



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102014025075-1

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102014025075-1

(22) Data do Depósito: 06/10/2014

(43) Data da Publicação Nacional: 26/04/2016

(51) Classificação Internacional: G02B 6/122; G02F 1/313; G02F 1/01.

(54) Título: DISPOSITIVO ÓPTICO MULTIFUNCIONAL BASEADO EM UM CRISTAL FOTÔNICO BIDIMENSIONAL E EM UM RESSOADOR MAGNETO-ÓPTICO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA. CGC/CPF: 34621748000123. Endereço: AV. AUGUSTO CORREA N. 1, Guamá, Belém, PA, BRASIL(BR), 66075-900

(72) Inventor: VICTOR DMITRIEV; GIANNI MASAKI TANAKA PORTELA.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 06/10/2014, observadas as condições legais

Expedida em: 12/01/2021

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

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



RELATÓRIO DESCRITIVO da Patente de Invenção “DISPOSITIVO ÓPTICO MULTIFUNCIONAL BASEADO EM UM CRISTAL FOTÔNICO BIDIMENSIONAL E EM UM RESSOADOR MAGNETO-ÓPTICO”.

[001] A presente invenção refere-se a um dispositivo óptico multifuncional baseado em um cristal fotônico bidimensional e em um ressoador magneto-óptico. Pode desempenhar, em sistemas ópticos integrados, as seguintes funções: chaveamento de sinais; divisão de potência; dobramento de guias de onda; isolamento.

[002] Considerando o atual contexto tecnológico, em que cada vez mais são necessários dispositivos com dimensões reduzidas, o desenvolvimento da tecnologia de cristais fotônicos assume papel de destaque. Dispositivos que nela se baseiam podem ser construídos com dimensões reduzidas, sendo adequados para utilização em sistemas ópticos com alta densidade de integração.

[003] De modo simplificado, cristais fotônicos são estruturas em que ocorre a modulação periódica da permissividade elétrica ou da permeabilidade magnética dos materiais que os constituem. Esta periodicidade está associada à existência de uma faixa de frequências proibidas característica destas estruturas, conhecida como *photonic band gap*.

[004] Ondas eletromagnéticas com frequência localizada dentro do *photonic band gap* não podem se propagar ao longo da estrutura periódica do cristal fotônico. O princípio de funcionamento de boa parte dos dispositivos baseados em cristais fotônicos está associado à existência desta faixa de frequências e à criação de defeitos no interior da estrutura cristalina que permitam a propagação de ondas eletromagnéticas.

[005] As funções de chaveamento de sinal, divisão de potência, dobramento de guias de onda e isolamento são necessárias para o funcionamento de grande parte dos sistemas ópticos. Chaves ópticas permitem o controle do fluxo de um sinal eletromagnético ao longo de um canal de comunicações, permitindo ou interrompendo a passagem do mesmo. Divisores de potência repartem, igualmente, a potência de um sinal eletromagnético presente em uma entrada

entre duas ou mais saídas. Dobras em guias de onda são utilizadas quando se deseja alterar a direção de propagação de um sinal eletromagnético ao longo de um canal. Isoladores são utilizados, normalmente, na proteção de fontes de sinal contra reflexões parasitas geradas por cargas não casadas idealmente. A presente invenção é capaz de desempenhar as funções de todos os dispositivos supracitados.

[006] Várias patentes relacionadas aos dispositivos individuais (chaves, divisores, dobras e isoladores) já foram depositadas, dentre as quais se destacam as que seguem.

[007] A patente de invenção US2005249455 descreve uma chave óptica baseada em um cristal fotônico bidimensional com rede triangular. O índice de refração dos materiais que o constituem pode ser modificado de acordo com a aplicação de um sinal óptico de controle. Dependendo da intensidade deste sinal de controle, a chave pode tanto permitir (estado ligado) ou interromper (estado desligado) a propagação de um sinal eletromagnético ao longo de um canal de comunicações.

[008] Por outro lado, o dispositivo a que se refere a patente de invenção CN101561531 é um divisor de potência óptico baseado em um cristal fotônico bidimensional com rede quadrada. Dois defeitos lineares inseridos no cristal se cruzam (lembrando o formato da letra T) e, no ponto de intersecção, uma cavidade é criada, através da inserção de um cilindro dielétrico. A potência do sinal de entrada é igualmente dividida entre as duas portas de saída do dispositivo.

[009] Uma dobra de guias de onda é descrita no relatório descritivo da patente de invenção US2005226561. Esta dobra é baseada em um cristal fotônico bidimensional com rede triangular e em uma superfície refletora. Ela é inserida entre dois guias de onda que formam entre si um ângulo de 90°. Um sinal que incide em um dos guias de onda é transmitido para o outro guia, com a mudança de direção de propagação sendo efetuada no interior da dobra.

[010] Merece destaque também o isolador óptico descrito na patente de invenção US2006140539. Baseado em um cristal fotônico bidimensional com

rede triangular, são inseridos defeitos na estrutura cristalina de modo que ocorre propagação de sinais apenas da entrada para a saída. A propagação de sinais no sentido inverso (da saída para a entrada), associada às reflexões parasitas causadas por cargas não casadas idealmente, é bloqueada pelo isolador.

[011] Os dispositivos que compõem sistemas ópticos integrados normalmente cumprem apenas uma única função dentre as citadas anteriormente, sendo necessária a interligação entre eles, para que o sistema funcione corretamente. A presente invenção é capaz de integrar, em um único dispositivo com dimensões reduzidas, todas as funções citadas anteriormente, favorecendo o aumento na densidade de integração de componentes em circuitos ópticos.

[012] A utilização do mesmo em sistemas ópticos integrados também ajuda na redução das perdas associadas ao funcionamento do sistema. A soma das perdas referentes a cada um dos componentes individuais (chaves, divisores, etc.) e a cada uma das linhas de interligação entre os mesmos pode, globalmente, comprometer o funcionamento do sistema. Ao se utilizar o dispositivo multifuncional proposto, as perdas são reduzidas às perdas de apenas um componente e várias linhas de interligação podem ser eliminadas.

[013] O material magneto-óptico em que se baseia a invenção tem propriedades que variam segundo a intensidade de um campo magnético externo DC. Neste caso, a magnetização é uniforme e um eletroímã pode ser usado no circuito de magnetização da estrutura. A intensidade do campo magnético gerado pelo eletroímã é proporcional à intensidade de uma corrente elétrica que o atravessa.

[014] Pode ser usado em três regimes distintos e, em cada um deles, opera com baixas perdas de inserção, alto isolamento entre a entrada e a(s) saída(s) e grande largura de banda de operação, além de divisão praticamente igual, entre as portas de saída, da potência de entrada nos regimes em que opera como divisor.

[015] De modo geral, o dispositivo é composto por um cristal fotônico bidimensional, baseado em uma rede triangular de furos inseridos em um

material magneto-óptico. Possui quatro guias de onda conectados a uma cavidade ressonante localizada no centro do dispositivo. Os guias e a cavidade são construídos a partir da inserção de defeitos na estrutura cristalina, que podem ser de dois tipos, a saber:

[016] - Defeitos lineares: correspondem à remoção de furos em linha reta e dão origem aos guias de onda;

[017] - Defeitos locais: correspondem à alteração do raio e da posição de alguns furos localizados no centro do dispositivo, que dão origem à cavidade ressonante.

[018] De modo específico, o dispositivo apresenta as seguintes características:

[019] - A constante de rede (a) do cristal fotônico em que se baseia o dispositivo depende da faixa de comprimentos de onda (λ) em que o dispositivo deverá operar. Para operação na faixa de comunicações ópticas, em que λ normalmente é igual a 1,55 micrômetros, o valor de a é igual a 480 nm;

[020] - O raio dos furos feitos no material magneto-óptico, preenchidos com ar, é igual a $0,3a$;

[021] - Os quatro guias de onda que compõem o dispositivo são inseridos a partir da criação de quatro defeitos lineares;

[022] - A cavidade ressonante que compõe o dispositivo é inserida a partir da criação de uma série de defeitos locais ao redor do centro da estrutura;

[023] - O dispositivo pode operar em três regimes, doravante denominados regime 1, regime 2 e regime 3;

[024] - No regime 1, o dispositivo opera como divisor por dois canais. Neste regime, o campo magnético DC aplicado é $+H_0$ e ocorre a divisão igualitária da potência de um sinal presente na entrada entre duas saídas, com proteção da entrada contra reflexões parasitas geradas nas duas saídas. Ao se inverter o valor do campo $+H_0$ para $-H_0$, o dispositivo pode ser usado como uma chave óptica;

[025] - No regime 2, o dispositivo realiza o dobramento de guias de onda. Neste regime, o valor do campo magnético DC aplicado é $-H_0$ e um sinal eletromagnético que atravessa o dispositivo tem a sua direção de propagação

modificada por um ângulo de 120° . Quando se inverte o sinal do campo $-\mathbf{H}_0$ para $+\mathbf{H}_0$, o dispositivo pode ser usado como uma chave óptica;

[026] - No regime 3, o dispositivo opera como divisor por três canais. O campo magnético DC aplicado é $+\mathbf{H}_1$ e a potência de um sinal eletromagnético presente na entrada é igualmente dividida entre três saídas;

[027] - O material magneto-óptico em que se baseia o dispositivo é anisotrópico. A permissividade elétrica e a permeabilidade magnética deste material são descritas pelas seguintes expressões:

$$[028] \quad [\varepsilon] = \varepsilon_0 \begin{pmatrix} 6,25 & -ig & 0 \\ ig & 6,25 & 0 \\ 0 & 0 & 6,25 \end{pmatrix}; \quad \mu = \mu_0$$

[029] Onde:

[030] - ε é a permissividade elétrica do material (em Farads por metro);

[031] - ε_0 é a permissividade elétrica do espaço livre (em Farads por metro);

[032] - μ é a permeabilidade magnética do material (em Henrys por metro);

[033] - μ_0 é a permeabilidade magnética do espaço livre (em Henrys por metro);

[034] - i é a unidade imaginária;

[035] - g é um parâmetro dependente do material magneto-óptico e da intensidade do campo magnético externo DC aplicado.

[036] A seguir são apresentadas as figuras que ilustram o funcionamento do dispositivo, bem como é descrita, em detalhes, a invenção desenvolvida.

[037] A figura 1 mostra, esquematicamente, o dispositivo desenvolvido. A figura 1a ilustra os quatro guias de onda conectados ao ressonador magneto-óptico e os ângulos que os guias formam entre si. A figura 1b apresenta o dispositivo não magnetizado, enquanto as figuras 1c e 1d exibem o dispositivo magnetizado.

[038] A figura 2 apresenta, esquematicamente, o dispositivo operando no regime 1. As figuras 1a, 1b e 1c exibem o dispositivo sujeito a um campo magnético DC $+H_0$ (estado ligado), enquanto a figura 1d mostra o dispositivo sujeito a um campo magnético DC $-H_0$ (estado desligado).

[039] A figura 3a mostra a resposta em frequência do dispositivo sendo excitado através da porta de entrada no estado ligado do regime 1 e no estado desligado do regime 2. Os coeficientes de transmissão S_{ij} – cujos índices i e j podem assumir os valores 1, 2, 3 e 4 – são os elementos da matriz de espalhamento [S]. A figura 3b mostra uma visão superior do dispositivo operando nestes casos, sendo apresentado o cristal fotônico em que são inseridos os quatro guias de onda retilíneos **301** a **304** e a cavidade ressonante do dispositivo, bem como a componente H_z do campo eletromagnético, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30318$, onde: ω é a frequência angular (em radianos por segundo); a é a constante de rede do cristal (em metros); c é a velocidade da luz no espaço livre (aproximadamente igual a 300.000.000 metros por segundo).

[040] A figura 4a mostra a resposta em frequência referente às reflexões parasitas originadas na porta **402**, considerando o dispositivo operando no estado ligado do regime 1. A figura 4b mostra uma visão superior do dispositivo quando sujeito a estas reflexões, sendo mostrados os quatro guias de onda retilíneos **401** a **404**, a cavidade ressonante e a componente H_z do campo eletromagnético associado às reflexões, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30318$.

[041] A figura 5a mostra a resposta em frequência associada às reflexões parasitas oriundas da porta **503**, considerando o dispositivo operando no estado ligado do regime 1. A figura 5b mostra uma visão superior do dispositivo quando sujeito a tais reflexões, sendo representados os quatro guias de onda retilíneos **501** a **504** e a cavidade ressonante que compõem o dispositivo, além da componente H_z do campo eletromagnético associado às reflexões, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30318$.

[042] A figura 6a mostra a resposta em frequência do dispositivo sendo excitado através da porta de entrada no estado desligado do regime 1 e no estado ligado do regime 2. A figura 6b mostra uma visão superior do dispositivo operando nestes casos, sendo apresentados os quatro guias de onda retilíneos **601** a **604**, a cavidade ressonante e a componente H_z do campo eletromagnético, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30318$.

[043] A figura 7 apresenta, esquematicamente, o dispositivo operando no regime 2. As figuras 7a e 7b apresentam o dispositivo sob a ação de um campo magnético DC $-H_0$ (estado ligado), enquanto a figura 7c apresenta o dispositivo sob a ação de um campo magnético DC $+H_0$ (estado desligado).

[044] A figura 8a mostra a resposta em frequência do dispositivo referente às reflexões parasitas provenientes da porta **804**, considerando o dispositivo operando no estado ligado do regime 2. A figura 8b representa uma visão superior do dispositivo sob a ação destas reflexões, sendo mostrados os quatro guias de onda retilíneos **801** a **804** e a cavidade ressonante que fazem parte do dispositivo, bem como a componente H_z do campo eletromagnético, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30318$.

[045] A figura 9 apresenta, esquematicamente, o dispositivo operando no regime 3, sujeito à ação de um campo magnético DC $+H_1$.

[046] A figura 10a apresenta a resposta em frequência do dispositivo operando no regime 3. A figura 10b mostra uma visão superior dos quatro guias de onda retilíneos **1001** a **1004** e da cavidade ressonante que compõem o dispositivo, além da componente H_z do campo eletromagnético, na frequência central normalizada $\omega a/2\pi c = 0,30309$.

[047] A invenção apresentada é composta por quatro guias de onda **101**, que estão separados entre si por um ângulo de 60 graus, e uma cavidade ressonante **102** (figura 1a). Quando a estrutura não está submetida à aplicação de um campo magnético DC (figura 1b), a aplicação de um sinal eletromagnético no guia de entrada **103** faz com que seja excitado um modo dipolo estacionário **104** na cavidade ressonante **105**, com eixo alinhado em relação ao eixo do guia de entrada. Neste caso, o dispositivo divide,

teoricamente, a potência de entrada entre os três guias de onda de saída **106**, **107** e **108**, de modo igualitário, e o valor do parâmetro g é igual a 0.

[048] Quando o dispositivo está sujeito à aplicação de um campo magnético DC $+H_0$ (figura 1c), a aplicação de um sinal eletromagnético através do guia de entrada **109** faz com que seja excitado um modo dipolo **110** na cavidade ressonante **111**, cuja orientação é girada por um ângulo de 30 graus, no sentido horário, em relação ao dipolo **104**. Neste caso, a potência de entrada é dividida igualmente entre dois guias de saída **112** e **113** e os nós do dipolo se alinham com o guia de onda **114**, fazendo com que neste não sejam excitadas ondas eletromagnéticas. Neste caso, o valor do parâmetro g é igual a 0,21.

[049] Por outro lado, quando o dispositivo está sujeito à aplicação de um campo magnético DC $-H_0$ (figura 1d), um sinal eletromagnético que percorre o guia de entrada **115** excita, na cavidade ressonante **116**, um modo dipolo **117**, rotacionado por um ângulo de 30 graus, no sentido anti-horário, em relação ao dipolo **104**. Neste caso, a potência de entrada é direcionada para o guia de saída **118**, enquanto os nós do dipolo se alinham com os guias **119** e **120**, de modo que nestes não são excitadas ondas eletromagnéticas. Neste caso, o valor do parâmetro g é igual a -0,21.

[050] No regime 1, representado na figura 2, o dispositivo opera como divisor por dois canais no estado ligado, com campo magnético externo DC $+H_0$, e como chave, ao se inverter o valor do campo magnético DC ($+H_0$ para $-H_0$). No estado ligado, um sinal eletromagnético aplicado no guia de entrada **201** tem a sua potência dividida igualmente entre os guias de saída **202** e **203** (figura 2a). Uma carga casada **204**, conectada ao guia de onda **205**, recebe a maior parte das reflexões parasitas originadas a partir de cargas não casadas idealmente conectadas aos guias de saída **202** e **203**.

[051] Nas figuras 2b e 2c estão representados os efeitos das reflexões parasitas, provenientes de cargas não casadas idealmente conectadas às saídas, sobre uma fonte de sinais conectada ao guia de entrada. No caso em que a reflexão provém do guia de onda **206** (figura 2b), a maior parte da mesma é direcionada para a carga casada **207**, não interferindo no

funcionamento da fonte de sinais conectada ao guia de entrada **208**. O mesmo vale para as reflexões provenientes do guia de onda **209**, que são direcionadas para a carga casada **210** e não interferem no funcionamento do gerador de sinais conectado ao guia de entrada **211**. Logo, a entrada é isolada das saídas.

[052] Ao se inverter o valor do campo magnético DC (figura 2d), o dispositivo passa a operar no estado desligado do regime 1. Nesta situação, um sinal eletromagnético incidente no guia de entrada **212** é transferido para a carga casada **213**, conectada ao guia de onda **214**. Nas portas de saída **215** e **216** não são excitadas ondas eletromagnéticas e o dispositivo opera como uma chave.

[053] As características de desempenho do dispositivo operando no estado ligado do regime 1 são mostradas na figura 3. Os níveis de divisão entre as portas **302** e **303** são de cerca de -3,8 dB, enquanto a porta **304**, onde a carga casada é conectada, é isolada da entrada **301** por cerca de -19 dB. A largura de banda, definida no nível de -15 dB das curvas de isolamento, é de 178 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$). A variação dos níveis de divisão dentro desta banda é de $(-3,7 \pm 0,7)$ dB.

[054] O efeito das reflexões sobre uma fonte de sinais conectada à entrada, nesta situação, é verificado na figura 4 (figura 5). Reflexões provenientes da porta **402** (**503**) não afetam a fonte de sinais conectada à porta **401** (**501**), sendo direcionadas para uma carga casada conectada à porta **404** (**504**) e para a outra porta de saída **403** (**502**).

[055] O estado desligado do regime 1, em que o sinal do campo magnético externo DC é trocado, tem suas características de desempenho representadas na figura 6. Nela é possível observar que praticamente toda a potência de entrada, proveniente da porta **601**, é acoplada para a carga casada conectada à porta **604**. As saídas **602** e **603** estão alinhadas com os nós do modo dipolo e não são excitadas.

[056] No regime 2, representado na figura 7, o dispositivo opera como uma dobra de guias de onda no estado ligado, com campo magnético externo DC $-H_0$, e como uma chave ao se inverter o valor deste campo ($-H_0$ para $+H_0$). No

estado ligado, um sinal eletromagnético aplicado no guia de entrada **701** é transferido para o guia de saída **702**, com um ângulo de dobramento (mudança de direção de propagação) igual a 120 graus (figura 7a). Cargas casadas **703** e **704**, conectadas aos guias de onda **705** e **706**, respectivamente, recebem a maior parte das reflexões parasitas originadas a partir do guia de saída **702**.

[057] O efeito destas reflexões é representado na figura 7b, em que um sinal eletromagnético proveniente do guia de saída **707**, que representa o efeito destas reflexões, é totalmente absorvido pelas cargas casadas **708** e **709**. Deste modo, um gerador de sinais conectado ao guia de entrada **710** é isolado da saída **707**.

[058] Quando ocorre a inversão do sinal do campo magnético externo DC ($-H_0$ para $+H_0$), o dispositivo passa a operar no estado desligado do regime 2. Nesta situação, o dispositivo opera como uma chave e, um sinal incidente no guia de entrada **711** é transferido para duas cargas casadas **712** e **713**, conectadas aos guias de onda **714** e **715**, respectivamente. No guia de saída **716**, não são excitadas ondas eletromagnéticas.

[059] As características de desempenho do dispositivo operando no estado ligado do regime 2 são idênticas às daquelas do dispositivo operando no estado desligado do regime 1. A diferença entre os casos diz respeito apenas à posição e à quantidade de cargas casadas idealmente conectadas ao dispositivo (ver figuras 2d e 7a). O nível de transmissão da entrada para a saída é de -0,4 dB, enquanto os níveis de transmissão para as duas portas onde as cargas casadas idealmente estão conectadas são de -21 dB e -17 dB. A largura de banda, definida no nível de -15 dB das curvas de isolamento, é de 113 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$).

[060] Na figura 8, pode-se observar que reflexões parasitas provenientes da saída **804** são transmitidas para as duas cargas casadas idealmente conectadas às portas **802** e **803**, de modo que o funcionamento do gerador de sinais conectado à porta de entrada **801** não é prejudicado pelas mesmas.

[061] O comportamento do dispositivo operando no estado desligado do regime 2 é semelhante ao comportamento do dispositivo operando no estado ligado do

regime 1 (figura 3). Novamente, a única diferença entre ambos é a posição e a quantidade de cargas casadas idealmente conectadas ao dispositivo (ver figuras 2a e 7c). Pode-se observar que toda potência de entrada é transferida para duas cargas casadas idealmente e a saída é isolada em relação à entrada.

[062] No regime 3, o dispositivo opera como divisor por três canais. Um sinal eletromagnético aplicado no guia de entrada **901** tem a sua potência igualmente dividida entre os guias de saída **902**, **903** e **904**. A princípio, o dispositivo não precisaria estar magnetizado, a fim de que operasse neste regime (ver figura 1b). Entretanto, através da aplicação de um pequeno campo magnético DC $+H_1$, um ajuste fino dos níveis de divisão entre as três portas de saída foi efetuado, de modo a tornar a divisão mais igualitária. Neste caso, o valor do parâmetro g é igual a 0,07.

[063] As curvas de transmissão do dispositivo operando neste regime são mostradas na figura 10a. Os níveis de divisão entre as três portas de saída são de cerca de -5,2 dB. A largura de banda, definida no nível de -6 dB das curvas de divisão, é de 110 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$). A variação dos níveis de divisão nesta banda é de $(-5,2 \pm 0,7)$ dB. Na figura 10b, o perfil do campo eletromagnético ao longo do dispositivo evidencia a divisão da potência presente na porta de entrada **1001** entre as três saídas **1002**, **1003** e **1004**.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo óptico multifuncional baseado em um cristal fotônico bidimensional e em um ressoador magneto-óptico, caracterizado por ser baseado em um cristal fotônico bidimensional em que são inseridos quatro guias de onda e uma cavidade ressonante, sendo capaz de operar em três regimes distintos e realizar as funções de chaveamento de sinais, divisão de potência, dobra de guias de onda e isolamento.

2. Dispositivo óptico multifuncional baseado em um cristal fotônico bidimensional e em um ressoador magneto-óptico, caracterizado por operar como divisor por dois canais no regime 1, com campo magnético externo DC $+H_0$ (estado ligado), e como chave óptica ao se inverter o sinal do campo magnético externo DC (estado desligado), de modo que, no estado ligado, a entrada é isolada em relação às duas saídas e os níveis de divisão entre os guias de saída são de -3,8 dB, enquanto que a largura de banda, definida no nível de -15 dB, é de 178 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$).

3. Dispositivo óptico multifuncional baseado em um cristal fotônico bidimensional e em um ressoador magneto-óptico, caracterizado por operar como dobra de guias de onda no regime 2, com campo magnético externo DC $-H_0$ (estado ligado), e como chave óptica ao se inverter o sinal do campo magnético externo DC (estado desligado), de modo que, no estado ligado, a entrada é isolada em relação à saída e o nível de transmissão da entrada para a saída é de -0,4 dB, com mudança da direção de propagação do sinal por um ângulo de 120 graus, enquanto que a largura de banda, definida no nível de -15 dB, é de 113 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$).

4. Dispositivo óptico multifuncional baseado em um cristal fotônico bidimensional e em um ressoador magneto-óptico, caracterizado por operar como divisor por três canais no regime 3, com campo magnético externo DC $+H_1$, de modo que o nível de divisão entre as três portas de saída é de -5,2 dB, com variação deste nível dentro do intervalo $(-5,2 \pm 0,7)$ dB, e a largura

de banda, definida no nível de -6 dB das curvas de transmissão, é de 110 GHz (para o comprimento de onda $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$).

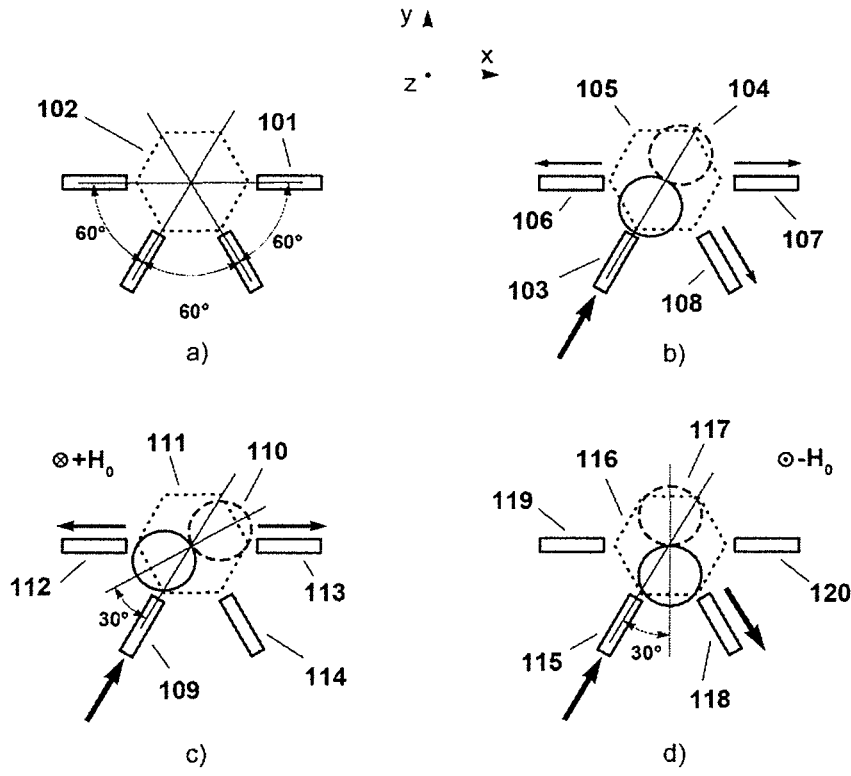


Fig. 1

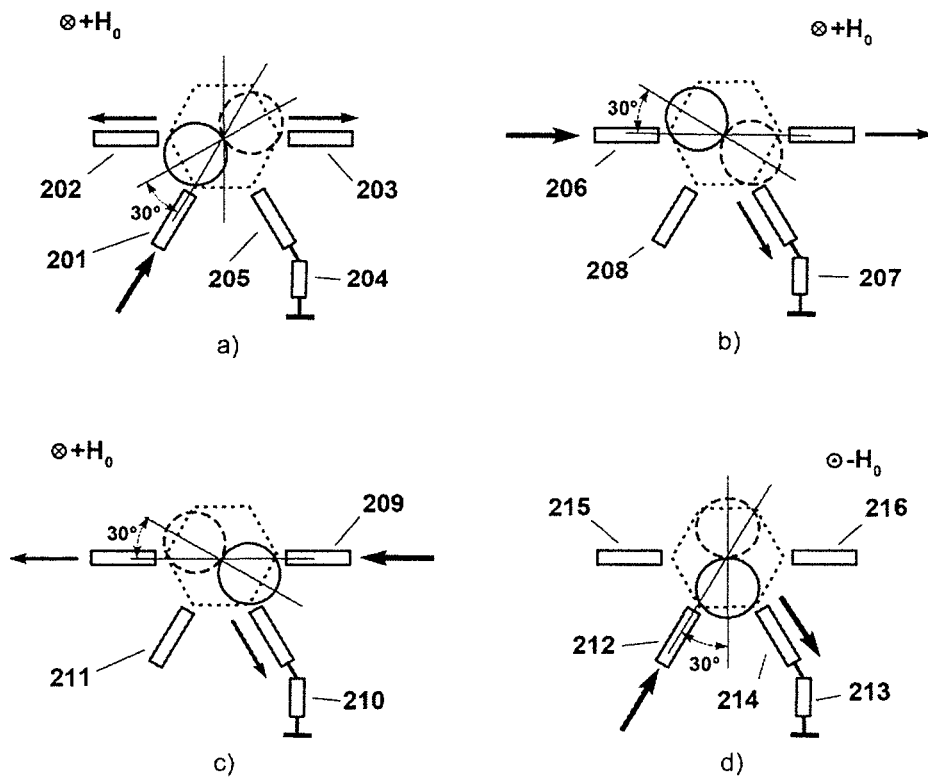
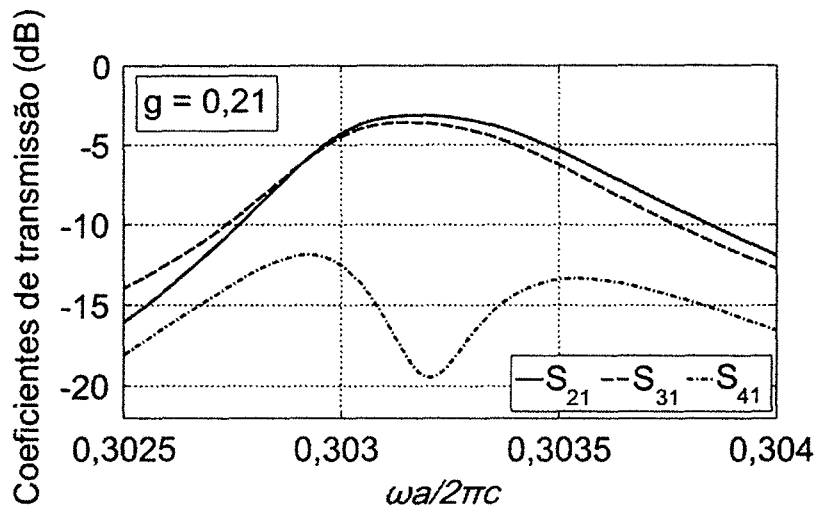
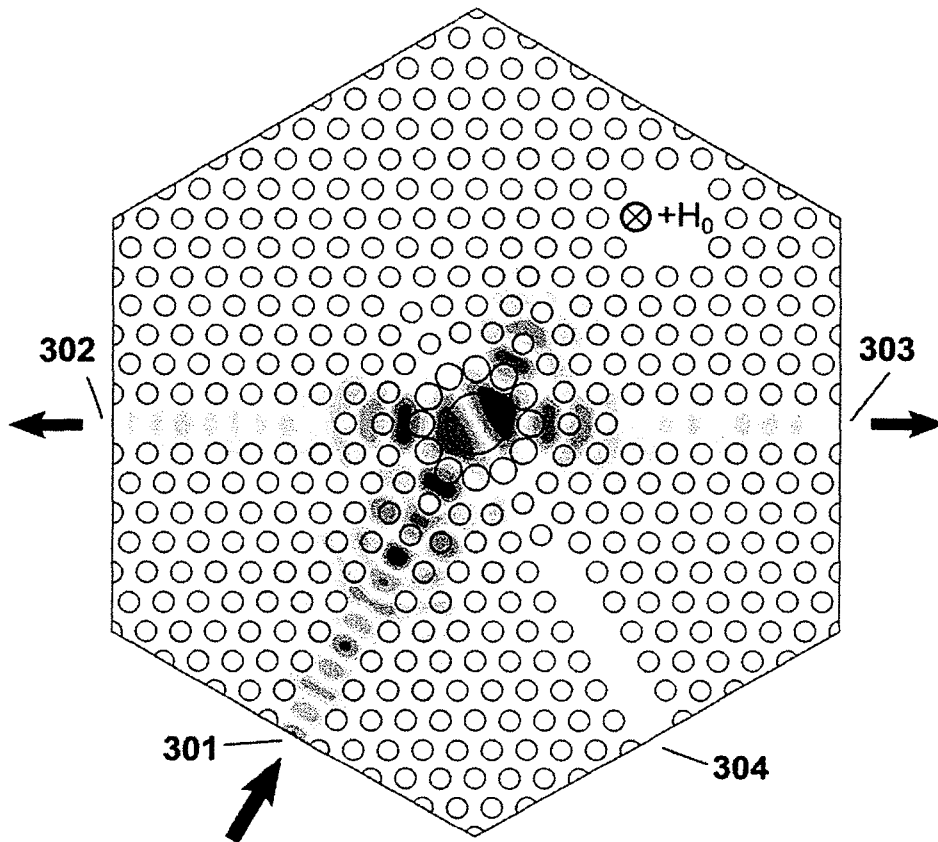


Fig. 2

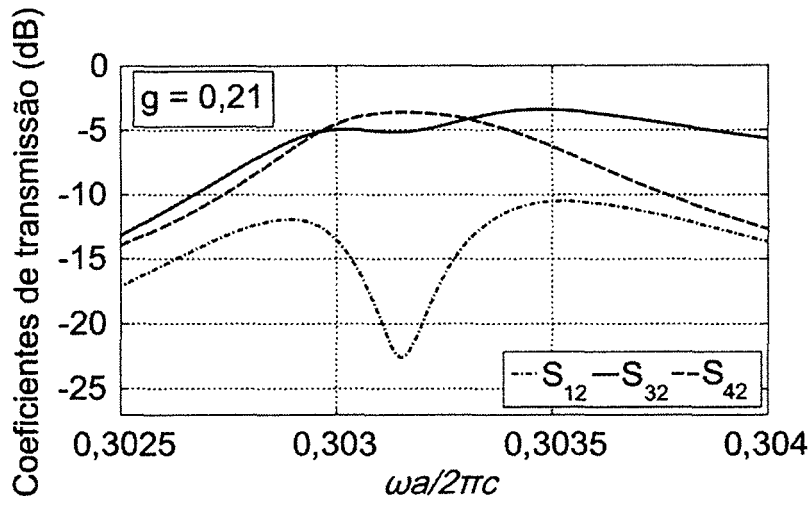


(a)

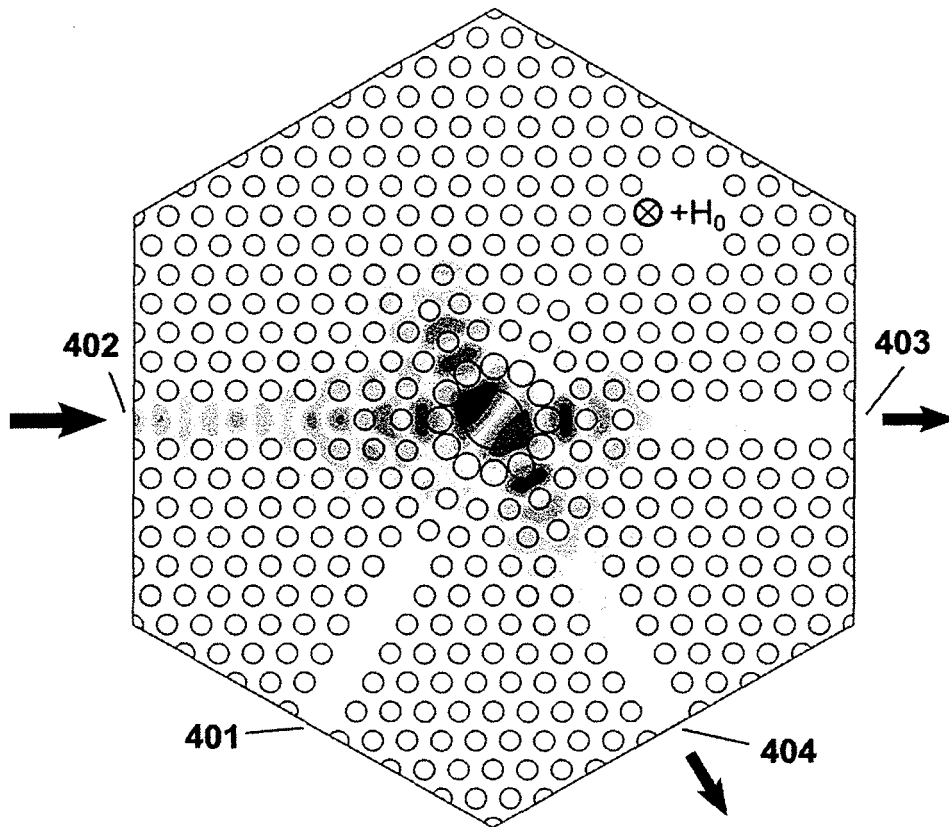


(b)

Fig. 3

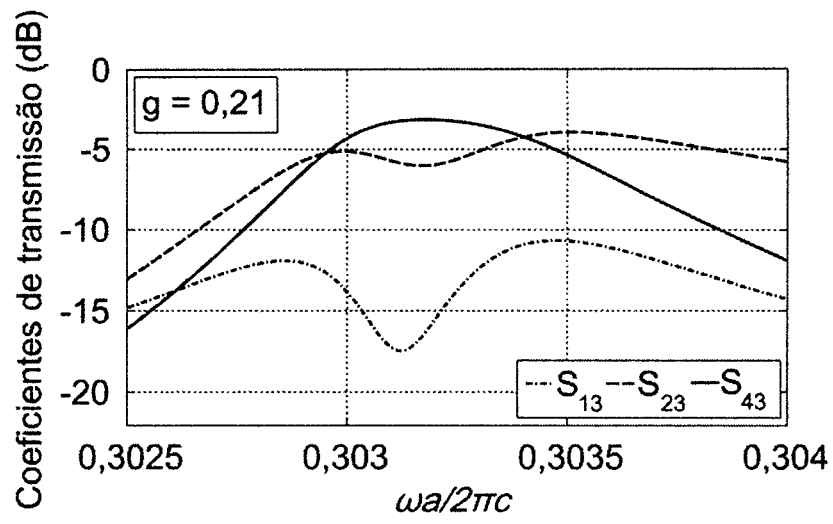


(a)

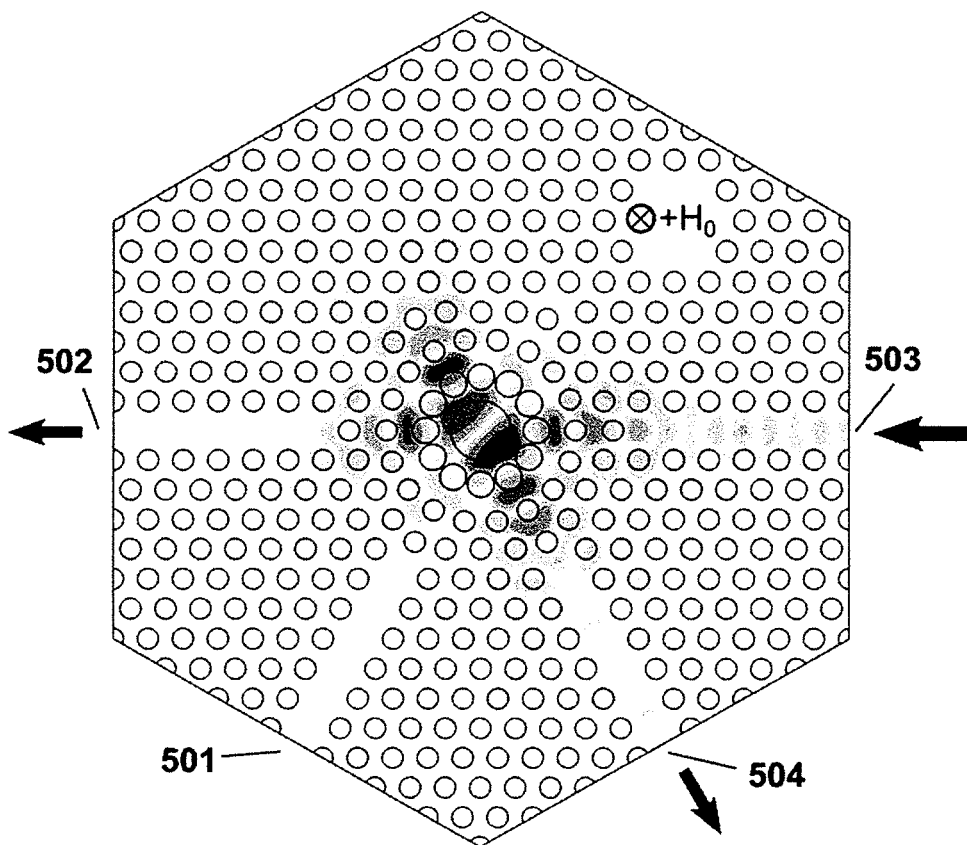


(b)

Fig. 4

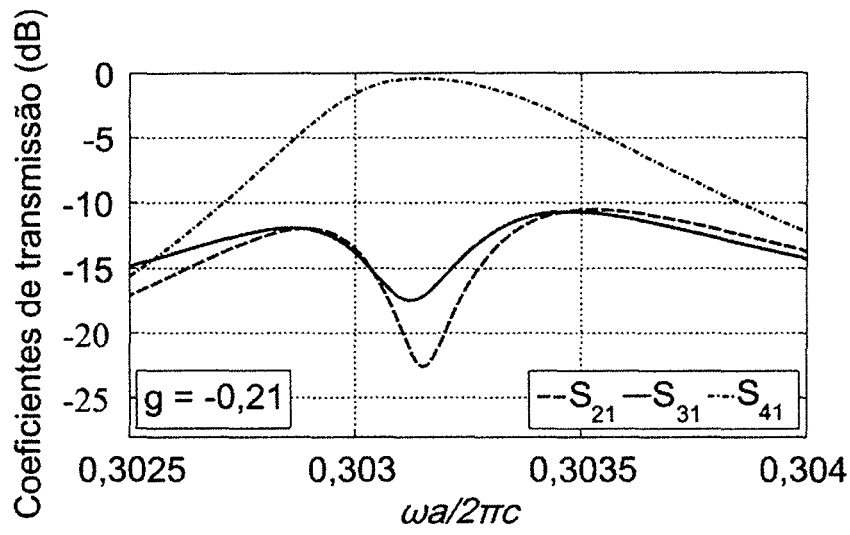


(a)

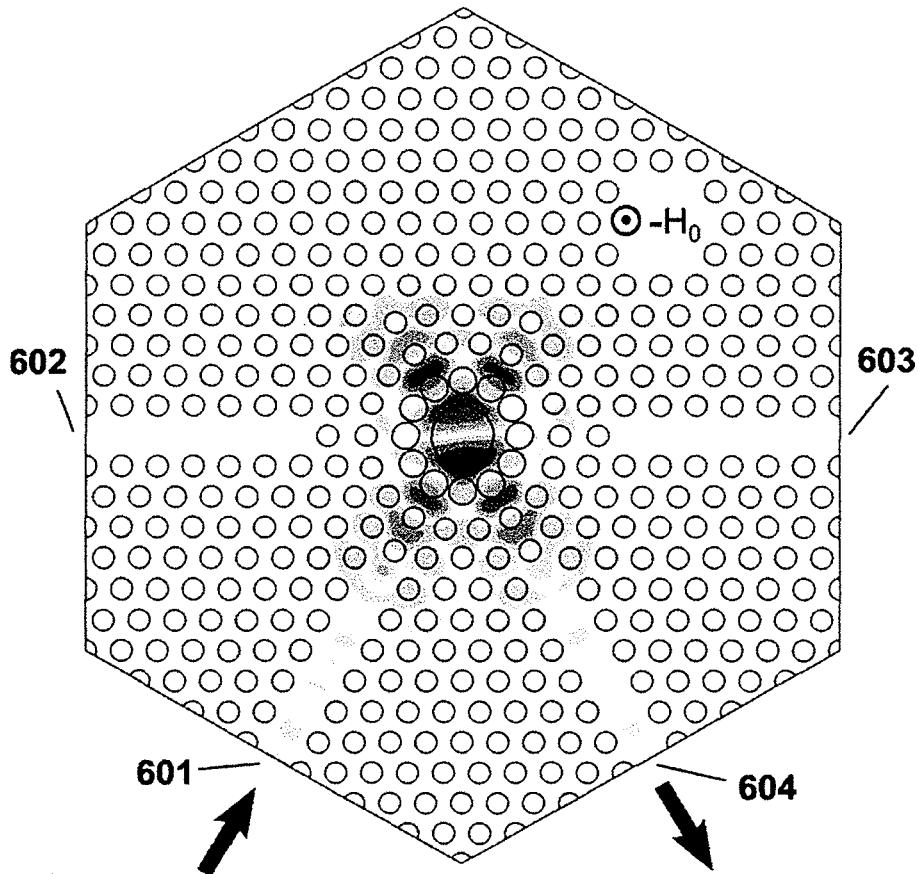


(b)

Fig. 5



(a)



(b)

Fig. 6

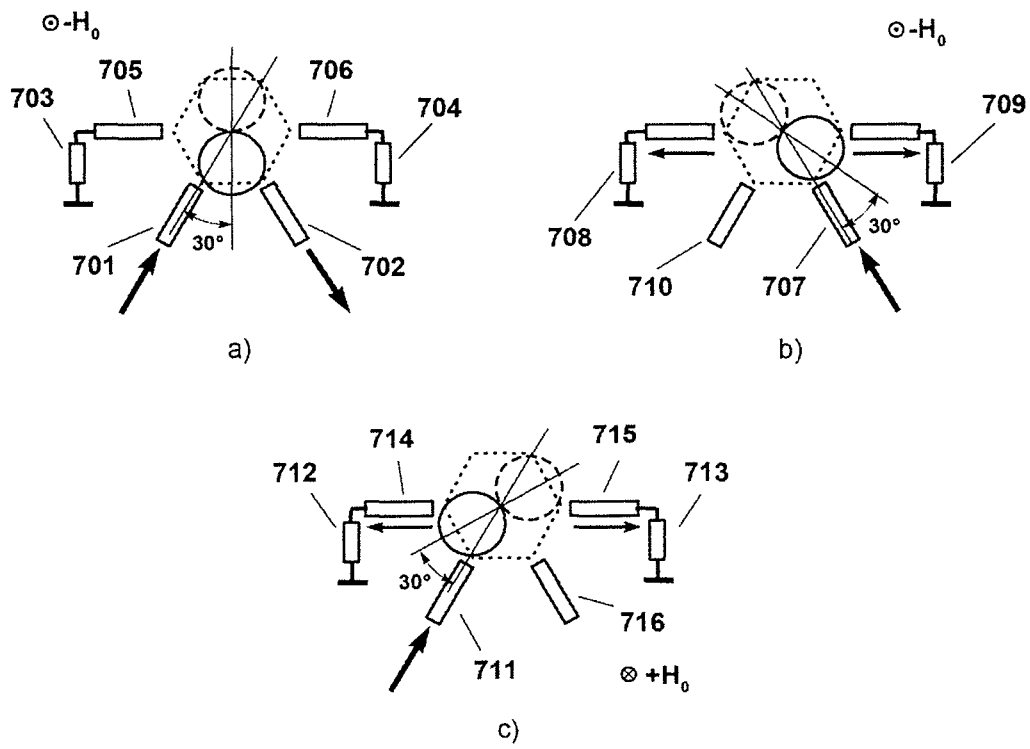


Fig. 7

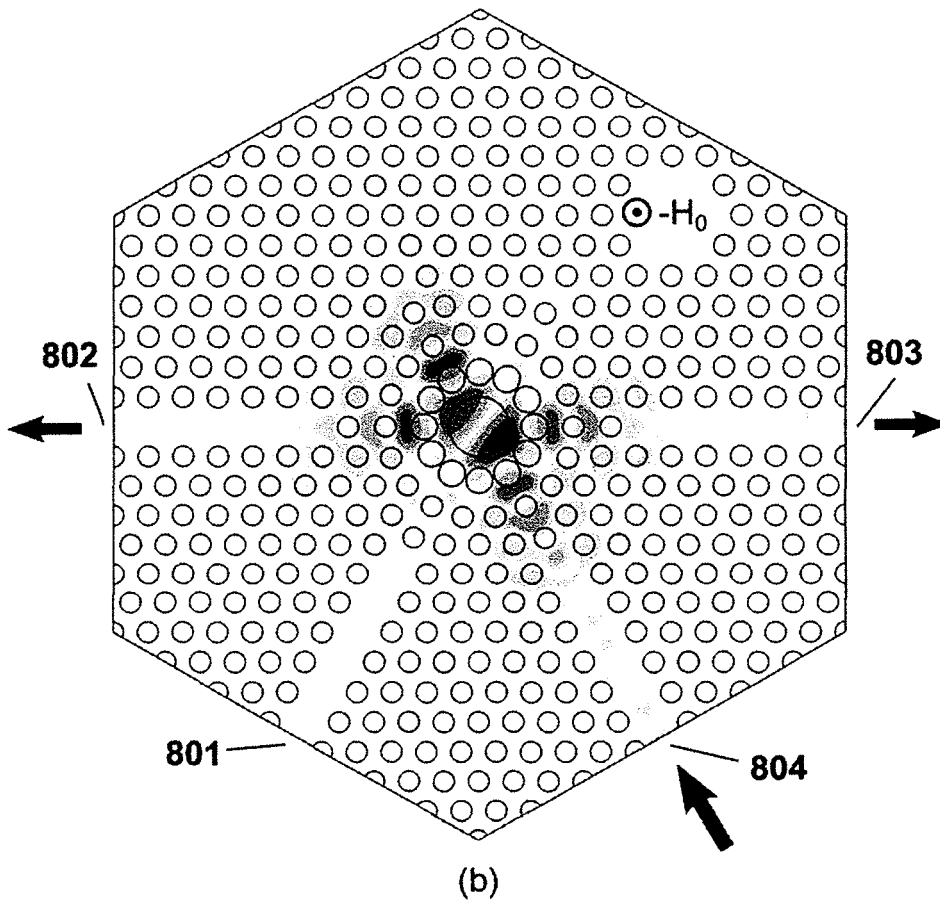
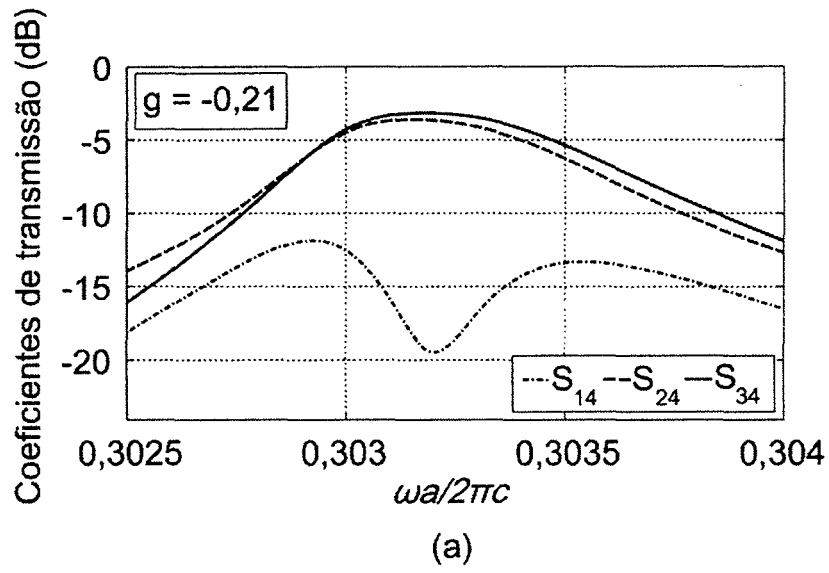


Fig. 8

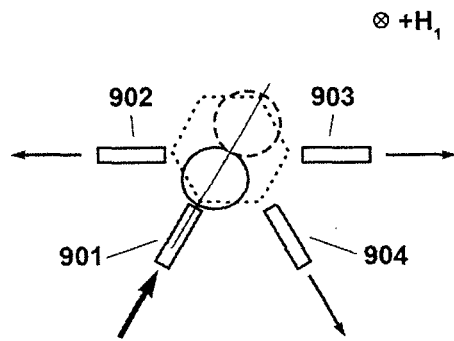
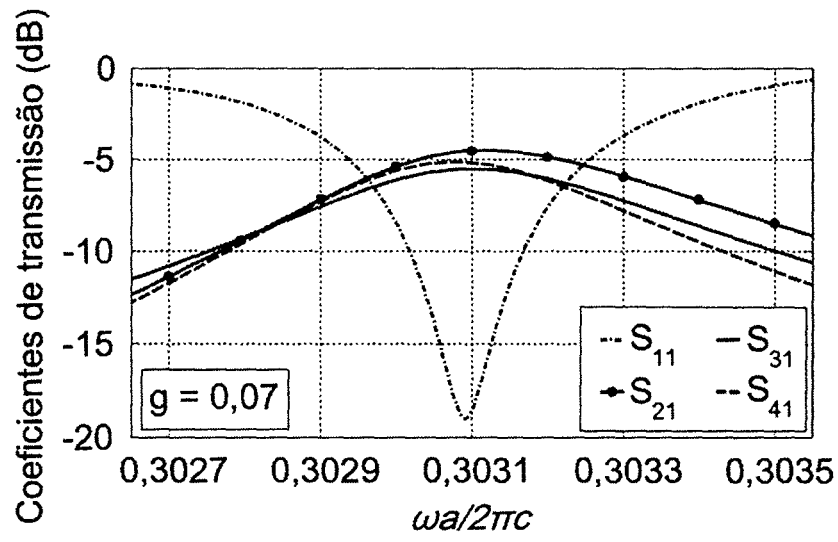
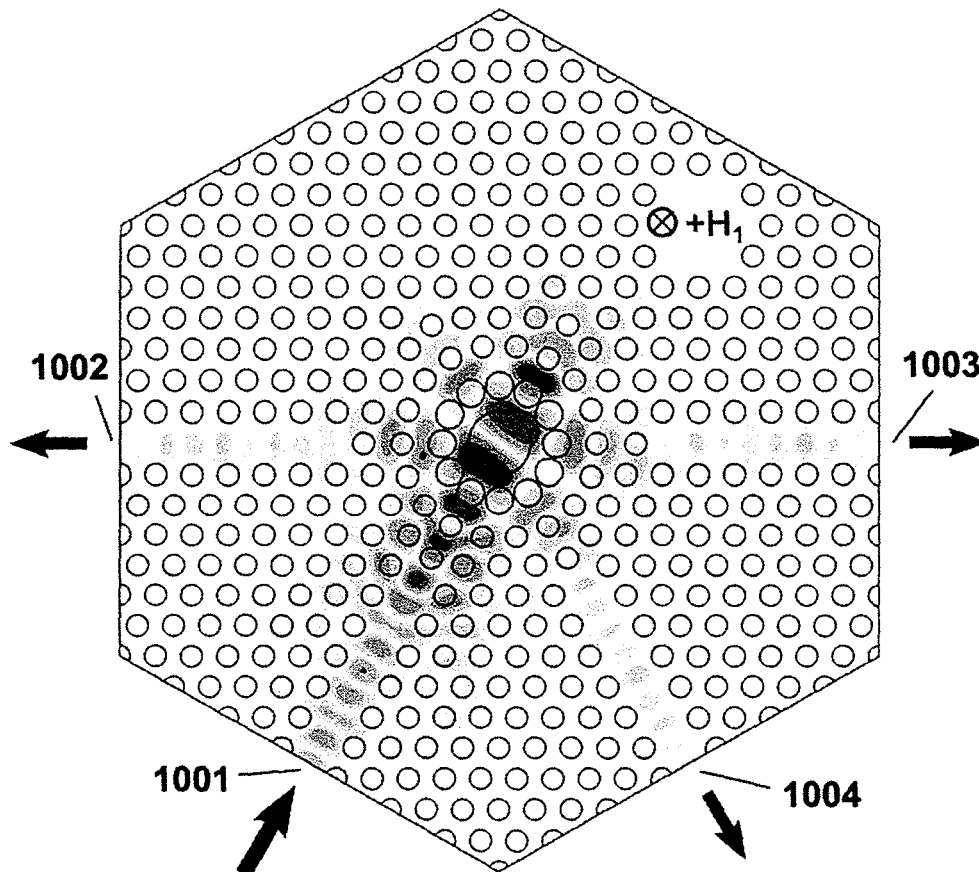


Fig. 9



(a)



(b)

Fig. 10