

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6196787号

(P6196787)

(45) 発行日 平成29年9月13日(2017.9.13)

(24) 登録日 平成29年8月25日(2017.8.25)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 N 5/33 (2006.01)

H O 4 N 5/33

G O 1 N 21/3581 (2014.01)

G O 1 N 21/3581

G O 1 N 21/27 (2006.01)

G O 1 N 21/27

A

H O 4 N 5/369 (2011.01)

H O 4 N 5/369

H O 4 N 5/374 (2011.01)

H O 4 N 5/374

請求項の数 20 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-46193 (P2013-46193)  
 (22) 出願日 平成25年3月8日(2013.3.8)  
 (65) 公開番号 特開2014-175819 (P2014-175819A)  
 (43) 公開日 平成26年9月22日(2014.9.22)  
 審査請求日 平成28年3月7日(2016.3.7)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100086483  
 弁理士 加藤 一男  
 (72) 発明者 関口 亮太  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内  
 (72) 発明者 尾内 敏彦  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内  
 審査官 鈴木 明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像形成装置、及びイメージングシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体からの電磁波を用いて画像を形成する画像形成装置であって、  
 ループアンテナ、及び前記ループアンテナと接続している整流素子を備えた複数の画素  
 と、

所定の周期をもつ信号を発生し且つ前記信号を前記複数の画素のそれぞれに伝送線を介  
 して供給する信号発生部と、

前記複数の画素のそれぞれと接続しており、前記複数の画素のそれぞれからの信号を伝  
 送する走査線と、を有し、

前記複数の画素のそれぞれは、前記所定の周期をもつ信号を用いて前記整流素子からの  
 信号を周波数変換する周波数変換素子を備えることを特徴とする画像形成装置。

10

【請求項 2】

被写体からの電磁波を用いて画像を形成する画像形成装置であって、  
 対数周期アンテナ、及び前記対数周期アンテナと接続している整流素子を備えた複数の  
 画素と、

所定の周期をもつ信号を発生し且つ前記信号を前記複数の画素のそれぞれに伝送線を介  
 して供給する信号発生部と、

前記複数の画素のそれぞれと接続しており、前記複数の画素のそれぞれからの信号を伝  
 送する走査線と、を有し、

前記複数の画素のそれぞれは、前記所定の周期をもつ信号を用いて前記整流素子からの

20

信号を周波数変換する周波数変換素子を備えることを特徴とする画像形成装置。

【請求項 3】

前記ループアンテナは、2つの端部を有しており、  
前記2つの端部の間に前記整流素子が配置されていることを特徴とする請求項1に記載の画像形成装置。

【請求項 4】

前記整流素子は、ショットキー障壁ダイオードであることを特徴とする請求項1から3  
のいずれか一項に記載の画像形成装置。

【請求項 5】

前記周波数変換素子はミキサであることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の画像形成装置。

10

【請求項 6】

前記複数の画素のそれぞれは、さらに、前記周波数変換された信号が入力されるローパスフィルタを有することを特徴とする請求項1から5のいずれか一項に記載の画像形成装置。

【請求項 7】

前記信号発生部は、10kHzから200MHzの周波数をフーリエ成分に含む前記所定の周期をもつ信号を生成することを特徴とする請求項1から6の何れか1項に記載の画像形成装置。

【請求項 8】

前記伝送線に、位相シフトを設けて、前記画素間における前記所定の周期をもつ信号の位相差を補償することを特徴とする請求項1から7の何れか1項に記載の画像形成装置。

20

【請求項 9】

前記複数の画素のそれぞれと前記走査線との間にスイッチが配置されていることを特徴とする請求項1から8の何れか1項に記載の画像形成装置。

【請求項 10】

前記複数の画素のそれぞれは、前記所定の周期をもつ信号とは別の所定の周期をもつ信号を供給するための伝送線に接続されており、

前記複数の画素のそれぞれは、前記周波数変換素子とは別の周波数変換素子をさらに備えることを特徴とする請求項1から9の何れか1項に記載の画像形成装置。

30

【請求項 11】

前記複数の画素のそれぞれは、直交型の複数の周波数変換素子を備えることを特徴とする請求項1から10の何れか1項に記載の画像形成装置。

【請求項 12】

前記周波数変換素子は、パッシブミキサであることを特徴とする請求項1から11の何れか1項に記載の画像形成装置。

【請求項 13】

前記電磁波は、テラヘルツ波であることを特徴とする請求項1から12の何れか1項に記載の画像形成装置。

【請求項 14】

請求項1から13の何れか1項に記載の画像形成装置と、  
被検体に対して電磁波のアクティブ照明を行う照射手段と、  
前記整流素子は前記被検体からの電磁波を検出することを特徴とするイメージングシステム。

40

【請求項 15】

前記照射手段は、前記アクティブ照明の電磁波の周波数ないし振幅を変調するための変調手段を含むことを特徴とする請求項14に記載のイメージングシステム。

【請求項 16】

前記照射手段は、前記変調手段における変調周波数の情報を取得する管理手段を備えており、

50

前記画像形成装置は、前記管理手段が取得した前記変調周波数の情報に基づいて前記信号発生部の発生する信号の周波数を制御する制御手段を備えることを特徴とする請求項 15 に記載のイメージングシステム。

【請求項 17】

前記照射手段は、前記変調手段における位相の情報を取得する管理手段を備えており、前記画像形成装置は、前記管理手段が取得した前記位相の情報に基づいて前記信号発生部の発生する信号の位相を制御する制御手段を備えることを特徴とする請求項 15 または 16 に記載のイメージングシステム。

【請求項 18】

前記制御手段は、前記管理手段の管理する前記変調周波数及び位相のうちの少なくとも 1 つの情報を、RF を用いて受信することを特徴とする請求項 16 または 17 に記載のイメージングシステム。

【請求項 19】

前記被検体と二次元アレイ状に配列された前記整流素子との間に配置される対物レンズを含むことを特徴とする請求項 14 から 18 の何れか 1 項に記載のイメージングシステム。

【請求項 20】

被写体からの電磁波を用いて画像を形成する画像形成装置であって、  
複数の画素と、  
所定の周期をもつ信号を発生する信号発生部と、  
前記信号発生部からの前記信号を前記複数の画素のそれぞれに送る伝送線と、  
前記複数の画素のそれぞれと接続しており、前記複数の画素のそれぞれからの信号を送る走査線と、を有し、  
前記複数の画素のそれぞれは、ループ構造、前記ループ構造と接続している整流素子、及び前記所定の周期をもつ信号を用いて前記整流素子からの信号を周波数変換する周波数変換素子を備えることを特徴とする画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像形成装置、イメージングシステム等に関する。特に、例えば、二次元アレイ検出素子、これを用いた同期検出型の画像形成装置及びイメージングシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（30GHz から 30THz まで）の周波数領域のうちの少なくとも一部の周波数成分を含む電磁波の検出を行い、二次元配置された画素毎の強度をイメージングすることができる画像形成装置の開発が始まっている。前記電磁波を、以後、単にテラヘルツ波などとも呼ぶ。こうした開発の開始は、テラヘルツ波が以下のような性質を有しており、産業に有用と考えられているからである。第一に、X 線の様に非金属物質を透過する。第二に、生体分子や医薬品などに固有の吸収スペクトルがこの周波数帯に多数存在する。第三に、多くのイメージング用途に必要な空間分解能を有する。以上の特徴から、テラヘルツ波の応用分野として、物質内部の分光分析技術、X 線に代わる安全な透視イメージング装置、生体分子や医薬品の解析技術などが考えられている。

【0003】

このような周波数領域における画像形成装置を構成する検出素子には、従来、熱検出を用いるものが多い。これらは直接検出またはビデオ検出と呼ばれ、素子における低周波雑音、例えば 1/f 雑音などの影響を受けやすい検出方式であった。電磁波の検出方式としては、直接検出と異なる方法で、同期検波と呼ばれる方法が知られている。同期検波は、検出したい電磁波を RF などと時間的に変調し、検出素子で検出した変調信号を RF と同期したリファレンス信号を用いて復調し、検出信号に戻し、検出するものである。この方式

10

20

30

40

50

は、通常、電磁波検出素子における低周波雑音の影響を受けにくい。最近では、ミリ波帯からテラヘルツ帯までの周波数領域における熱検出以外の方式も開発されている。そのため、このような同期検波の性質を利用すれば、低雑音・高感度に画像形成・撮像を行うことの出来る二次元アレイ検出素子の実現可能性がある。

【 0 0 0 4 】

特許文献 1 は、光領域における画像形成センサ装置において、画素全ての分の変調信号を、最後にまとめて復調するといった方法を開示している。この方法は、市販されている撮像装置をそのまま利用することができる方法であるため、非常に簡便である。条件さえ整えば、通常のテレビを見るように画像をリアルタイム動画として高感度に撮影することが可能である。特許文献 2 は、同様に光領域における画像形成センサ装置において、画素内に記憶セルを配備して同期検波を行う装置を開示している。撮影の間に信号が画素から完全に読出されなければならない CCD (容量結合デバイス) の制限を回避することができる。特許文献 3 は、ミリ波帯における画像形成のためのヘテロダイン検波装置を開示するもので、被検体から発せられた微弱な電磁波を撮影することが可能である。特許文献 3 に記載の先行技術は、ミリ波ヘテロダイン検波における中間周波数信号を読み出すため画素の数だけ高周波配線や高周波用スイッチ或いはフィルタ (アンプ含む) が必要である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 2 7 2 3 3 4 号公報

20

【特許文献 2】特表平 1 0 - 5 0 8 7 3 6 号公報

【特許文献 3】特開平 0 9 - 1 9 7 0 4 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献 1 に記載の先行技術において、リアルタイム動画のビデオレートを確認しようとする、変調周波数として高周波 (例えば 2 0 0 M H z ) を選択しなくてはならない。その結果、撮像後の信号を処理するために高周波配線や高周波用スイッチ、フィルタ (アンプ含む) が必要となる。また、高画素になるほど高い変調周波数が求められる。また、特許文献 2 に記載の先行技術は、記憶セルを用いて時間的に積分された離散的な信号を扱うため、リアルタイム動画を目的とするものではなかった。本発明はかかる課題を鑑みてなされたものであり、その目的は、例えばリアルタイム動画のビデオレートを落とすことなく、画像形成装置の信号 / 雑音比 ( = S / N 比 ) を向上する技術を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の画像形成装置は、被写体からの電磁波を用いて画像を形成する画像形成装置であって、ループアンテナまたは対数周期アンテナ、及び前記ループアンテナまたは対数周期アンテナと接続している整流素子を備えた複数の画素と、所定の周期をもつ信号を発生し且つ前記信号を前記複数の画素のそれぞれに伝送線を介して供給する信号発生部と、前記複数の画素のそれぞれと接続しており、前記複数の画素のそれぞれからの信号を伝送する走査線と、を有し、前記複数の画素のそれぞれは、前記所定の周期をもつ信号を用いて前記整流素子からの信号を周波数変換する周波数変換素子を備える。また、本発明のイメージングシステムは、前記画像形成装置と、被検体に対して電磁波のアクティブ照明を行う照射手段と、を含み、前記整流素子は前記被検体からの電磁波を検出することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、各画素において、周波数変換すなわち復調の処理が可能になる。各画素から読み出しされるべき信号は、高い変調周波数の成分を含む変調信号から、ベースバン

50

ドの信号に周波数変換されている。ベースバンドの信号のバンド幅は、フレームレートのオーダーと等しく、通常は狭いため、従来よりも低い変調周波数の選択が可能である。言い換えると、従来よりも低い変調周波数の選択を行っても、フレームレートを落とす必要もない。また、各画素からの信号は上述のとおりベースバンドの信号になるため、以降の回路に高周波部品は必要ない。つまり、読み出し回路を比較的安価な部品で構成することができる。そして、同期検波の好ましい性質を利用して、低雑音・高感度に画像形成・撮像などを行うことの出来る画像形成装置、イメージングシステム等を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

10

【図 1】本発明の実施形態 1 に係る画像形成装置の構成を示す図。

【図 2】実施形態 1 の変形例に係る画像形成装置の画素構成を示す図。

【図 3】実施形態 2 に係るアレイ検出素子とこれを含むイメージングシステムを示す図。

【図 4】実施形態 2 に係る被検体からの電磁波信号のフーリエスペクトルを示す図。

【図 5】実施形態 2 の変形例に係るイメージングシステムの構成を示す図。

【図 6】実施例 1 に係るアレイ検出素子とこれを用いた画像形成装置を示す図。

【図 7】実施例 2 に係るアレイ検出素子とこれを用いた画像形成装置を示す図。

【図 8】実施例 1 の画像形成装置とテラヘルツ波照射手段を用いたイメージング例の図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

20

本発明は、例えば数kHzから数百MHzまでに変調されたテラヘルツ波などの電磁波が照射された被写体をアクティブイメージングするための構成に係る。これに基づいて構築された、撮像手段である画像形成装置、画像形成装置とアクティブ照明を行う照射手段とを含むイメージングシステムなどを本実施形態に記載する。

【 0 0 1 1 】

以下、図を用いて本発明の実施形態及び実施例を説明する。

(実施形態 1)

実施形態 1 に係る画像形成装置について、図 1 を用いて説明する。図 1 ( a ) は本実施形態の画素の配列を示す模式図であり、読み出し線 ( スイッチを介して画素からの信号を読み出すための走査線 ) と正弦波伝送線 ( 所定の周期をもつ信号を画素に供給するための伝送線 ) がそれぞれの画素に導かれている。ここで、1 0 1 は、被写体からの電磁波を検出する電磁波検出素子を備えた画素であり、同等の構造が二次元的に複数配列されている。二次元には限られず、一次元でもよい。1 0 2 は、所定の周期をもつ信号を発生する信号発生部である正弦波発生部、1 0 3 は正弦波伝送線である。本実施形態では数kHzから数百MHzまでの周波数が選ばれる。例えば、1 0 kHz ~ 1 0 0 MHz である。1 0 4 は y アドレス回路、1 0 5 は y 読み出し線スイッチである。y アドレス回路 1 0 4 は、アドレスしたい読み出し線 1 0 6 における y 読み出し線スイッチ 1 0 5 を操作する。同じように、x アドレス回路 1 0 7 は、アドレスしたい読み出し線 1 0 9 における x 読み出し線スイッチ 1 0 8 を操作する。1 1 0 は、各画素 1 0 1 に接続されたトランジスタであり、画素 1 0 1 における信号電流・電荷を読み出すための選択スイッチとなる。x アドレス回路 1 0 7、y アドレス回路 1 0 4 には、各画素から逐次送られてくる検出信号の読み出し回路 ( 不図示 ) を内蔵しておいてもよい。

30

40

【 0 0 1 2 】

図 1 ( b ) は本実施形態の一画素を示す模式図である。画素は、電磁波検出素子 1 1 1、検出信号を増幅するための増幅器 1 1 2、所定の周期をもつ信号を用いて電磁波検出素子の出力を周波数変換するための周波数変換素子である周波数変換器 1 1 3 などによって構成される。検出素子 1 1 1 からの検出信号は、画素に導かれた正弦波信号 1 1 4 と混合されて、復調されたアナログ信号 1 1 5 となる。被写体からの検出信号は、例えば 1 MHz で変調されており ( 図 1 ( b ) 中における正弦波状の時間波形 )、そこへ 1 MHz の正弦波信号 1 1 4 を混合する。ミキサなどの周波数変換器 1 1 3 を用いれば、( 1 - 1 ) MHz = 0 Hz

50

=DC ( 直流 ) のように、復調信号は理論的には 0 Hz ( 図 1 ( b ) 中における正弦波状の時間波形のエンベロップ ) となる。これは、通信技術におけるホモダイン検波と等しい。故に、通信技術における公知の技術、公知の素子を画素 1 0 1 に集積することも可能である。あるいは、0.99 MHz の正弦波信号 1 1 4 を混合すると、 $(1 - 0.99) \text{ MHz} = 10 \text{ kHz}$  のように、周波数を変換することもできる。これもヘテロダイン検波として知られており、公知の技術、公知の素子を画素 1 0 1 に集積することも可能である。実質的には、0 Hz の信号とはベースバンドに所属する検出信号のことで、被検体がダイナミックに動けば、その動きに応じて AC ( 交流 ) 成分を有する。通常の被写体はそれほど速く動かないので、大きくても数 kHz までの帯域幅を確保すれば十分である。通常の 30 fps、60 fps 程度のリアルタイム動画のベースバンドとしては、同程度のオーダーで十分である。

10

#### 【 0 0 1 3 】

このように被検体からの検出信号の周波数 ( 帯 ) をシフトさせるのは、次のような利点があるからである。それは、典型的な電磁波検出素子 1 1 1 が DC から 10 kHz 程度までは低周波領域に雑音を有しており、検出素子 1 1 1 からの信号の S / N 比が比較的小さいからである。初段の増幅器 1 1 2 の入力側雑音も同様の傾向である。したがって、正弦波信号 1 1 4 は 10 kHz 以上が好ましい。正弦波信号 1 1 4 の周波数は高周波領域を用いてもよいが、概ね 200 MHz までであれば、正弦波発生部 1 0 2、正弦波伝送線 1 0 3 が比較的安価に構成できる。画素数が比較的大規模で、本実施形態の配列の物理的長さが大きくなる場合、正弦波伝送線 1 0 3 の電気長も大きくなる。干渉、フェージング等の問題も発生するため、例えば、配列の長さが 30 cm 程度であれば、典型的には 100 MHz ( 真空中の物理長さに換算して 3 m ) 以下が好ましい。もちろん、これを避けるために、伝送線 1 0 3 に位相シフトを設けて画素間の正弦波 ( 所定の周期をもつ信号 ) の位相差を補償すれば、こうした問題は回避することができる。

20

#### 【 0 0 1 4 】

こうした理由のため、図 1 ( a ) のように所定の周期をもつ信号の伝送線 1 0 3 が各画素 1 0 1 に接続されていることが本発明の特徴となる。また、各画素 1 0 1 において、正弦波信号 1 1 4 入力に対して、各画素からの信号 1 1 5 出力はベースバンドの信号になる。故に、これより後段側の回路 ( 例えば、スイッチ 1 1 0、1 0 8、1 0 5、配線 1 0 6、1 0 9 など ) に高周波部品は必要ない。各画素からの信号 1 1 5 のバンド幅は上述の如く狭いため、画素数と一画素に必要なバンド幅の積は比較的小さくすることができる。故に、変調周波数は、従来よりも低く設定することが可能になり、例えば画素数  $1000 \times 30$  でリアルタイム動画の 30 fps を確保したい場合、例えば、約 9.9 MHz などと低く設定することもできる。これは、各画素からの信号 1 1 5 のバンド幅を 30 Hz と想定した場合の見積もりである。最終的には、x アドレス回路 1 0 7 などにおける検出信号の読み出し回路 ( 不図示 ) には、この程度の変調周波数の処理能力があればよく、もちろん、これらを安価な部品で構成することができる。

30

#### 【 0 0 1 5 】

本実施形態において、画素の型のパターンは幾つかある。図 2 は、本実施形態の一画素を示す模式図であり、図 2 ( a )、( b )、( c ) は、図 1 ( b ) の他の変形例である。図 2 ( a ) は、復調信号の最終段に、周波数変換された信号が入力されるローパスフィルタ 1 1 6 を意図的に挿入したもので、適切な帯域制限を掛けることで雑音の除去やスプリアス帯域の制限を行うことを目的としている。幅が狭いほど雑音除去能力があるが、動画のフレームレートを落とさないように最適な帯域が存在する。画素における正弦波信号 1 1 4 が被写体からの検出信号の変調周波数と同期している場合、同期検波となるため、S / N 比は比較的大きい。ただし、同期は必須ではない。

40

#### 【 0 0 1 6 】

図 2 ( b ) は、一度に復調せずに、別の周波数変換器 2 1 3 を用いて、いったん中間周波数信号 2 1 5 を用いるスーパーヘテロダイン型の画素構成である。図 2 ( a ) とは別の正弦波信号 2 1 4 がそれぞれの画素に導入されている。このように、画素は、前記所定の周期をもつ信号とは別の所定の周期をもつ信号を供給するための伝送線に接続され、画素に

50

、前記周波数変換素子とは別の周波数変換素子をさらに備える。画素内では２段階で復調することになる。主には、変調周波数を高速でスイッチングしたり、掃引したりするような場合に有効である。２１６は、中間周波数付近だけを通すバンドパスフィルタであり、スプリアス帯域の制限を行うことを目的としており、重要である。

【００１７】

図２（ｃ）は、直交型周波数変換器３１３（ａ）、３１３（ｂ）を用いて、Ｉ相信号３１５（ａ）とＱ相信号３１５（ｂ）を分けて復調するダイレクトコンバージョン型の画素構成である。このように、画素に、直交型の複数の周波数変換素子を備えてもよい。図２（ｂ）におけるバンドパスフィルタ２１６と比較すると、ローパスフィルタ１１６は低周波領域が対象となるため、半導体基板上に集積しやすく、オンチップ型画像形成装置として望ましい。これらは、通信技術に用いられる技術を撮像手段に転用したものであり、公知の技術を画素１０１に集積することも可能である。

10

【００１８】

尚、実施形態１において、正弦波信号１１４を用いて説明してきたが、矩形波や三角波などを用いてもよい。そのフーリエ成分に正弦波信号、余弦波信号が含まれるような信号１１４（所定の周期をもつ信号１１４）であればよい。言い換えれば、信号発生部は、例えば１０kHzから２００MHzの周波数をフーリエ成分に含む所定の周期をもつ信号を生成すればよい。

【００１９】

（実施形態２）

20

実施形態２に係る画像形成装置について、図３を用いて説明する。図３は、本実施形態の画像形成装置とアクティブ照明を行う照射手段（被検体に対して電磁波のアクティブ照明を行う照射手段）とを含むイメージングシステムを示す。ミリ波帯からテラヘルツ帯までの周波数領域では、赤外領域とは異なり、背景黒体輻射のエネルギーが小さいので、通常、アクティブ照明を使用する。

【００２０】

本実施形態で、３００は照射手段であり、テラヘルツ波発生器３０１と変調手段３０２とによって構成されている。発生器３０１は、共鳴トンネルダイオードやエサキダイオード、ガンダイオードなどの負性抵抗素子を含んだ電子デバイス、量子カスケードレーザ、p-Gレーザ、鉛塩レーザなどの光デバイスの他、自由電子レーザなどの連続光源でもよい。あるいは、パラメトリック発振器、光伝導素子、チェレンコフ放射型LiNbO<sub>3</sub>発生器、UTC(Uni-traveling-carrier)フォトダイオードのような光-テラヘルツ波変換素子のようなパルス光源でもよい。変調手段３０２は、これらのテラヘルツ波出力を周波数変調、あるいは振幅変調できるものであればどんなものでもよい。このように、照射手段は、アクティブ照明の電磁波の周波数ないし振幅を変調するための変調手段を含む。例えば、電子デバイスや光デバイスであれば、直接変調が可能である。発生器３０１と変調手段３０２を兼ねられる光-テラヘルツ波変換素子に関しても、励起光を変調することで周波数変調、振幅変調を達成することができる。

30

【００２１】

これらから発生した変調されたテラヘルツ波３１０は、被写体４００を照射する。被写体を透過、あるいは反射した（図３は透過構成の例）被写体４００の情報を含む変調されたテラヘルツ波５１０は画像形成装置５００に入射する。その際、画像形成装置５００は被検体４００との間に対物レンズ５１１を備えておいてもよい。本実施形態では、二次元アレイ検出素子５０１を使用しているため、焦点面アレイとすることができる。こうして、本実施形態では、被検体と二次元アレイ状に配列された電磁波検出素子との間に配置される対物レンズを含む。

40

【００２２】

本実施形態における画像形成装置５００は、主には二次元アレイ検出素子５０１と復調用の信号発生手段５０２とによって構成される。もちろん、二次元アレイ検出素子５０１における各画素には、周波数変換手段が内蔵されている。検出素子５０１には、好ましい変

50

調周波数 ( 1 0 kHz ~ 1 0 0 MHz ) に応答できるショットキー障壁ダイオード、セルフスイッチングダイオードが好ましい。また、MIM ( Metal - I n s u l a t o r - M e t a l ) ダイオードなどの整流型検出器、チャンネル層の電子プラズマのセルフミキシング用いたトランジスタ、例えばFET、HEMTなども好ましい。また、量子井戸を用いたQWIP ( Q u a n t u m - w e l l - I n f r a r e d - P h o t o d e t e c t o r ) 、量子ホール効果を用いた量子型検出器でもよい。つまり、電磁波検出素子は、整流型検出器、トランジスタ、量子型検出器から選択された素子である。ただし、好ましい変調周波数に応答できないポロメータ、焦電効果を利用したセンサ、ゴレーセル、熱電対のような熱検出器は適さない。

#### 【 0 0 2 3 】

本イメージングシステムにおいて、変調手段 3 0 2 を用いない場合と用いる場合とを比較した、被写体からの電気信号のフーリエスペクトルを示したものが図 4 である。横軸の周波数は、対数目盛りで表示している。図 4 ( a ) は、変調手段 3 0 2 を用いない場合の検出素子 5 0 1 直後の信号である。テラヘルツ帯における周波数  $f$  の信号は、検出素子 5 0 1 のメカニズムに基づいてDC ( 直流 ) に変換される。メカニズムは、例えば、整流、セルフミキシング、光子 - 電気変換などがある。図 4 ( b ) は、変調手段 3 0 2 を用いる場合の検出素子 5 0 1 直後の信号である。もし変調しなければ、被検体からのビデオ信号 4 0 3 は 0 Hz=DC ( 直流 ) 付近に発生するのに対し、変調周波数を  $f_m$  とすると、変調周波数帯において周波数  $f_m$  付近にもビデオ帯域程度の幅を持つビデオ信号 4 0 3 が発生する。これは、検出素子 5 0 1 の非線形性によって、テラヘルツ帯における周波数  $f$  の周辺に差周波数  $f_m$  のサイドバンドが発生するためである。4 0 2 は、低周波雑音が白色雑音に埋もれる周波数のことで、ノイズコーナー周波数と呼ばれる。典型的には、ビデオ帯域における高い周波数側に位置する。したがって、低周波側で大きな検出素子 5 0 1 の電気雑音 4 0 1 は、通常、ビデオ帯域では大きいため、図 4 ( a ) においてビデオ信号の S / N 比を下げる。4 0 3 は S ( シグナル ) 、4 0 4 は N ( ノイズ ) であり、図からもノイズコーナー周波数 4 0 2 以下では S / N 比が小さいことが分かる。反対に、高周波側で小さな検出素子 5 0 1 の電気雑音 4 0 1 は、変調周波数帯では小さく、図 4 ( b ) においてビデオ信号の S / N 比は比較的大きい。ただし、そのままでは使いにくい  $f_m$  付近のビデオ信号 4 0 3 は、図 4 ( c ) のように、信号発生手段 5 0 2 からの信号周波数  $f_m$  を混合するなどしてDC付近まで周波数変換することができる。こうすれば、S / N 比に優れたビデオ信号をDC付近で容易に使用することができる。もちろん、 $f_m = f_m$  でもよい。

#### 【 0 0 2 4 】

こうした理由に基づいて、周波数差  $f_m - f_m$  は極めて重要といえる。したがって、本実施形態で、信号発生手段 5 0 2 は、変調手段 3 0 2 が持つ変調周波数に関する情報を何らかの手段を通じて把握している必要がある。例えば、 $f_m$  にドリフト、ジッター等が生じればこれを正確に把握し、 $f_m$  にフィードバックしなければならない。このための手段を備えた本実施形態の変形例を、図 5 に示す。照射手段 3 0 0 は、変調手段 3 0 2 における変調周波数、位相の情報の管理手段 3 0 4 を備えており、RFアンテナ 3 0 3 を通じて、こうした情報を RF 3 2 0 で送信することができる。例えば、クロック信号を用いればよい。画像形成装置 5 0 0 は、変調手段 3 0 2 における変調周波数、位相の情報を、RFアンテナ 5 0 3 を通じて受信し、制御手段 5 0 4 を通じて信号発生手段 5 0 2 の周波数と位相を制御する。すなわちフィードバック制御である。もちろん、有線で実施してもよいが、無線の場合、照射手段 3 0 0 と画像形成装置 5 0 0 の配置に任意性を持たせられるため、より好ましい。

#### 【 0 0 2 5 】

位相を管理しなくてもよい場合、こうした通信手段を設けなくてもよい方法がある。例えば、周波数精度の高いルビジュウム発振器や水晶振動子発振器などを用いることで変調手段 3 0 2 の変調周波数  $f_m$  を精度良く管理できるため、この場合、 $f_m$  のフィードバック制御の必要性はなくなる。フィードフォワード制御でも十分である。以上の様に、照射手段は、変調手段における変調周波数の情報の管理手段を備え、画像形成装置は、変調手

10

20

30

40

50



段における変調周波数の情報に基づいて信号発生部の発生する信号の周波数を制御する制御手段を備えるようにできる。この際、照射手段は、変調手段における位相の情報の管理手段を備え、画像形成装置は、変調手段における位相の情報に基づいて信号発生部の発生する信号の位相を制御する制御手段を備えることもある。また、制御手段は、管理手段の管理する変調周波数及び位相のうちの少なくとも1つの情報を、RFを用いて受信するようにできる。

#### 【0026】

さらに具体的な画像形成装置について、以下の実施例で説明する。

#### (実施例1)

実施形態1に対応するより具体的な実施例1を説明する。本実施例に係る画像形成装置について、図6を用いて説明する。本実施例は、0.2THzから2.5THzまでの電磁波を撮像するための好適な二次元アレイ検出素子を含む実施例で、図6(a)は、オンチップ型の画像形成装置の構成、図6(b)は画素の構成を示した図である。

#### 【0027】

画素601のサイズは短辺0.6mm、長辺0.8mmであり、図6(a)は、チップ620上の画素数200x60の二次元配列の一部分、3x2の領域を示している。本実施例では、同じチップ620上に水晶振動子発振器集積領域602を備えている。CMOS発振回路に水晶を集積し、1.4400MHzの周波数を発振する。この場合、周波数精度は $10^{-6}$ オーダーが得られるため、好ましい。水晶振動子発振器集積領域602から正弦波が、配線603を通じて各画素に配給される。604はアドレス回路集積領域、605はスイッチ集積領域である。どちらも公知の技術を用いて同じチップ620上に集積することが可能である。606は読み出し用の配線となっており、スイッチ集積領域605と画素スイッチ610に接続されている。同様に、607もアドレス回路集積領域、608もスイッチ集積領域である。609も読み出し用の配線となっており、スイッチ集積領域608と画素スイッチ610に接続されている。

#### 【0028】

本実施例の画素領域は12cmx4.8cmであり、1.44MHzの実効波長(=80m)と比較して小さいが、本実施例では長い配列の方向に沿って一画素毎に移相器621を設けている。移相器621はそれぞれ、0.0027degだけの位相を進める。これは、長い配列の方向に200だけ画素があり、画素の端から端までで電気長に換算して約0.54degだけ位相がズレるからである。本実施例では、標準CMOSプロセスで集積できるオペアンプを用いた移相回路を集積している。しかしながら、このような比較的小さな位相差であれば、干渉、フェージングの効果は小さく、移相器621は設けなくてもよい。移相器621は、画素数がさらに大きい場合や、変調周波数が比較的大きい場合に効果的である。こうした設計の元では、得られる動画のフレームレートは120fpsと比較的高くすることができる。

#### 【0029】

画素601は図6(b)のように、ショットキー障壁ダイオード611、テラヘルツアンテナ617、CMOSアンプ・ミキサ集積領域619を備えている。なお、ショットキー障壁ダイオード611は、アンテナ617の先端に設けられ、アンテナをなす金属と接している。ショットキー障壁ダイオード611とアンテナ617の組は本実施例では一画素に1つであるが、一画素に2つ、あるいは、複数設けてもよい。高インピーダンス線618はテラヘルツ波をフィルタするためのもので、マイクロ波帯以下の周波数の電気信号を選んでCMOSアンプ・ミキサ集積領域619に伝えることができる。こうした構造は、次の様にして作製できる。例えばシリコン基板620におけるアンテナ617の先端部付近にのみ、予め高濃度キャリアドープ層と低濃度キャリアドープ層とを積層し、さらに、直径0.6μmの金属を積層してショットキー障壁ダイオード611を設けておけば作製できる。その後、絶縁膜で埋め込みなどを経た後、金属を所定の形状に加工してアンテナ617、高インピーダンス線618などとすればよい。本実施例では対数周期アンテナを用いており、その形状は、外側までの半径が250μm、もっとも内側までの半径が10μm、対数

10

20

30

40

50

周期 0.7 の櫛歯の数が 9 本、櫛歯の角度が 45 deg に設計した。高周波全電磁界シミュレータ HFSS v.12 (ansoft 社製) でこうした構造をシミュレーションしたところ、0.2 THz から 2.5 THz までの広帯域での電磁波検出が可能である。CMOS アンプ・ミキサ集積領域 619 は、オペアンプなどを用いた回路によって構成され、標準 CMOS プロセスで作製することが可能である。本実施例においては、シリコン基板 620 上に CMOS アンプ・ミキサ集積領域 619 を加工した後、ショットキー障壁ダイオード 611、アンテナ 617 の順に作製すればよい。CMOS アンプ・ミキサ集積領域 619 の加工時には、上述の水晶振動子発振器集積領域 602、アドレス回路集積領域 604、607、スイッチ集積領域 605、608 を同時に作製してもよい。

#### 【0030】

本実施例において、CMOS アンプ・ミキサ集積領域 619 は、具体的には図 6(c) の回路を用いている。図中、接地は省略した。初段のオペアンプ 612 は、ショットキー障壁ダイオード 611 の電圧信号出力を増幅するための非反転増幅回路で構成されている。 $C_1$ 、 $C_2$  は AC 結合用の容量である。 $R_f$ 、 $R_s$  はそれぞれ抵抗であり、増幅度を決める。 $R_1$  は入力バイアス電流によるオフセットを低減するための抵抗である。例えば、 $C_1$ 、 $C_2$  は 1 nF を利用して、変調された入力信号を通過するハイパスフィルタとしてもよい。 $R_1$  は、10 k を選択すると、白色雑音電圧を小さくすることができる。初段のオペアンプは、高速応答というよりは低雑音性を重視した PMOS トランジスタを数段程度、カスコード接続した構造を用いると好ましい。

#### 【0031】

こうしたプリアンプ 612 からの出力は、バッファアンプを介して、ミキサ部 613 と接続される。本実施例では、ごく簡単な NMOS 型のトランジスタミキサを用いているが、良く知られたダイオードミキサを用いてもよい。また、シングルバランス型、ダブルバランス型でもよい。本実施例では 1 MHz 前後と周波数が低いので、前後に整合回路などを用いなくてもよく、画素が簡素にできるため好適である。 $R_2$  はミキサ部 613 の負荷抵抗となる。ミキサ部 613 は、水晶振動子発振器集積領域 602 からの 1.44 MHz の正弦波 614 とプリアンプ 612 を経た信号とを混合することで、復調アナログ信号 615 を含んだ信号を生成する。ゲート端子を復調用正弦波 614 の入力とした本実施例の増幅機能を持たないパッシブミキサ 613 において、周波数変換ロス  $1/\sqrt{2}$  であるが、もし復調用の正弦波 614 の入力があれば、同期検波型ではなく通常型の撮像装置としても利用できる。

#### 【0032】

終段のアンプ 616 はアクティブローパスフィルタで構成され、復調後の信号 615 を増幅するとともに、例えば、120 Hz 以下の信号を通過する  $R_3C_3$  を用いて、電気雑音とスプリアス信号とをブロックする働きを持つ。本実施例における高いフレームレート 120 fps を確保することが可能で、雑音も小さいため好ましい。高次フィルタを用いればさらに良い。以上は、CMOS アンプ・ミキサ集積領域 619 の一例であって、プリアンプ、ミキサ、フィルタのそれぞれは良く知られた技術を使用することもできる。各素子の値を変えてもよいし、もちろん、フィルタの周波数を変えるために可変抵抗などを用いてもよい。本実施例においてバイアスを導入可能な回路は省略しているが、同様に、良く知られた技術を使用することもできる。本実施例は、構造の大部分が標準 CMOS プロセスで集積できるため、オンチップ型の画像形成装置として好ましい。

#### 【0033】

本実施例の画像形成装置と、後進行波管発振器を用いた IC チップ入りカードの周波数 0.97 THz の透過イメージングの撮像例を図 8 に示す。発振器からのテラヘルツ波は、直径 3 インチ、 $F=50.8$  mm の軸外し放物面鏡で平行光に整形して IC チップ入りカードへ向けて照射させた。さらに、これを透過したテラヘルツ波は  $F=127$  mm のシクロオレフィン性の樹脂レンズを用いて、本実施例の画像形成装置へ入射させた。本実施例の検出素子の感度と、後進行波管発振器のテラヘルツ波出力がともに十分であるため、IC チップ入りカードの画像における S/N 比 = 400 前後得られている。故に、図 8 のように、IC チ

10

20

30

40

50

ップ、アンテナ、カードの母材のプラスチックのひび等を高感度に画像形成できている。後進行波管発振器は、市販のシンセサイザを用いて後進行波管発振器のバイアス電圧を1.4400MHzの正弦波で直接変調しているが、発振器の変調方法はもちろんこれには限らない。また、後進行波管発振器に変調を掛けなければ、同期検波型ではなく通常のイメージングシステムとしても利用することができる。

#### 【0034】

また、近年、発展中の電子シャッター技術を用いれば、照射手段の側に変調を掛けずに画像形成装置の側のみでこれを用いることで、同様に低雑音・高感度な画像形成が可能である。この際、照射手段に電池駆動可能な共鳴トンネルダイオード等の半導体デバイス発振器を用いれば、イメージングシステムをコンパクトにすることができる。

10

#### 【0035】

##### (実施例2)

実施例1の変形例である実施例2を説明する。本実施例に係る画像形成装置について、図7を用いて説明する。本実施例ではアンテナ617の変形例を示しており、図7(a)では、基板620に垂直な指向性の1.5ループアンテナを用いている。約1THzの電磁波を撮像するために好適な二次元アレイ検出素子を含む。

#### 【0036】

ループアンテナ717は、内径80μm、外径100μmの金属から成る。金属部717の一部にショットキー障壁ダイオード611が接続される。図7(b)において、リングアンテナ717を流れる電流が時計回りと仮定し、この方向を正とする。このとき、電磁界の節は電子素子611を起点として、0.25、0.75、1.25の位置に存在する。本実施例では、1.25の位置を選んで、配線718を設計した。配線718が信号を通過させし、電磁界を漏洩しないように、L型スタブを設け、長さを50μm(0.25に対応)に設計している。このようなスタブ付き配線718を接続した場合、電磁界がアンテナ717から外部に漏れることなく機能し、高周波全電磁界シミュレータHFSS v.12でこうした構造をシミュレーションしたところ、次のようになる。すなわち、0.97~0.98THz付近で基板620に垂直な指向性ととも約700のインピーダンスが得られる。これは、比較的インピーダンスの大きなテラヘルツ波対応のショットキー障壁ダイオード611とはインピーダンス整合し易い値であるため、高効率アンテナとなる。したがって、ショットキー障壁ダイオード611と整合するアンテナ717として好ましい例となる。同様に、図8と同様の画像を取得すれば、S/N比>1000が期待され、さらに高感度に画像形成することができる。

20

30

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0037】

本発明に係る画像形成装置、イメージングシステムは、製造管理、医療画像診断、安全管理などに用いることができるセンサとして応用が期待されている。

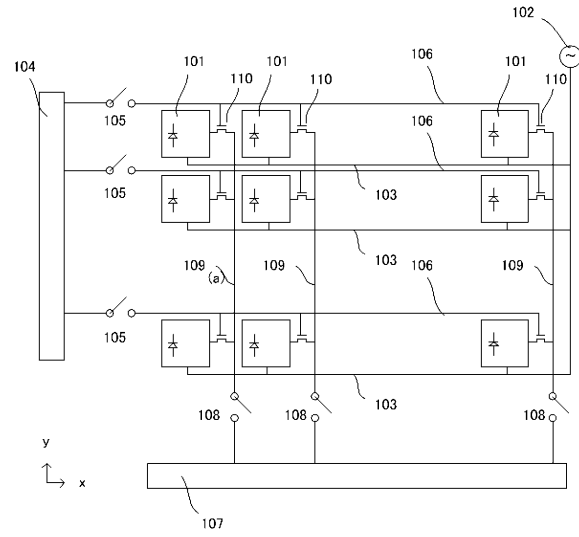
#### 【符号の説明】

#### 【0038】

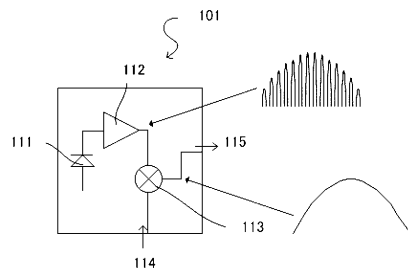
101・・・画素、102・・・信号発生部、103・・・伝送線、106、107・・・走査線、110・・・スイッチ(トランジスタ)、111・・・電磁波検出素子、113・・・周波数変換素子(ミキサ、混合器)、114・・・所定の周期をもつ信号、115・・・画素からの信号

40

【図 1】

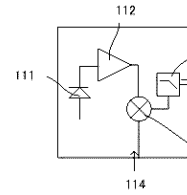


(b)

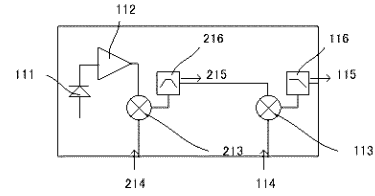


【図 2】

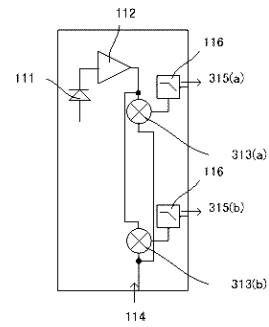
(a)



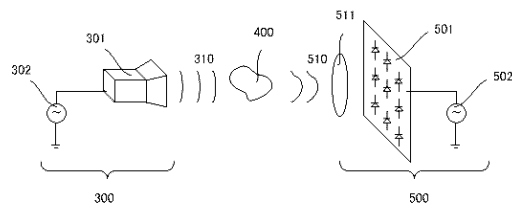
(b)



(c)

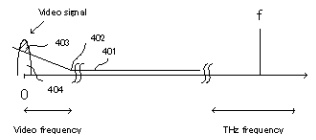


【図 3】

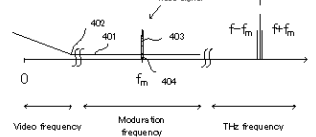


【図 4】

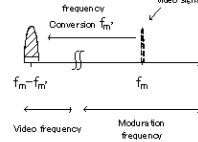
(a)



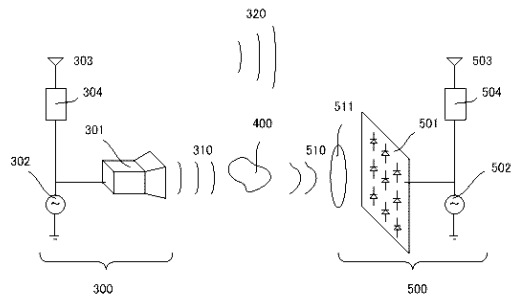
(b)



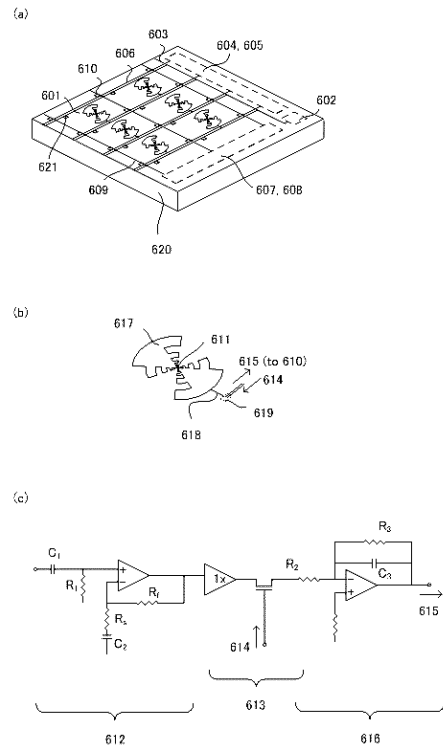
(c)



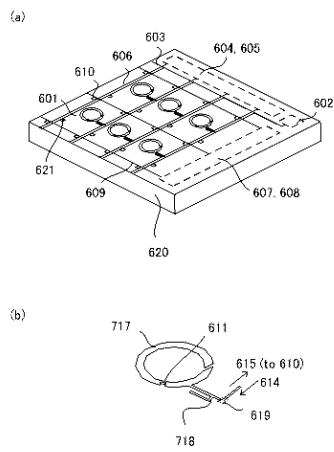
【図 5】



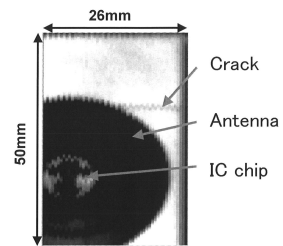
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-032682(JP,A)  
国際公開第2012/108306(WO,A1)  
特開2000-196334(JP,A)  
特開2002-051357(JP,A)  
特開2010-062533(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 5/30 - 5/378  
G01N 21/27  
G01N 21/35