



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 202019008985-2

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE MODELO DE UTILIDADE, que outorga ao seu titular a propriedade do modelo de utilidade caracterizado neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 202019008985-2

(22) Data do Depósito: 02/05/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 10/11/2020

(51) Classificação Internacional: H01P 1/20.

(52) Classificação CPC: H01P 1/20.

(54) Título: SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUENCIAS MULTIBANDA PLANAR PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G OUTDOOR

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 34621748000123. Endereço: AV. AUGUSTO CORREA N. 1 CIDADE UNIVERSITARIA JOSÉ DA SILVEIRA NETTO, GUAMÁ, Belém, PA, BRASIL(BR), 66075-110, Brasileira

(72) Inventor: MIÉRCIO CARDOSO DE ALCÂNTARA NETO; NELSON MATEUS FERREIRA SANTOS; GERVÁSIO PROTÁSIO DOS SANTOS CAVALCANTE; JASMINE PRISCYLA LEITE DE ARAÚJO; FABRÍCIO JOSÉ BRITO BARROS.

Prazo de Validade: 15 (quinze) anos contados a partir de 02/05/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 31/10/2023

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIAS MULTIBANDA PLANAR PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G *OUTDOOR*

[001] A Patente de Invenção (PI) "**SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIAS MULTIBANDA PLANAR PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G *OUTDOOR***", refere-se a um filtro espacial de ondas eletromagnéticas (EM), do tipo rejeita-faixa passivo, projetado para operar com característica multibanda nas frequências pertencentes ao padrão das ondas milimétricas (*mmWave*).

[002] A característica de operação multibanda do dispositivo é evidenciada pelas múltiplas ressonâncias, nas respectivas frequências de: 28 GHz, 38 GHz e 73 GHz. A superfície seletiva de frequência (FSS) apresentada nesta patente demonstra independência do ângulo de incidência da onda EM sobre a estrutura, demonstrando assim alto grau de estabilidade angular de fase. A forma geométrica das metalizações da célula unitária desta invenção, consiste em três espiras quadradas concêntricas que são dispostas sobre substrato de ferrite magnetizada.

[003] A presente invenção é destinada à indústria de eletrônicos, especificamente para o controle da propagação de ondas EM e blindagem de canais do novo sistema de comunicações celular de quinta geração (5G), especificamente, o 5G *outdoor*.

[004] As superfícies seletivas de frequência (FSS) são arranjos periódicos tipicamente bidimensionais, que atuam como filtros espaciais. Seu comportamento depende da geometria dos elementos condutores, ou metalizações, do tamanho da célula unitária, do material utilizado em sua manufatura, da espessura do substrato e, podem apresentar características de filtro rejeita ou passa faixa de acordo com o tipo de elemento condutor, planar (*patch*) ou abertura (*slot*), respectivamente.

[005] A faixa de frequências do espectro eletromagnético compreendida pelas ondas milimétricas (*mmWave*) se dá no intervalo de 30 GHz a 300 GHz. Segundo estudos desenvolvidos por Theodore S. Rappaport, *et al*, amplamente divulgado no artigo científico "*Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design*", aponta que as frequências mais indicadas para operação das comunicações do sistema 5G *outdoor*, se desenvolva nas frequências de 28 GHz, 38 GHz e 73 GHz. Outrossim, estudos recentes demonstram que a banda disponível para o canal sem fio do 5G *mmWave*, serão no mínimo dez vezes

maior que a banda do atual LTE do sistema celular de quarta geração (4G), onde a largura de banda destes canais é de 20 MHz.

[006] Além das bandas de *WiFi* de 2,4 GHz e 5 GHz (IEEE 802.11a, b, g e n), a banda *mmWave* no intervalo de 60 GHz (padrão 802.11ad) já é padronizada para aplicações *indoor*, suportando alta taxa de dados nesta disposição. Todavia, o estudo de propagação em *mmWave* tem sido amplamente conduzido ao uso de 60 GHz para ambientes internos comuns, a fim de modelar adequadamente as perdas características e o canal do caminho.

[007] É perceptível o uso indiscriminado de equipamentos eletrônicos e redes empresariais/domésticas de comunicação de dados sem fio que operam nas frequências padronizadas pelo IEEE 802.11a, b, g e n. Consequentemente, há grande poluição do espectro eletromagnético nestas faixas de frequências, onde se observa interferências por frequências e canais sub/adjacentes. Logo, o controle da propagação de ondas eletromagnéticas (EM) através de superfícies ou camadas de fronteira, é um assunto de intensa investigação no eletromagnetismo aplicado.

[008] Em micro-ondas, pesquisas e projetos voltados para o desenvolvimento de filtros FSS já estão bem consolidados, no entanto, para *mmWave*, ainda é percebida escassez de FSS para este sistema. Isso se traduz em uma vasta possibilidade para o desenvolvimento de pesquisas e projetos, objetivando o desenvolvimento de dispositivos que tenham a capacidade de possibilitar a compatibilidade eletromagnética entre sistemas que venham a operar neste padrão.

[009] Diante das vantagens comentadas anteriormente, o uso da faixa do espectro EM das *mmWave* conduz a comunidade científica e tecnológica a focarem seus esforços o desenvolvimento de dispositivos que atendam essa demanda, de modo a suprir a carência de aplicações destinadas a comunicações de dados neste sistema.

[010] Um exemplo de invenção, referente à FSS multibanda, pode ser encontrado na patente WO2018088744A2, na qual foi apresentado um invento que pode ser aplicado a serviços inteligentes de internet das coisas (*Internet of Things – IoT*), por exemplo: casas inteligentes, edifícios inteligentes, cidades inteligentes, carros inteligentes, cuidados de saúde, educação digital, serviços relacionados à segurança da informação e etc. Tendo como base à tecnologia de comunicação 5G banda S. A referida patente foi construída a partir de um arranjo de antena para formação de determinados padrões de feixes de

irradiação, a estrutura da antena incorpora também um filtro FSS. Além da complexidade estrutural, o dispositivo foi projetado para operar em frequências pertencentes às faixas de frequências das bandas L e S, ou seja, de 1 GHz a 2 GHz e 2 GHz a 4 GHz, respectivamente.

[011] Outro exemplo de dispositivo é apresentado em CN107919532A, onde foi desenvolvida uma FSS multibanda. No entanto, sua aplicação se destina a filtragem de ondas EM na faixa de frequências nas bandas X e Ku.

[012] Outro exemplo de dispositivo é apresentado na patente CN106911007A, que consiste em FSS multibanda para aplicações em micro-ondas.

[013] Um outro exemplo pode ser encontrado no artigo científico intitulado “*A Novel Multi-Band Frequency Selective Surface Design and Its Application in a Compact 60-GHz Folded Dipole Array*”, onde W. L. Chang, *et al*, desenvolveram uma FSS multibanda. Porém, a estrutura apresentada não se destina a filtragem de frequências pertencentes ao padrão 5G *outdoor*.

[014] Como vantagem em relação aos projetos comentados, pode-se mencionar que o pedido de patente Patente de Invenção "**SUPERFÍCIE SELETIVA DE FREQUÊNCIAS MULTIBANDA PLANAR PARA APLICAÇÕES NO SISTEMA 5G OUTDOOR**" se demonstra capaz de filtrar simultaneamente, em uma única superfície, as três frequências pertencentes ao novo padrão de comunicação celular 5G *outdoor*, que são: 28 GHz, 38 GHz e 73 GHz.

[015] Outra vantagem desta patente, consiste em seu *design* simplificado, o que possibilita o barateamento desta tecnologia e viabiliza sua fabricação em escala industrial. Reunindo em uma única estrutura características de operação multibanda, estabilidade angular de fase e independência de polarização da onda incidente, que no caso de outros dispositivos, a exemplo dos comentados anteriormente, tais características, em muitos casos, só são alcançadas a partir de estruturas complexas e arranjos com dimensões geométricas que impossibilitam sua produção em larga escala.

[016] A patente de invenção apresentada consiste em uma célula unitária do tipo *patch* composta por arranjo de três espiras metálicas 101, quadradas e concêntricas, dispostas sobre substrato de ferrite magnetizada.

[017] A seguir serão apresentadas figuras que ilustram o funcionamento da invenção bem como uma descrição detalhada de sua operação.

[018] A figura 1a e 1b apresenta a configuração geométrica do dispositivo.

[019] A figura 2 apresenta o coeficiente de transmissão, descrevendo a resposta em frequência do dispositivo para as polarizações TE e TM, respectivamente.

[020] A figura 3 apresenta o coeficiente de transmissão para o teste de estabilidade angular de fase da FSS em relação a incidência da onda EM, para as polarizações TE e TM, respectivamente.

[021] A seguir será apresentada uma descrição do princípio de funcionamento do dispositivo.

[022] A presente invenção é baseada em um arranjo periódico, o que significa que uma estrutura básica, chamada célula unitária, é replicada no plano bidimensional. A célula unitária do dispositivo em questão, mostrada na Figura 1, é baseada em elementos metálicos na forma de espiras quadradas concêntricas, dispostas sobre substrato de ferrite magnetizada, 102. O dispositivo opera com uma onda linearmente polarizada, TE ou TM, cujo campo elétrico incidente pode estar orientado sobre eixo x ou sobre eixo y .

[023] Os intervalos de frequência onde às ressonâncias desejadas ocorrem estão em função das dimensões do dispositivo, sendo que podem ser deslocadas aumentando ou diminuindo suas metalizações, estando de acordo com o princípio da escalabilidade das equações de Maxwell.

[024] Para o uso de elementos na forma de espiras quadradas, as ressonâncias ocorrem na situação onde o comprimento de cada meia espira é um múltiplo de meio comprimento de onda. O comprimento da espira inteira, portanto, precisa ser da ordem de um múltiplo de um comprimento de onda.

[025] O controle das características de frequência, se dá mediante a modelagem dos elementos ressonadores. As frequências pretendidas são o ponto de partida do ajuste das dimensões de cada uma das espiras. Para o ajuste do diâmetro da primeira espira para $d_1 = 0,53$ mm, obteve-se uma primeira frequência ressonante em $F_1 = 73$ GHz.

[026] A segunda frequência ressonante $F_2 = 38$ GHz, foi alcançada a partir da inserção de uma segunda espira, esta com diâmetro $d_2 = 0,91$ mm. Posteriormente, foi inserida uma

terceira espira, com diâmetro $d_3 = 1,06$ mm, com isso, foi alcançada a terceira ressonância em $F_3 = 28$ GHz.

[027] O substrato de ferrite magnetizada é assumido como sendo magneticamente saturado. A ferrite é descrita pelas seguintes expressões para a permissividade e permeabilidade:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \text{ e } [\mu] = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu & j\beta & 0 \\ -j\beta & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

onde

$$\mu = 1 + \chi' - j\chi'', \quad \beta = K' - jK''$$

$$\chi' = \omega_0 \omega_m [\omega_0^2 - \omega^2(1 - \alpha^2)] D^{-1},$$

$$\chi'' = \omega \omega_m \alpha [\omega_0^2 + \omega^2(1 + \alpha^2)] D^{-1},$$

$$K' = \omega_0 \omega_m [\omega_0^2 - \omega^2(1 - \alpha^2)] D^{-1}$$

$$K'' = 2\omega^2 \omega_0 \omega_m \alpha D^{-1},$$

$$D = [\omega_0^2 - \omega^2(1 + \alpha^2)] + 4\omega_0^2 \omega^2 \alpha^2,$$

$$\omega_0 = \mu_0 \gamma H_0, \quad \omega_m = \mu_0 \gamma M_s$$

[028] Nas quais ε_0 e μ_0 são a permissividade e a permeabilidade do espaço livre, ω_0 é a frequência de ressonância ferromagnética, α é a constante de amortecimento, γ é a razão giromagnética e M_s é a magnetização de saturação. A ferrite considerada foi TT1-3000, que se caracteriza por $4\pi M_s = 3000$ G, $\Delta H = 190$ Oe, $\varepsilon_r = 12,9$, $\tan \delta = 5.10^{-4}$ e $\gamma = 1,759.1011 \text{ rad. s}^{-1}. T^{-1}$.

[029] O filtro se demonstra eficiente, mantendo sua performance mesmo quando submetido à ângulos críticos de incidência de ondas EM. O ângulo de incidência, φ , da onda EM sobre a filtro, foi considerada inicialmente na direção normal ao plano do dispositivo, ou seja, uma incidência perpendicular ao plano em que a FSS foi posicionada. A partir desta incidência, ou seja, $\varphi = 0^\circ$, o dispositivo foi submetido a variação do ângulo de incidência até se alcançar o ângulo crítico de 80° , com passo de 10° . Como pode ser visualizado na Figura 3.

REIVINDICAÇÕES

1. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, **caracterizada por** um arranjo periódico da célula unitária composta por três espiras metálicas concêntricas, com metalizações com espessura de 0,2 mm e cada uma medindo diâmetro $d_1 = 0,53$ mm, $d_2 = 0,91$ mm e $d_3 = 1,06$ mm, para a primeira, segunda e terceira espira, respectivamente, tal como apresentado na Figura 1a.
2. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada por** um arranjo periódico da célula unitária composta por três espiras metálicas concêntricas disposto sobre substrato de ferrite magnetizada, com espessura de 0,5 mm, tal como apresentado na Figura 1a.
3. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizado por** ter periodicidade da célula unitária de 1,16 mm. De acordo com a Figura 1a.
4. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações de 1 a 3, **caracterizada pelas** separações a partir da origem até a extremidade externa de cada metalização, para as três espiras, respectivamente, $r_1 = 0,2632$ mm, $r_2 = 0,4550$ mm e $r_3 = 0,5285$ mm. De acordo com a Figura 1b.
5. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações de 1 a 4, **caracterizada pela** célula unitária composta por três espiras concêntricas, cada uma ressonando nas frequências de 28 GHz, 38 GHz e 73 GHz, para a primeira, segunda e terceira espira, respectivamente. De acordo com a Figura 2.
6. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações de 1 a 5, **caracterizada pela** estabilidade angular de fase, ao se variar o ângulo da onda incidente de 0° até o ângulo crítico de 80° , com passo de 10° . De acordo com a Figura 3.
7. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações de 1 a 6, **caracterizada pela** independência de polarização da onda incidente, para as polarizações TE e TM. De acordo com a Figura 2.

8. Superfície Seletiva de Frequências Multibanda Planar para Aplicações no Sistema 5G *Outdoor*, de acordo com as reivindicações de 1 a 7, **caracterizada por** quaisquer outras FSS inspiradas no *design* de tripla espira quadrada apresentado nas Figuras 1a e 1b, contendo os mesmos componentes reclamados nas reivindicações 1 – 7 (elementos metálicos e substrato de ferrite magnetizada), porém com dimensões dos componentes e/ou parâmetros do substrato modificados.

FIG. 1

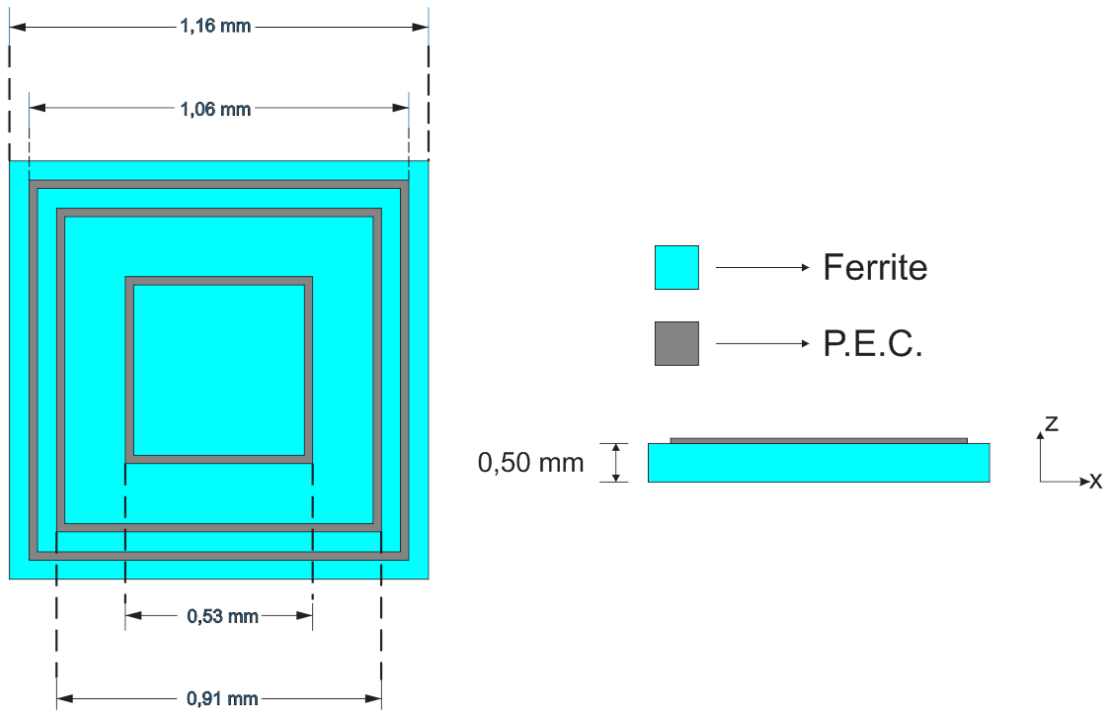


Figura 1a

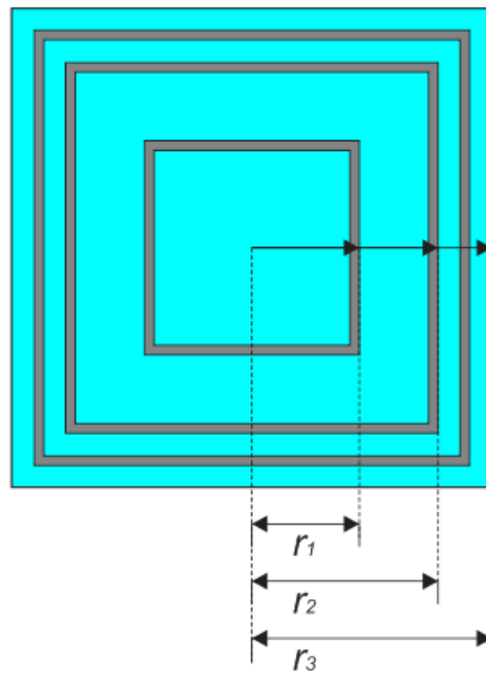


Figura 1b

FIG. 2

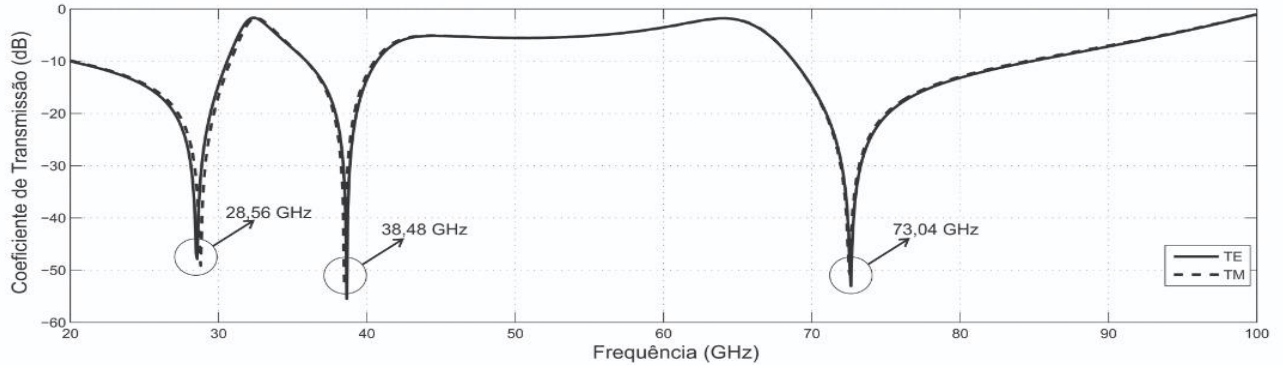


FIG. 3

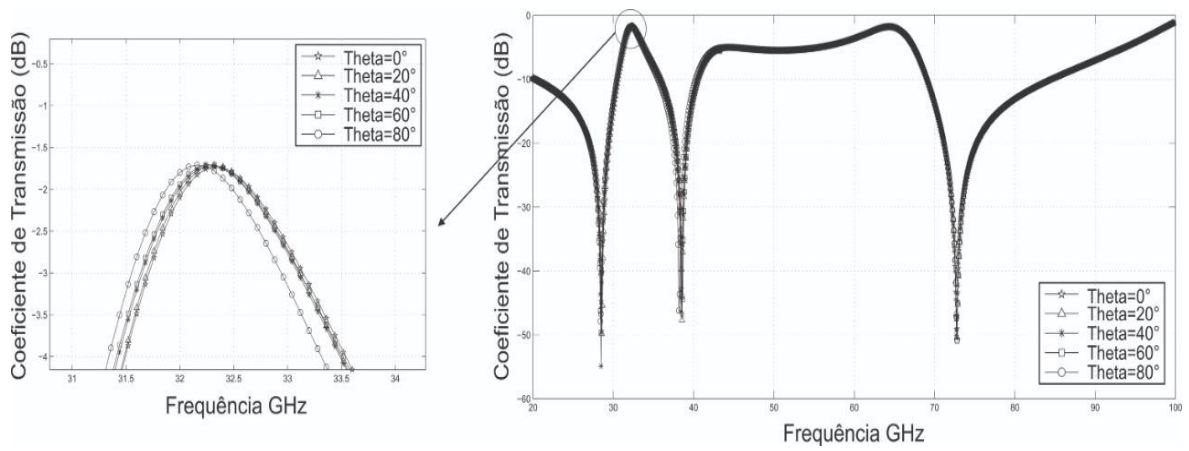


FIG. 3a

FIG.3b