

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6361908号  
(P6361908)

(45) 発行日 平成30年7月25日(2018.7.25)

(24) 登録日 平成30年7月6日(2018.7.6)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 J	1/02	(2006.01)	GO 1 J	1/02	R
GO 1 N	21/41	(2006.01)	GO 1 N	21/41	I O I
GO 1 J	1/04	(2006.01)	GO 1 J	1/04	A
HO 1 Q	19/12	(2006.01)	HO 1 Q	19/12	
GO 1 N	21/3581	(2014.01)	GO 1 N	21/3581	

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2014-38817 (P2014-38817)  
 (22) 出願日 平成26年2月28日(2014.2.28)  
 (65) 公開番号 特開2015-161669 (P2015-161669A)  
 (43) 公開日 平成27年9月7日(2015.9.7)  
 審査請求日 平成29年2月17日(2017.2.17)

(73) 特許権者 504145320  
 国立大学法人福井大学  
 福井県福井市文京3丁目9番1号  
 (73) 特許権者 390013815  
 学校法人金井学園  
 福井県福井市学園3丁目6番1号  
 (74) 代理人 100110814  
 弁理士 高島 敏郎  
 (72) 発明者 栗原 一嘉  
 福井県福井市文京三丁目9番1号 国立大  
 学法人福井大学内  
 (72) 発明者 谷 正彦  
 福井県福井市文京三丁目9番1号 国立大  
 学法人福井大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電磁波検出器及び電磁波検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導波部材に電磁波を入射し、この導波部材によって基板に設けられた電磁波検出部に電磁波を集光させて電磁波の検出を行う電磁波検出器において、

前記導波部材が、本体と、この本体に形成され少なくとも表面が電磁波を伝搬して前記電磁波との間で表面プラズモン結合を生じさせる金属で形成されたV溝と、このV溝の頂部に形成され前記電磁波の波長以下の幅寸法を有する出口とを備え、

前記本体は、前記出口で前記金属を前記基板に接触させた状態で前記基板に密接させて設けられ、

前記出口から出射される電磁波の電場の振動方向を前記電磁波検出部によって検出できる電磁波の電場の振動方向に一致させたこと、  
 を特徴とする電磁波検出器。

【請求項 2】

前記V溝による集光率を、前記V溝の頂部の角度、前記V溝に入射される電磁波の集光位置、焦点距離及び前記出口の幅の組み合わせにより調整したことを特徴とする請求項1に記載の電磁波検出器。

【請求項 3】

電磁波発生手段から照射された電磁波を基板に設けられた電磁波検出部に集光させて検出を行う電磁波検出方法において、

表面が電磁波を伝搬して前記電磁波との間で表面プラズモン結合を生じさせる金属で形

成されたV溝と、このV溝の頂部に形成され前記電磁波の波長以下の幅寸法を有する出口とを有する導波部材を準備し、

前記導波部材の前記出口で前記金属を前記基板に密接させ、

前記電磁波発生手段から照射された電磁波を前記V溝に入射させ、

前記出口から出射される電磁波の電場の振動方向を前記電磁波検出部によって検出できる電磁波の電場の振動方向に一致させたこと、

を特徴とする電磁波検出方法。

【請求項4】

前記V溝による集光率を、前記V溝の頂部の角度、前記V溝に入射される電磁波の集光位置、焦点距離及び前記出口の幅の組み合わせにより調整したことを特徴とする請求項3に記載の電磁波検出方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁波検出のための電磁波検出器に関し、特に、周波数10GHz～30THz、波長30mm～10μmの周波数領域の電磁波を検出するための電磁波検出器及び電磁波検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

図9に従来の電磁波検出器の構成例を斜視図で示す。図9に示す公知の光スイッチ素子を含む電磁波検出器4は、GaAs等で形成された基板41と、この基板41の一方の面に形成された低温成長GaAs等の光伝導膜41aと、この光伝導膜41a上に所定形状でパターンニングされた2つの金属膜等の導電膜42, 42とを有している。2つの導電膜42, 42には凸部42a, 42aが形成され、二つの凸部の間には電磁波が通過する間隙42bが設けられている。そして、このようにパターンニングされた2つの金属膜等の導電膜42, 42により、ダイポールアンテナやボウタイアンテナなどが形成される。また、基板41の他方の面には、前記ダイポールアンテナやボウタイアンテナに電磁波を集光するためのシリコンレンズ43が配置されている(例えば特許文献1, 2参照)。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0003】

【特許文献1】特開2002-223017号公報(段落0004～0006の記載参照)

【特許文献2】特開2004-207288号公報(段落0003～0006の記載参照)

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】2013年第60回応用物理学会春期学術講演会予稿集

【非特許文献2】OPTICS EXPRESS Vol.20, No.8 8355 (9 April 2012)

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特にTHz光を検出する電磁波検出器に使用されるシリコンレンズは価格が高く、電磁波検出器のコスト高になるという問題がある。

また、シリコンレンズのような光学レンズによる集光効果には限界があり、例えばシリコンレンズでは波長の半分程度が限界であると言われている。そのため、検出効果をさらに向上させるために、アンテナの感度を高めたり、レーザー発振器の種類を代えたり出力を高めたりするなどの工夫がなされているが、装置が大型化したりコスト高になったりするなどの問題がある。

本発明はこのような問題を解決するためになされたものである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

上記課題を解決するために本発明の発明者は、シリコンレンズに着目した。そして、このシリコンレンズを同様の作用を奏する他の導波部材に置換できないかを検討した。

シリコンレンズを他の導波部材に置き換える場合、どのようにして電磁波を効率良く基板（図9の符号41参照）の反対側に位置するアンテナ（同符号42b参照）に集光させるか及び基板からの反射をいかにして抑制するかが大きな課題となる。

ところで、テラヘルツ光等の電磁波の増強には、金属との表面プラズモン共鳴を利用したものが知られており、内面が金属で形成されたV溝に電磁波を導入し、その頂部に集光させることで電磁波を増強できることが知られている（例えば非特許文献1, 2参照）。

10

## 【0007】

本願発明の発明者はこのような金属V溝を導波部材として利用できないかを検討した。V溝の頂部に形成する電磁波の出口の幅を小さくすることで、基板からの反射を最小に抑制できると予測した。その一方で、V溝を形成した金属ブロックとアンテナとの間には0.4~0.7mm程度の肉厚を有する基板（図9の符号41参照）が介在していることから、V溝の前記出口から射出された電磁波が拡散してしまい、シリコンレンズの代用にはならないと考えられた。

## 【0008】

しかし、本願発明の発明者が鋭意実験を行ったところ、V溝を有する金属等のブロックを基板に密着させ、前記V溝に電磁波を導入することで、シリコンレンズよりも高い電磁波の集光効果を確認することができた。出口の幅は電磁波の波長よりも小さくすればよいこともわかった。

20

具体的に本願発明の電磁波検出器は、導波部材に電磁波を入射し、この導波部材によって基板に設けられた電磁波検出部に電磁波を集光させて電磁波の検出を行う電磁波検出器において、前記導波部材が、本体と、この本体に形成され少なくとも表面が電磁波を伝搬して前記電磁波との間で表面プラズモン結合を生じさせる金属で形成されたV溝と、このV溝の頂部に形成され前記電磁波の波長以下の幅寸法を有する出口とを備え、前記本体は、前記出口で前記金属を前記基板に接触させた状態で前記基板に密接させて設けられ、前記出口から出射される電磁波の電場の振動方向を前記電磁波検出部によって検出できる電磁波の電場の振動方向に一致させた構成としてある。前記V溝による集光率は、前記V溝の頂部の角度、前記V溝に入射される電磁波の集光位置、焦点距離及び前記出口の幅の組み合わせにより調整することが可能である。

30

## 【0009】

本願発明の電磁波検出方法は、電磁波発生手段から照射された電磁波を基板に設けられた電磁波検出部に集光させて検出を行う電磁波検出方法において、表面が電磁波を伝搬して前記電磁波との間で表面プラズモン結合を生じさせる金属で形成されたV溝と、このV溝の頂部に形成され前記電磁波の波長以下の幅寸法を有する出口とを有する導波部材を準備し、前記導波部材の前記出口で前記金属を前記基板に密接させ、前記電磁波発生手段から照射された電磁波を前記V溝に入射させ、前記出口から出射される電磁波の電場の振動方向を前記電磁波検出部によって検出できる電磁波の電場の振動方向に一致させた方法としてある。

40

前記V溝による集光率は、前記V溝の頂部の角度、前記V溝に入射される電磁波の集光位置、焦点距離及び前記出口の幅の組み合わせにより調整が可能である。

## 【発明の効果】

## 【0010】

本発明においては、導波部材は安価かつ簡単に製造することが可能であるため、電磁波検出器のコストを低減することができる。また、前記V溝の頂部の角度、前記V溝に入射される電磁波の集光位置、焦点距離及び前記出口の幅の組み合わせにより、集光効果をシリコンレンズ等の光学レンズよりも数倍に高めることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

50

## 【 0 0 1 1 】

以下、本発明の好適な実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

図 1 に、本発明の電磁波検出器及び電磁波検出方法に用いられる導波部材の一実施形態を概略平面図で示す。

この実施形態において電磁波を集光させて基板に導入する導波部材は、図 1 に示すように、ブロック状の本体 1 とこの本体 1 に形成された V 形の溝（以下、「V 溝」と記載する）2 とを有する。

## 【 0 0 1 2 】

電磁波であるテラヘルツ光（以下「THz 光」と記載する）を V 溝 2 の内表面の金属の表面プラズモンと結合させ、V 溝 2 の頂部に集光させることで THz 光を増強することができる。この原理は、例えば、OPTICS EXPRESS Vol.20, No.8 8355 (9 April 2012) に掲載された K. Iwaszczuk らによる "Terahertz field enhancement to the MV/cm regime in a tapered parallel plate waveguide" 等で知られている。

表面プラズモン結合を生じさせるものであれば、金属の種類は特に問わないが、金 (Au) や銀 (Ag) を好適に用いることができる。アルミニウムや鉄などで形成された金属製の本体 1 に V 溝 2 を形成し、V 溝 2 の表面に金 (Au) や銀 (Ag) 等の金属をメッキ又は蒸着等してもよいし、樹脂やセラミック等の非金属材料の本体 1 に V 溝 2 を形成し、V 溝 2 の内面に金 (Au) や銀 (Ag) 等の金属層を形成してもよい。本体 1 を金 (Au) や銀 (Ag) 等で形成して V 溝 2 を形成するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 3 】

V 溝 2 の頂部に形成され THz 光が射出される出口の幅 D は、THz 光の波長よりも小さい幅寸法にするのが好ましい。例えば、THz 光の波長が  $300 \mu\text{m}$  の場合は、幅 D は  $300 \mu\text{m}$  以下とするのとよい。出口の幅は狭いほど集光効果を高めることができる。なお、V 溝 2 の頂部側に、前記出口と連通するように出口の幅と同一幅の平行部を形成してもよい。

上記構成の導波部材は、図 1 に示すように、V 溝 2 の出口から射出される THz 光の電場の振動方向が導電膜 4 2, 4 2 によって構成されるダイポールアンテナやボウタイアンテナの電場の受信方向と一致するように、本体 1 の V 溝 2 頂部側（出口側）を基板 4 1 に密着させた状態で取り付けられる。

## 【 0 0 1 4 】

図 2 は、本体 1 を用いた集光効果を示すグラフで THz 光（ビーム集束角が  $18.6^\circ$ ）の時間波形で、横軸は時間、縦軸は検出器からの出力信号である。図 2 (a) は  $\theta = 18^\circ$  の V 溝 2 を有する本体 1 を用いた場合、(b) は同  $\theta = 36^\circ$  の V 溝 2 を有する本体 1 を用いた場合、(c) はシリコンレンズを用いた場合、(d) はシリコンレンズ及び本体 1 を装着しない場合（非装着：基板 4 1 のみの場合）を示している。その結果、

- (a) シリコンレンズ：  $1249\text{pA}(=727.8\text{pA}+|-521.1\text{pA}|)$
- (b) V 溝  $\theta = 18^\circ$  :  $1034\text{pA}(=497.6\text{pA}+|-536.3\text{pA}|)$
- (c) V 溝  $\theta = 36^\circ$  :  $147.0\text{pA}(=74.40\text{pA}+|-72.60\text{pA}|)$
- (d) 非装着：  $91.4\text{pA}(=44.1\text{pA}+|-47.3\text{pA}|)$

という結果を得た。

このグラフから、V 溝 2 によってシリコンレンズとほぼ同等の集光効果が得られることがわかる。また、V 溝 2 の角度  $\theta$  が集光効果に影響を与えることがわかる。

## 【 0 0 1 5 】

図 3 は、上記構成の導波部材に軸外し放物面反射鏡である楕円ミラー 3 6 を使って THz 光を入射させるときの概略説明図である。

なお、図 3 の導波部材には、本体 1 の V 溝 2 の頂部側に、出口の幅 D と同一幅の平行部 2 1 を設けている。この平行部 2 1 は、切削加工や研磨加工等によって、精密かつ微細な幅寸法の出口を有する導波部材（本体 1）を金属ブロックから削成する際などに必要とされるものである。図 3 の装置の例では、平行部 2 1 の長さは  $5 \text{mm}$  としてある。

楕円ミラー 3 6 は本体 1 に対して軸線方向（電磁波の進行方向 C、図 9 参照）に進退移動自在で、楕円ミラー 3 6 の中心から V 溝 2 の頂部までの距離 L を軸線方向に調整できる

10

20

30

40

50

ようになっている。

図3の実験装置を使って行った実験結果を以下に示す。

【0016】

[実施例1]

$I = 130\text{mA}$ ,  $T=25.0$ ,  $R3(\text{eff}) = 5.00\%$ ,  $L1=20\text{cm}$ ,  $L2=30\text{cm}$  (図8参照), Roundtrip Frequency = 300MHz、バイアス電圧:正弦波  $V_{p-p} = 100\text{V}$ (40kHz)、レーザー光の周波数(4.2GHzの整数倍)、出口の幅  $D: 72\mu\text{m}$ , 楕円ミラーの焦点距離 = 15cm、THz光のビーム集束角 =  $18.6^\circ$ 、V溝2の頂部の角度 =  $18^\circ$ 、基板の肉厚:  $0.4\text{mm}$ の条件で、楕円ミラー36を本体1に対して進退移動させて集光位置  $F$  を  $+5\text{mm} \sim -95\text{mm}$  まで変化させ、集光位置ごとにTHz時間波形を計測した。なお、集光位置  $F$  は、V溝2の頂部を基点(0)として、楕円ミラー36に向かう方向を「+」、楕円ミラー36から遠ざかる方向を「-」とした。その結果を図4, 図5及び以下の表に示す。

図4は、集光位置  $F$  を  $+5\text{mm} \sim -95\text{mm}$  まで変化させたときのTHz光の時間波形、図5は、集光位置  $F$  とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較グラフ、以下の表1は集光位置  $F$  とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較表である。

【0017】

【表1】

$R3(\text{eff}) = 5.00\%$ , Bias Voltage  $100V_{p-p}$ , MVG Gap:  $72\mu\text{m}$

集光位置 (mm)	焦点距離 15 cm
+5	159
0	137
-25	159
-50	207
-65	205
-70	243
-75	209
-80	249
-85	280
-90	228
-91	295
-92	249
-93	334
-94	343
-95	366
シリコン	133

【0018】

図4、図5及び表1からわかるように、この例では、 $-95\text{mm}$ を越えたところで楕円ミラー36が本体1に干渉したためこれ以上の計測が不能となったが、集光位置  $F$  が基点から  $-91\text{mm} \sim -95\text{mm}$  に位置するときがもっとも集光効率が高く、同じ条件でシリコンレンズを用いた場合よりも約2.2倍~2.7倍高くなった。

【0019】

[実施例2]

次に、実施例1と同じ条件で、焦点距離が  $10\text{cm}$  の楕円ミラー36を用いて同様の実

験を行った。本体 1 に対して楕円ミラー 3 6 を軸線方向に進退移動させて集光位置 F を + 5 mm ~ - 4 5 mm まで変化させ、THz 時間波形を計測した。

図 6 は、集光位置 F を + 5 mm ~ - 4 5 mm まで変化させたときの THz 光の時間波形、図 7 は、集光位置 F とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較グラフ、以下の表 2 は集光位置 F とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較表である。

【 0 0 2 0 】

【表 2】

$R_{3(\text{eff})} = 5.00\%$ , Bias Voltage  $100V_{p-p}$ , MVG Gap:  $72\mu\text{m}$

集光位置 (mm)	焦点距離 10 cm
-45	223
-40	435
-35	518
-30	721
-25	455
-20	408
-15	241
-10	353
-5	249
-0	282
5	331
10	207
シリコンレンズ	289

10

20

【 0 0 2 1 】

図 6、図 7 及び表 2 からわかるように、この例では、集光位置 F が基点から - 3 0 mm 前後に位置するときがもっとも集光効率が高く、同じ条件でシリコンレンズを用いた場合よりも約 2 . 5 倍高くなった。

30

上記の実施例 1 , 2 から、本発明の電磁波検出器において導波部材は、V 溝 2 の頂部の角度 及び集光位置 F とによって集光効率が大きく変化するが、実験等によって最適の角度 及び集光位置 F を選択すれば、シリコンレンズの少なくとも 2 倍以上の集光効率を得られることがわかる。

【 0 0 2 2 】

図 8 は、本発明の電磁波検出器の構成例を示すブロック図である。

図 8 の電磁波検出器では、全長 H ( 図 1 参照 ) = 3 5 mm のアルミ製の本体 1 を有する導波部材を用いた。また、THz 光発生用励起光源としてフェムト秒レーザー装置を用いた

40

。レーザー装置 3 から照射されたレーザー光は、ビームスプリッター 3 1 によって直進方向と 9 0 度に屈曲する方向に分割され、直進方向のポンプ光はミラー 3 2 a , ビームスプリッター 3 2 b , ミラー 3 2 c , レンズ 3 3 を経てダイポール型光伝導アンテナ 3 4 に入射され THz 光として出力される。この THz 光は、対向配置された一対の楕円ミラー 3 5 , 3 6 を経て本体 1 の V 溝 2 へ導入されて検出側ダイポール型光伝導アンテナ 4 に入射される。

一方、ビームスプリッター 3 2 b で分割されたレーザー光のうち直進方向のレーザー光は、遅延ステージ 3 8 のミラー 3 8 a , 3 8 b を経た後、ミラー 3 8 c , 3 8 d 及びレンズ 3 9 を経てダイポール型光伝導アンテナ 4 に入射される。入射された THz 光はロッキイ

50

ンアンプで増幅された後、P Cによって検出される。

【産業上の利用可能性】

【0023】

本発明は、ミリ波帯、マイクロ波帯及びテラヘルツ波帯を含む領域（周波数10GHz～30THz；30mm～10μm）の電磁波に好適に適用が可能である。また、本発明は各種センシング装置やイメージング装置などに適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】電磁波検出器に用いられる本発明の導波部材の一実施形態を示す概略平面図である。

10

【図2】本体1を用いた増強効果を示すグラフでビーム集束角が18.6°のTHz光の時間波形である。

【図3】本発明の一実施形態にかかる導波部材を電磁波検出器に組み込んだ状態を示すもので、電磁波検出器の軸外し放物面反射鏡を使ってTHz光を導波部材に導入する部分の概略構成図である。

【図4】本発明の第一実施例にかかり、集光位置を+5mm～-95mmまで変化させたときのTHz光の時間波形である。

【図5】本発明の第一実施例にかかり、集光位置とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較グラフである。

【図6】本発明の第二実施例にかかり、集光位置を+5mm～-45mmまで変化させたときのTHz光の時間波形である。

20

【図7】本発明の第二実施例にかかり、集光位置とアンテナからの出力信号のピーク値との関係を示すシリコンレンズとの比較グラフである

【図8】本発明の電磁波検出器の構成例を示すブロック図である。

【図9】従来の電磁波検出器の構成例を示す斜視図である。

【符号の説明】

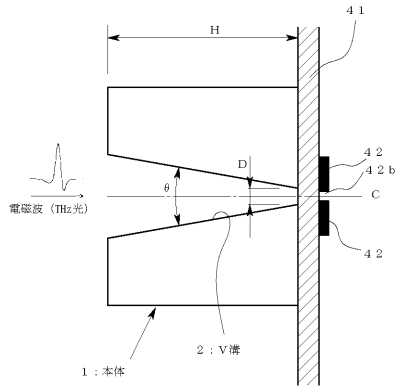
【0025】

- 1 本体
- 2 V溝
- 21 平行部
- 3 レーザー装置
- 4 アンテナ
- 41 基板
- 41a 光伝導膜
- 42 導電膜
- 42a 凸部
- 42b 間隙
- 43 シリコンレンズ
- D 出口の幅寸法
- F 集光位置
- L 楕円ミラーの中心と本体との距離

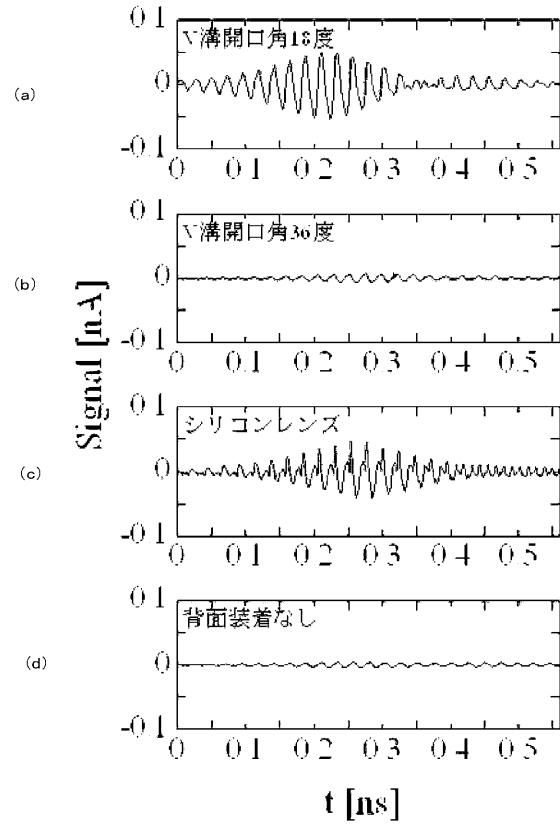
30

40

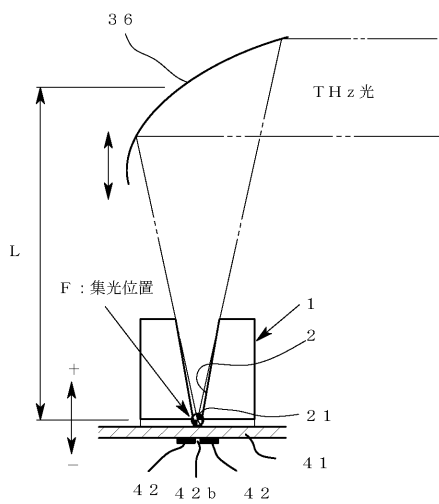
【図1】



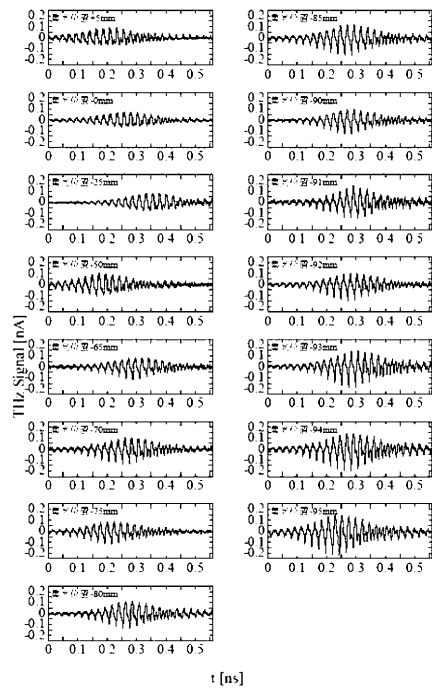
【図2】



【図3】

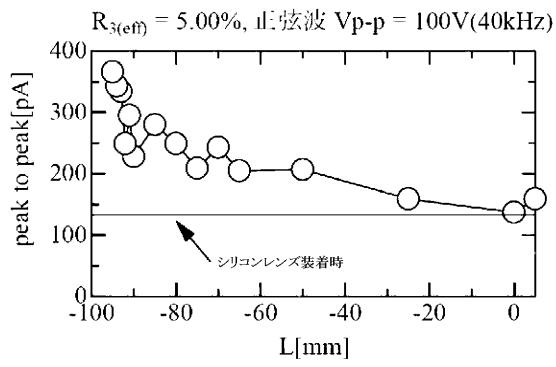


【図4】

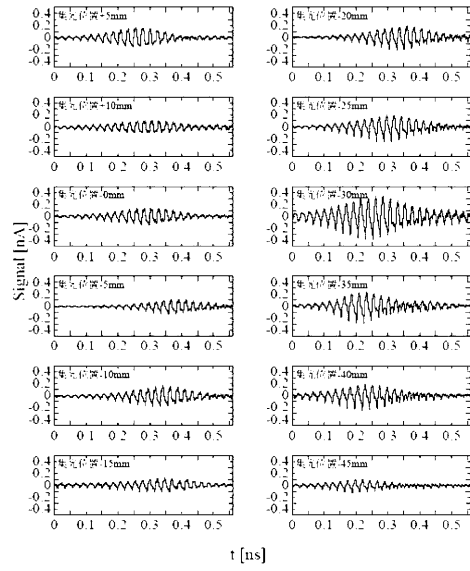




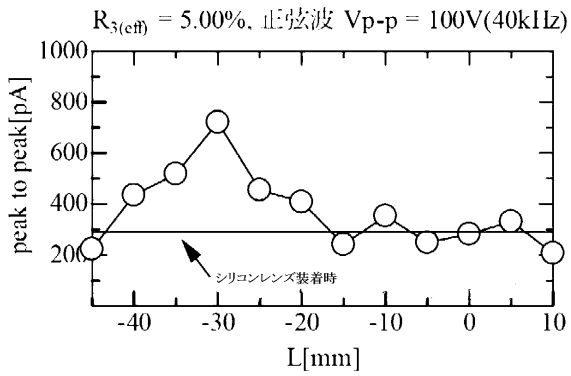
【図5】



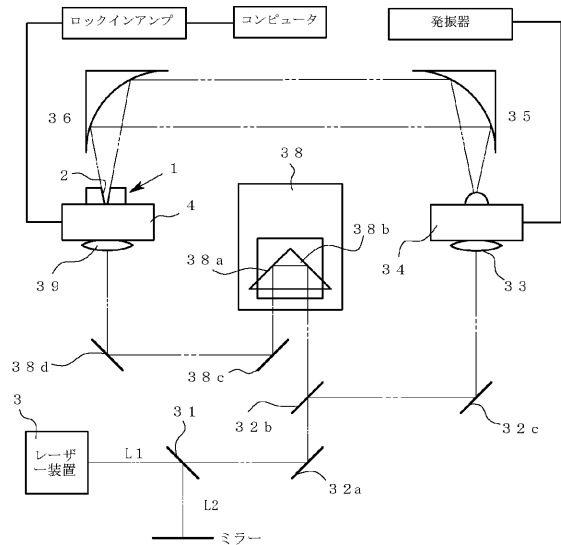
【図6】



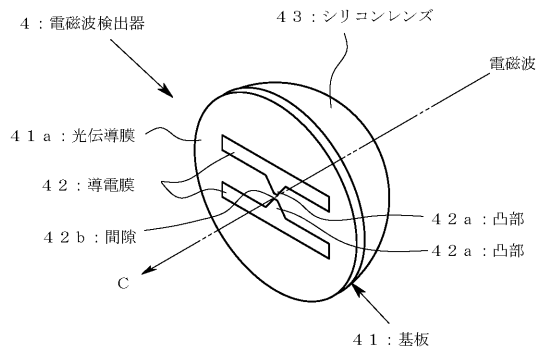
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 山本 晃司  
福井県福井市文京三丁目9番1号 国立大学法人福井大学内
- (72)発明者 古屋 岳  
福井県福井市文京三丁目9番1号 国立大学法人福井大学内
- (72)発明者 桑島 史欣  
福井県福井市学園3丁目6番1号 学校法人金井学園内

審査官 蔵田 真彦

- (56)参考文献 特開2002-223017(JP,A)  
特開2004-207288(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0068270(US,A1)  
都築聡他, 金属V溝構造を用いたテラヘルツ波の超集束効果の研究, 遠赤外線領域開発研究, 2012年7月, 13, 116-125  
Sang-Hoon Kim et al., Improvement of THz coupling using a tapered parallel-plate waveguide, Optics Express, 2010年, 18, 2, 1289-1295

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 1/00 - 1/60、5/00 - 5/62、11/00  
G01N 21/00 - 21/01、21/17 - 21/61  
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)