

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4359686号
(P4359686)

(45) 発行日 平成21年11月4日(2009.11.4)

(24) 登録日 平成21年8月21日(2009.8.21)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 31/10 (2006.01) H O 1 L 31/10 G

請求項の数 1 (全 7 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-84831 (P2007-84831) (22) 出願日 平成19年3月28日 (2007. 3. 28) (65) 公開番号 特開2008-244286 (P2008-244286A) (43) 公開日 平成20年10月9日 (2008. 10. 9) 審査請求日 平成19年3月28日 (2007. 3. 28)</p>	<p>(73) 特許権者 504237050 独立行政法人国立高等専門学校機構 東京都八王子市東浅川町701番2 (73) 特許権者 304027349 国立大学法人豊橋技術科学大学 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 (72) 発明者 秋山 正弘 長野県長野市徳間716 独立行政法人国立高等専門学校機構長野工業高等専門学校内 (72) 発明者 澤田 和明 愛知県豊橋市雲雀ヶ丘1-1 国立大学法人豊橋技術科学大学内 審査官 加藤 昌伸</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アバランシェフォトダイオード (APD) の増倍率検出回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アバランシェフォトダイオードと、
 アバランシェフォトダイオードと同一光量を受光するように設けられ、増倍作用を有しないフォトダイオードと、
 アバランシェフォトダイオードから出力された増倍電流とフォトダイオードから出力された電流との差分に対応する電流量を出力するように設けられた比較手段と、
 を具備し、

前記比較手段は、アバランシェフォトダイオードから出力される増倍電流を蓄える第1のコンデンサを電界効果トランジスタのソースに接続し、フォトダイオードから出力される電流を蓄える第2のコンデンサを電界効果トランジスタのゲートに接続し、ゲートとソースの電位差により発生するドレイン電流に基づいて、前記「アバランシェフォトダイオードから出力される増倍電流」と前記「フォトダイオードから出力された電流」を比較し増倍率を検出する手段を有することを特徴とするアバランシェフォトダイオードの増倍率検出回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、撮像装置に関し、より詳しくは、撮像装置で利用するAPDの増倍率を検出するための回路。

【背景技術】

【0002】

アバランシェフォトダイオード（以下、単にAPDと称する場合がある）は、半導体を用いた素子である。その構造は、P型領域とN型領域を持っている。またP型領域とN型領域の間には、空乏領域が存在しており、その空乏領域で2つの役割を行う。1つ目は、光電変換である。2つ目は、信号増倍である。通常、APDは単一の電源で動作する。その動作電圧は、とても大きい逆バイアス電圧（P型領域側にマイナス電圧、N型領域側にプラス電圧）である。

【0003】

その動作は、光電変換だけでなく、信号増倍の動作も含んでいるため、「小さな入力信号」も「大きな出力信号」として取り出すことができる事を特徴としている。

また信号増倍現象（アバランシェ増倍現象）は、Siでは $2 \times 10^5 \text{ V/cm}$ 、Geでは $1 \times 10^5 \text{ V/cm}$ あたりの電界強度から発生する。

【0004】

APDは、高感度化・広ダイナミックレンジ化を目的とした撮像装置に用いられる。APDの増倍率は、APD自体に印加される逆バイアス電圧により決定される。撮像素子で用いる場合、各画素でのAPDを最適な増倍率で用いるのが理想であるが、そのためには、各画素の増倍率を検出し、その増倍率を制御できるシステムが必要となる。

【0005】

なお、APDの増倍率を検出できるシステムが、既に知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0006】

特許文献1に示すシステムでは、所定温度での逆バイアス降伏電圧、逆バイアス降伏電圧の温度係数、APDの素子定数を予めメモリに格納しておき、実際の温度情報と電圧情報に基づいて増倍率を算出する構成が示されている。

【0007】

【特許文献1】特開2004-289206号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1では、増倍率の検出に5つの情報から演算している。それらは、「電流量」、「温度」、「印加電圧」、「入射光量」である。しかし、「任意の入射光」の、増倍率を求めるにはこれだけでは不十分である。これらの情報に加えて「入射光の波長」の情報が必要となる。もしくは、「入射光の波長」を限定して利用する必要がある。

【0009】

そこで、本発明は上記課題を解決するためになされ、その目的とするところは、「任意の入射光」を入射光対象と出来、また、印加電圧、温度の情報検出、演算を必要としない、簡単な構成を持つ増倍率検出回路の提供である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明にかかるアバランシェフォトダイオードの増倍率検出回路によれば、アバランシェフォトダイオードと、アバランシェフォトダイオードと同一光量を受光するように設けられ、増倍作用を有しないフォトダイオードと、アバランシェフォトダイオードから出力された増倍電流とフォトダイオードから出力された電流との差分に対応する電流量を出力するように設けられた比較手段とを具備することを特徴とする。

【0011】

また、前記比較手段は、アバランシェフォトダイオードから出力される増倍電流を蓄える第1のコンデンサを電界効果トランジスタのソースに接続し、フォトダイオードから出力される電流を蓄える第2のコンデンサを電界効果トランジスタのゲートに接続し、ゲートとソースの電位差により発生するドレイン電流に基づいて、前記「アバランシェフォトダ

10

20

30

40

50

イオードから出力される増倍電流」と「フォトダイオードから出力された電流」比較し増倍率を検出する手段を具備することを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

これまで、増倍率は「入射光の波長」により変化するため「任意の光」を対象とした増倍率検出ができなかった。

【0013】

本発明では、「任意の光」を入射光の対象とでき、またそればかりでなく「印加電圧」や「温度」の検出が不要となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明では、各画素の増倍率を検出する手段を提案する。検出する手法は「増倍された信号（APDによる信号）」と「増倍されていない信号（PDによる信号）」を比較することによって行われる。「増倍された信号」は図1のA点の信号である。「増倍されていない信号」は図1のC点の信号である。

【0015】

図1のA点、C点の信号を比較するために、FET3を用いる。FET3を用いる事で、A点とC点の差分の信号がB点に転送される。B点に転送される信号は増倍率により変化する。ここで、全トランジスタの閾値電圧が0Vである状態であり、コンデンサ6、コンデンサ7の容量がCであるとする。

【0016】

全素子の接続関係は、APD11のアノードは直流電源VAPDと接続されている。APD11のカソードはA点と接続されている。A点は電界効果トランジスタ（以下FETと称することもある）1のソース、コンデンサ6の陽極、FET4のソース、FET3のソースに接続されている。コンデンサ6の陰極はGNDに接続されている。FET1のゲートはパルス電圧源Vres1に接続されている。FET1のドレインは電圧源Vr1に接続されている。FET4のゲートはパルス電圧源Vres2に接続されている。FET4のドレインはD点に接続されており、D点は電圧源Vr1に接続されている。FET3のゲートはC点に接続されている。FET3のドレインはB点に接続されている。C点は、PD12のカソードと、コンデンサ7の陽極、FET2のソースと接続されている。コンデンサ7の陰極はGNDと接続されている。PD12のアノードは直流電源VPDに接続されている。FET2のゲートはパルス電圧源Vres1に接続されている。

FET2のドレインは直流電圧源Vr1に接続されている。

B点は、コンデンサ8の陽極と、FET5のソースとVout端子に接続されている。コンデンサ8の陰極はGNDに接続されている。FET5のゲートはパルス電圧源Vres3に接続されている。FET5のドレインは電圧源Vr2に接続されている。

【0017】

FET1はA点の電位をVr1まで充電するために用いられる。コンデンサ6はAPD11により発生する光信号電流を蓄積するために用いられる。FET2はC点の電位をVr1まで充電するために用いられる。コンデンサ7はPD12により発生する光信号電流を蓄積するために用いられる。FET3はC点とA点の電位を比較し、A点の電位が大きい場合には、B点に電位差分の電荷を移動する役割を持っている。FET4は、A点からB点に行く電荷量を制限する役割がある。この制限によって、B点には増倍率に比例した信号電荷が蓄積されることになる。FET5はB点の電位をVr2まで充電するために用いられる。コンデンサ8はA点からB点に移動する電荷を蓄積するために用いられる。

【0018】

「増倍率が1倍の場合」はB点に転送される信号電荷量は0となる。「増倍率が2倍の場合」はB点に転送される信号電荷量は $(Vr1 - Vres2) / C$ である。「増倍率が3倍の場合」はB点に転送される信号電荷量は $2 \times (Vr1 - Vres2) / C$ である。「増倍率が4倍の場合」はB点に転送される信号電荷量は $3 \times (Vr1 - Vres2) / C$

10

20

30

40

50

である。このように、B点の信号電荷量は $(\text{増倍率} - 1) \times (V_{r1} - V_{res2}) / C$ となり、増倍率を検出することが可能となる。

【0019】

この動作を図2から図5により説明する。

【0020】

図2は図1よりFET4、FET3とAPD11とPD12を含む回路を抜き出したものである。

【0021】

全素子の接続関係を以下に示す。APD11のアノードが直流電圧源VAPDに接続されている。APD11のカソードはA点に接続されている。A点はコンデンサ6の陽極とFET4のソースとFET3のソースに接続されている。コンデンサ6の陰極はGNDに接続されている。FET4のゲートはパルス電圧源Vres2に接続されている。FET4のドレインはD点に接続されており、D点は電圧源Vr1に接続されている。FET3のゲートはC点に接続されている。FET3のドレインはB点に接続されている。C点は、PD12のカソードと接続されている。PD12のアノードは直流電源VPDに接続されている。B点は、コンデンサ8の陽極と、Voutの出力端子に接続されている。コンデンサ8の陰極はGNDに接続されている。

【0022】

コンデンサ6はAPD11により発生する光信号電流を蓄積するために用いられる。FET3はC点とA点の電位を比較し、A点の電位が大きい場合には、B点に電位差分の電荷を移動する役割を持っている。FET4は、A点からB点に行く電荷量を制限する役割がある。この制限によって、B点には増倍率に比例した信号電荷が蓄積されることになる。コンデンサ8はA点からB点に移動する電荷を蓄積するために用いられる。

【0023】

図3に図2のポテンシャル図を示す。APD11は、光からの信号をA点に蓄積される電荷として出力する。またPD12は、光からの信号をC点のゲート電圧として出力する。ここで、A点の電位をVA、C点の電位をVCとする。

【0024】

ここで、A点とC点に同じ信号(マイナス電荷)が入力されれば、VAとVCの電圧は同じだけ減少する。しかし、APDは1以上の増倍率を取るため、 $|VA| - |VC|$ となる。その際、 $|VA| - |VC|$ の電圧に相当する電荷 $(|VA| - |VC|) / C$ はB点へ転送される。このときに転送された信号 $(|VA| - |VB|) / C$ が出力となる。

【0025】

VAはVBと共に減少する。VAがVres2より小さくなるまでは、図3と同様に、図4のようにA点からB点へ電荷の転送が行われる。

【0026】

VAがVres2より小さくなると、図5のようにA点の電荷はD点へ流れる。この状態になるとA点からB点への電荷の転送は終了する。これによりA点からB点へ転送された電荷の合計は段落番号0018で示したように、「増倍率が1倍の場合」は転送される信号は0となり、「増倍率が2倍の場合」は転送される信号は $(V_{r1} - V_{res2}) / C$ の電荷量である。「増倍率が3倍の場合」は $2 \times (V_{r1} - V_{res2}) / C$ となり、「増倍率が4倍の場合」は $3 \times (V_{r1} - V_{res2}) / C$ の電荷量となる。要するに信号は $(\text{増倍率} - 1) \times (V_{r1} - V_{res2}) / C$ となり、増倍率をVoutとして検出することが可能となる。

【0027】

以上本発明につき、好適な実施例を挙げて種々説明したが、本発明はこの実施例に限定されるものではなく、発明の精神を逸脱しない範囲内で多くの改変を施し得るのはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【0028】

【図1】本発明の実施形態で、アバランシェフォトダイオードによる増倍率の検出回路の回路図である。

【図2】図2は、図1よりFET4, FET3とAPD11とPD12を含む回路を抜き出したものである。

【図3】図3は、図2のポテンシャル図であり信号電荷の転送を表している。

【図4】図4は、図3のポテンシャル図の蓄積時間が経過した場合 ($V_A < V_{res2}$) の図であり信号電荷の転送を表している。

【図5】図5は、図4のポテンシャル図の蓄積時間が経過した場合 ($V_A > V_{res2}$) の図であり信号電荷の転送を表している。

【符号の説明】

【0029】

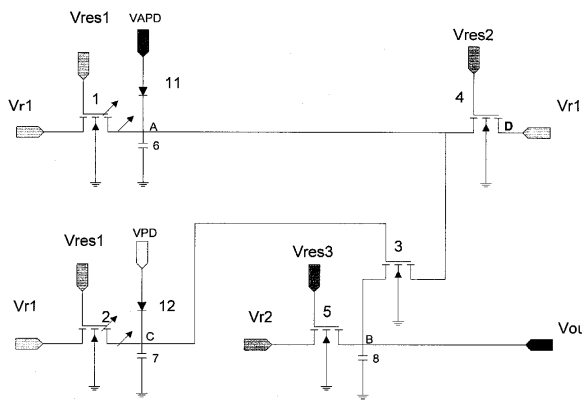
1, 2, 3, 4, 5 NチャンネルMOSFET

6, 7, 8 コンデンサ

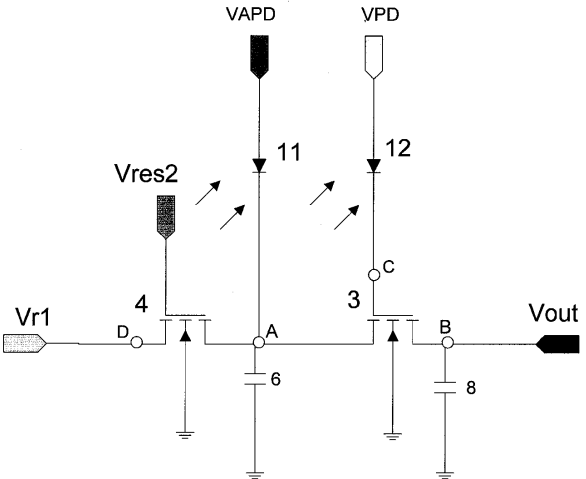
11 APD

12 PD

【図1】



【図2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-193078(JP,A)
特開昭63-077171(JP,A)
特開昭63-105541(JP,A)
特開平04-097573(JP,A)
特開平06-132899(JP,A)
特開平10-303820(JP,A)
特開平11-163803(JP,A)
特開2002-208713(JP,A)
特開2005-117032(JP,A)
特開2006-054507(JP,A)
実開昭62-065852(JP,U)
実開昭63-074842(JP,U)
特開2003-279410(JP,A)
特開2006-202984(JP,A)
特開2007-033109(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/10 - 31/119