIW共振器の小型化が課題となる。

そこで、SIW共振器の多層化による小型化を検討した。導体層5層の多層基板で構成する小型SIW共振器の断面を図7に示す。破線で示すように、結合スリットから貫通ビアにいたる基板内部の伝搬経路を折り畳む構成とすることで、電磁波伝搬方向の小型化を実現している。基板内部での電磁波の伝搬経路の全長は $\lambda/4$ で、この構成例の場合、基板内部の伝搬経路を4回折り畳むことで、小型

SIW共振器の電磁波伝搬方向の寸法を $\lambda/16$ 、つまり図4に示したSIW共振器の1/8に小型化している。この小型SIW共振器の主共振モードを図8に示す。図5に示したSIW共振器の主共振モードと同様に、電界強度は結合スリット周辺で最大、貫通ビア周辺で最小となる。

4. 試作評価結果

導体層5層のガラスエポキシ樹脂多層基板(ϵ_r : 4.3, 基板厚: 2.5mm)を用いて、無線LAN帯域である2.4GHz帯(2.4~2.5GHz)向けに設計した多段SIW共振器の試作基板を図9に示す。今回の試作では、小型SIW共振器を6段構成とし、各小型SIW共振器の共振周波数を2.40, 2.42, 2.44, 2.46, 2.48, 2.50GHzとした。電磁界計算による設計の結果、6段構成の電磁波伝搬方向の寸法は27.1mmとなった。次に、シールド効果の測定系を図10に示す。電波暗室の壁面に間隙(開口面積: $3 \times 200\text{mm}^2$)を設け、電波暗室外の送信アンテナと暗室内の受信アンテナとを間隙を挟んで対向するように配置した。送信アンテナはネットワーク・アナライザのポート1に接続し、受信アンテナはポート2に接続した。各アンテナ側から見た間隙部を図11に示す。試作基板は、導電性の両面テープでL字型の銅板治具に貼り付け、その銅板治具二つを電波暗室の壁面に固定した。今回の検討では、自由空間で対向して配置したアンテナ間の通過特性を基準値として各構成のシールド効果を規定した。間隙に試作基板を配置した構成と、試作基板を配置しない間隙だけの構成のシールド効果の測定結果を図12に示す。測定の結果、シールド帯域で間隙単体で約30dBのシールド効果があり、試作基板を配置することで、それを約60dBに改善できることが分かった⁽³⁾。また、シールド帯域外で、試作基板の配置によるシールド効果の変動が比較的小さいことが確認できた。

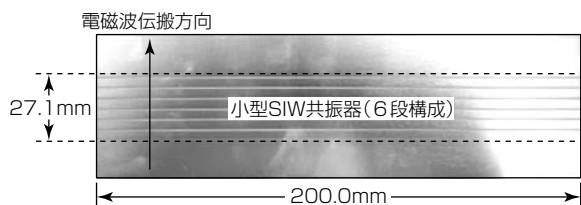
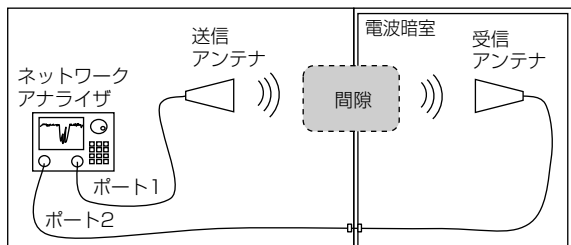
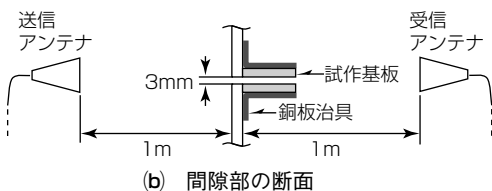


図9. 無線LAN帯域向け多段SIW共振器の試作基板

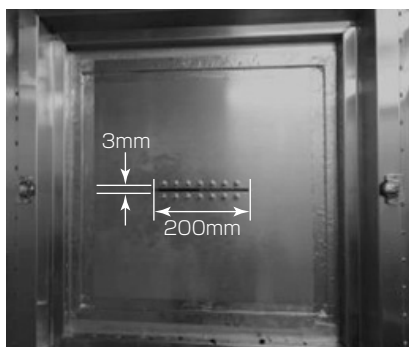


(a) 測定系全体

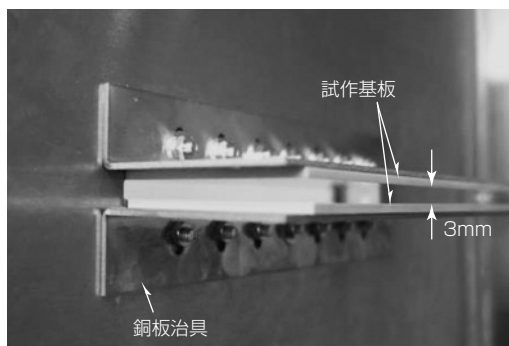


(b) 間隙部の断面

図10. シールド効果の測定系



(a) 送信アンテナ側



(b) 受信アンテナ側

図11. 間隙部

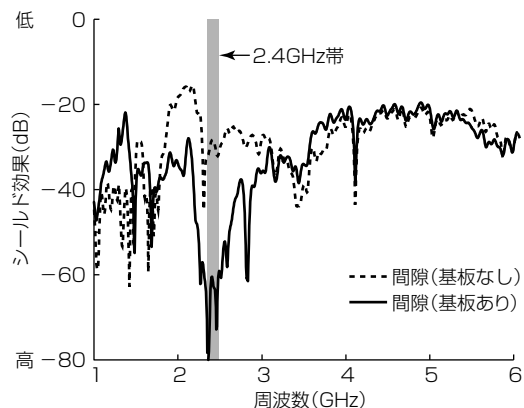


図12. シールド効果の測定結果

5. む す び

無線LAN帯域向け非接触型電磁波シールド構造の構成と動作原理、及び試作評価結果について述べた。この構造は、多段化したSIW共振器をシールドルームの扉と扉枠の間隙に配置して構成し、SIW共振器の共振周波数で特定帯域のシールド効果を得ることができる。また、非接触型の構造なので、通常の扉と同等の操作性を実現でき、金属疲労による特性劣化も発生しない特長を持つ。

無線LAN帯域向けに、2.4~2.5GHzをシールド帯域として6段構成のSIW共振器を設計した結果、電磁波伝搬方向の寸法は27.1mmとなった。試作基板を配置した間隙のシールド効果を測定した結果、試作基板の配置によって、2.4GHz帯での間隙のシールド効果を約30dBから約60dBに改善でき、この構造の有効性が確認できた。今後、更なる小型化、及び2.4GHz帯以外の無線LAN帯域である5GHz帯への対応について検討する。

参 考 文 献

- (1) Deslandes, D., et al.: Design considerations and performance, analysis of substrate integrated waveguide components, 32th European Microwave Conf., 881~884 (2002)
- (2) 米田 諭, ほか: GHz超帯向け多段SIW共振器装荷非接触型電磁波シールド構造, 電子情報通信学会和文論文誌B, J99-B, No.3, 115~123 (2016)
- (3) Yoneda, S., et al.: A gasket-free electromagnetic shielding structure for 2.4GHz band using folded quarter-wavelength SIW resonators, Proc. 2016 IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility, 271~276 (2016)