



(11) **EP 0 991 923 B9**

(12) **CORRECTED EUROPEAN PATENT SPECIFICATION**

Note: Bibliography reflects the latest situation

(15) Correction information:  
**Corrected version no 1 (W1 B1)**  
**Corrections, see**  
**Description Paragraph(s) 16, 17**

(51) Int Cl.:  
**G01J 1/44 (2006.01) G01J 1/46 (2006.01)**

(86) International application number:  
**PCT/US1998/013329**

(48) Corrigendum issued on:  
**17.10.2007 Bulletin 2007/42**

(87) International publication number:  
**WO 1999/000649 (07.01.1999 Gazette 1999/01)**

(45) Date of publication and mention  
of the grant of the patent:  
**09.05.2007 Bulletin 2007/19**

(21) Application number: **98931636.9**

(22) Date of filing: **26.06.1998**

(54) **METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING LOW LIGHT LEVELS**

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERFASSUNG VON NIEDRIGEN LICHTPEGELN

PROCEDE ET APPAREIL DE DETECTION DES NIVEAUX LUMINEUX BAS

(84) Designated Contracting States:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**

(30) Priority: **27.06.1997 US 51102 P**  
**25.06.1998 US 104813**

(43) Date of publication of application:  
**12.04.2000 Bulletin 2000/15**

(73) Proprietor: **Caliper Life Sciences, Inc.**  
**Mountain View, CA 94043 (US)**

(72) Inventor: **JENSEN, Morten, J.**  
**San Francisco, CA 94109 (US)**

(74) Representative: **Funnell, Samantha Jane et al**  
**Hepworth Lawrence Bryer & Bizley**  
**Merlin House**  
**Falconry Court**  
**Bakers Lane**  
**Epping, Essex CM16 5DQ (GB)**

(56) References cited:  
**US-A- 5 036 187 US-A- 5 233 180**  
**US-A- 5 307 145**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 11, 26 December 1995 (1995-12-26) & JP 07 231258 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 29 August 1995 (1995-08-29)**

**EP 0 991 923 B9**

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid. (Art. 99(1) European Patent Convention).

**Description**

## CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

5 **[0001]** This application is a continuation of U.S. Patent Application Serial No. 60/051,102, filed June 27, 1997.

## BACKGROUND OF THE INVENTION

10 **[0002]** This application relates in general to measurement and sensing of low power signals. More particularly, the invention relates to the sensing, amplification and measurement of a low power, light-based signal.

**[0003]** Figure 1 illustrates a circuit 100 of the prior art for amplifying a signal from a photo diode 130. The circuit of Figure 1 includes the photo diode 130 connected across the inputs of an operational amplifier 120. The positive input of the op amp 120 is tied to ground. A resistive load R 150 is coupled between the negative terminal and the out signal 110 of the op amp 120.

15 **[0004]** Notably, the feedback resistor R 150 has inherent thermal noise that can sometimes exceed the actual signal from the photo diode 130. The output from a resistive feedback amplifier such as circuit 100 is given in equation (1) below:

$$20 \quad V_{out} = -i R \quad 1$$

where  $V_{out}$  is in volts,  $i$  is the input signal in amperes from a signal source (such as photo diode 130) and  $R$  is the feedback resistance (such as the resistor R 150) in ohms.

25 **[0005]** A component with resistance generates thermal noise with the following RMS values:

$$30 \quad V_{RMS\ noise} = \sqrt{4kTBR} \quad 2$$

$$35 \quad I_{RMS\ noise} = \sqrt{4kT \frac{B}{R}} \quad 3$$

40 where  $V_{RMS\ noise}$  is in volts and  $I_{RMS\ noise}$  is in amperes and where  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/°K (Boltzmann's constant),  $T$  is the absolute temperature in °K,  $B$  is the bandwidth in Hz and  $R$  is the resistance in ohms.

45 **[0006]** Therefore, when an application requires the amplification of a very low signal from a photo diode, the prior art resistive feedback amplifier 100 sometimes proves useless due to excessive noise, for example.

**[0007]** Figure 2 presents a circuit 200 of the art, designed to avoid this thermal noise problem. In Figure 2, the photo diode 130 remains coupled across the inputs of the op amp 120. In place of the resistive element R 150, a capacitor 220, coupled between the negative input and the output 210 of the op amp 120, serves as the feedback element. The source of a field-effect transistor (FET) 230 is coupled to the output 210 of the op amp 120 while the drain is coupled to the negative input of the op amp 120. The gate of the FET 230 serves as a Reset signal 240.

50 **[0008]** The use of the capacitor 220 as the feedback element eliminates the noise problem of the circuit 100.

**[0009]** The output from an integrator such as the circuit 200 is given in equation (4) below:

55

$$V_{out} = -i \frac{t}{C}$$

4

where  $i$  is the input signal from a signal source (such as photo diode 130) in amperes,  $t$  is the time from reset to reading in seconds and  $C$  is the feedback capacitance (of capacitor 220, for example) in farads.

**[0010]** Figure 3 illustrates the timing of the operation of the circuit 200 of Figure 2. A control circuit (not shown) typically resets the integrator 200 (by means of the Reset signal 240) at twice the rate of the signal bandwidth. Just prior to each of these resets, the control circuit reads the out signal 210 and extracts the true signal.

**[0011]** The use of the semiconductor switch 230, however, creates its own problems in the circuit 200. The charge transfer itself from the Reset signal 240 during the resetting of the integrator 200 induces noise. To avoid this problem, the control circuit reads the out signal 210 right after releasing the reset switch 240. The control circuit then subtracts this reading from the final reading.

**[0012]** The noise of the photo diode 130 and op amp 120 nonetheless affect the two-reading scheme used with the circuit 200 up to the bandwidth of the system. The system bandwidth has to be much higher than the signal bandwidth in order not to distort the integration curves.

**[0013]** Accordingly, there is a need for a circuit for an improved detector of low levels of light without the thermal noise and other problems described above. These and other goals of the invention will be readily apparent to one of ordinary skill in the art on the reading of the background above and the invention description below.

**[0014]** Document US-A-5 307 145 defines a process and apparatus for measuring small quantities of light.

## SUMMARY OF THE INVENTION

**[0015]** Herein is disclosed a method and apparatus for measuring very low power signals such as low power light signals, including integrating a signal from a signal source such as a photo diode, an avalanche photo diode, a photo-multiplier tube or the like, digitally sampling the integrator output multiple times during each integration period, fitting a curve to the multiple digitized readings to calculate the integration slope for each integration period and determining the original signal from the calculated integration slope.

**[0016]** According to an aspect of the invention, an apparatus for use in measuring low power signals is provided, the apparatus comprising: all the characteristics of claim 1. According to another aspect a method comprising all the steps recited in claim 14 is defined.

**[0017]** Additional embodiments are defined in dependent claims.

**[0018]** Reference to the remaining portions of the specification, including the drawings and claims, will realize other features and advantages of the present invention. Further features and advantages of the present invention, as well as the structure and operation of various embodiments of the present invention, are described in detail below with respect to the accompanying drawings. In the drawings, like reference numbers indicate identical or functionally similar elements.

## BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

### [0019]

Figure 1 illustrates a circuit of the prior art for amplifying a signal from a photo diode;

Figure 2 presents a circuit of the prior art, designed to avoid the thermal noise problem;

Figure 3 illustrates the timing of the operation of the circuit of Figure 2;

Figure 4 illustrates a circuit 400 according to the invention;

Figure 5 illustrates the timing of the operation of the circuit 400 of Figure 4;

Figure 6 illustrates the overall operation of the circuit of Figure 4; and

Figure 7 illustrates an example of a microfluidic device for use with certain aspects of the present invention.

## DESCRIPTION OF THE SPECIFIC EMBODIMENTS

**[0020]** In preferred aspects, the method and apparatus of the instant invention are used in the detection of light-based signals from analytical systems employing optical detection in microscale fluidic channels. Examples include, e.g., fused silica capillary systems, i.e., CE, as well as microfluidic devices and systems that incorporate microscale channels such as microfluidic channels. Such systems are generally described in U.S. Patent Application Nos. 08/845,754 (Attorney

Docket No. 100/01000, filed April 25, 1997), 08/881,696 (Attorney Docket No. 17646-000420, filed June 24, 1997), a continuation-in-part of U.S. Patent Application No. 08/761,575 (filed December 6, 1996), and 60/049,413 (Attorney Docket No. 17646-003600), filed June 9, 1997.

**[0021]** A "microfluidic" channel is a channel (groove, depression, tube, etc.) which is adapted to handle small volumes of fluid. In a typical embodiment, the channel is a tube, channel or conduit having at least one subsection with at least one cross-sectional dimension of between about 0.1  $\mu\text{m}$  and 500  $\mu\text{m}$ , and typically less than 100  $\mu\text{m}$ ; ordinarily, the channel is closed over a significant portion of its length, having top, bottom and side surfaces. In operation, materials that are being analyzed, e.g., subjected to optical analysis for light based signals, in these microscale fluidic systems, are transported along the microscale fluid channels, past a detection point, where a detectable signal indicative of the presence or absence of some material or condition, is measured. In the case of light based detection systems, the signals within these channels typically result from the presence of light emitting substances therein, e.g., fluorescent or chemiluminescent materials, that are used as indicators of the presence or absence of some material or condition. Because microscale channels have extremely small dimensions, the amount of signal typically available for detection within such channels is also extremely small. For example, in the microfluidic systems for which the present invention is particularly useful, the power levels of signals from a detection region in a microfluidic channel are typically on the order of about 0.1 pW to about 10 pW.

**[0022]** As noted above, in microscale analytical systems, a signal bearing material is transported along the microscale channel and past a detection point. Typically, transporting materials within these systems may be carried out by any of a variety of methods. For example, such material transport is optionally carried out through the application of pressures to the materials within the channels, through the incorporation of microscale mechanical pumps, or through the application of electric fields, to move materials through the channels.

**[0023]** In preferred aspects, the above microfluidic systems use electrokinetic transport systems for moving material within the microfluidic channels. As used herein, "electrokinetic material transport systems" include systems which transport and direct materials within an interconnected channel and/or chamber containing structure, through the application of electrical fields to the materials, thereby causing material movement through and among the channel and/or chambers (i.e., cations will move toward the negative electrode, while anions will move toward the positive electrode). Such electrokinetic material transport and direction systems include those systems that rely upon the electrophoretic mobility of charged species within the electric field applied to the structure. Such systems are more particularly referred to as electrophoretic material transport systems. Other electrokinetic material direction and transport systems rely upon the electroosmotic flow of fluid and material within a channel or chamber structure which results from the application of an electric field across such structures. In brief, when a fluid is placed into a channel which has a surface bearing charged functional groups, e.g., hydroxyl groups in etched glass channels or glass microcapillaries, those groups can ionize. In the case of hydroxyl functional groups, this ionization (e.g., at neutral pH), results in the release of protons from the surface and into the fluid, creating a concentration of protons at near the fluid/surface interface, or a positively charged sheath surrounding the bulk fluid in the channel. Application of a voltage gradient across the length of the channel will cause the proton sheath to move in the direction of the voltage drop (i.e., toward the negative electrode).

**[0024]** Figure 7 depicts an example of a microfluidic device for use with certain aspects of the present invention. As shown, the device 300 includes a body structure 302 which has an integrated channel network 304 disposed therein. The body structure 302 includes a plurality of reservoirs 306-328, disposed therein, for holding reagents, sample materials, and the like. Also included is buffer reservoir 330, as well as waste reservoirs 332, 334 and 336. The reagents, samples, etc. are transported from their respective reservoirs, either separately or together with other reagents from other reservoirs into a main channel 338, and along main channel 338 toward waste reservoir 336, past detection zone or window 340. Detection window 340 is typically transparent, and may be comprised of a transparent region of the body structure, or a separate transparent window fabricated into the body structure. Typically, the body structure is itself fabricated from a transparent material, e.g., glass or transparent polymers, thereby obviating the need for a separate transparent region to define the detection window. Microfluidic devices of the sort described above are useful in performing a variety of analyses, such as electrophoretic separation of macromolecules, e.g., nucleic acids, proteins, etc. (see U.S. Application No. 08/845,754, filed April 25, 1997, and previously incorporated herein by reference), high throughput screening assays, e.g., in pharmaceutical discovery, and diagnostics, e.g., immunoassays (see, e.g., Published International Application No. WO 98/00231).

**[0025]** In one embodiment, a signal source is located proximal detection window 340 for detecting low power, light-based signals from the detection region. The signal source is optionally selected from a number of different types of light detectors, i.e., photo diodes, avalanche photo diodes, photomultiplier tubes (PMTs) and the like. In preferred aspects, a photo diode is used. Figure 4 illustrates a circuit 400 for amplifying a signal from a photo diode 130 according to the invention. In Figure 4, the photo diode 130 is coupled across the inputs of an op amp 120. A capacitor 220, coupled between the negative input and the output 210 of the op amp 120, serves as the feedback element. The source of a field-effect transistor (FET) 230 is coupled to the output 210 of the op amp 120 while the drain is coupled to the negative input of the op amp 120. The gate of the FET 230 is connected to Reset signal 440.

**[0026]** The input of a low-pass filter 410 is coupled to the output signal 210. The output of the low-pass filter 410 is coupled to the analog input of an analog-to-digital converter 420. Finally, a microprocessor 430 receives as input the digitized output signal 450 of the analog-to-digital converter 420.

**[0027]** Figure 6 illustrates the overall operation of the circuit 400. The circuit 400 receives and integrates a signal from a photo diode and resets the integrator, step 610. The circuit 400 then filters out the higher frequencies in the integrated signal, step 620. Next, the circuit 400 converts the analog filtered and integrated signal to digital samples, step 630. Finally, the circuit 400 calculates the integration slope for the photo diode signal by fitting a curve to the digitized samples, step 640. With the calculated slopes, the circuit 400 is better able to determine the original noise-less signal from the photo diode.

**[0028]** Figure 5 illustrates the timing of operation of the circuit 400 of Figure 4. In contrast to the prior art circuit 200 which just takes two readings for each integration period, the circuit 400 takes many readings 530 for each integration period. In preferred aspects, analog-to-digital converter 420 samples the integrator output more than two times, preferably more than ten times, still more preferably more than one-hundred times, in many cases more that five hundred and even more than one-thousand times.

**[0029]** Also in contrast to the prior art circuit 200, the circuit 400 applies a more sophisticated curve-calculation routine to the per-period sample readings to generate the per-period calculated slopes 510 and 520. The curve calculation filters away overlying noise. In this way, the circuit 400 decreases the noise contribution from the photo diode 130 and the op amp 120 near to what is included in the signal bandwidth.

**[0030]** The frequency of the Reset signal 440,  $f_{\text{Reset}}$ , is fast enough to allow detection of the fastest signal necessary,  $f_{\text{Signal}}$ . In one embodiment,  $f_{\text{Reset}}$  is approximately twice  $f_{\text{Signal}}$ .

**[0031]** The frequency of the low-pass filter 410,  $f_{\text{Low-Pass}}$ , is fast enough that the integration curves do not become significantly disturbed.  $f_{\text{Low-Pass}}$  is dependent on signal distortion specifications. In one embodiment,  $f_{\text{Low-pass}}$  is approximately ten times  $f_{\text{Reset}}$ .

**[0032]** To best filter noise, in one embodiment, the sample frequency,  $f_{\text{sample}}$ , is at least twice  $f_{\text{Low-pass}}$ .

**[0033]** The microprocessor 430 uses any of the numerous curve-fitting algorithms known in the art to calculate the slope of each integration period. Least-squares curve fitting is but one example of these algorithms. Any curve-fitting algorithm that filters away overlaid noise can be used. For example, the curve-fitting algorithm can be:  $0.5 \times f_{\text{Reset}} \times (\text{First Readings} - \text{Last Readings})$ , where "First Readings" are the first half of the samples taken within an integration period and "Last Readings" are the second half of the samples taken within an integration period.

**[0034]** The circuit 400 filters both voltage noise and current noise from the op amp 120 and photo diode 130 close to the theoretical value included in the signal band. Noise can be almost totally ignored.

**[0035]** The noise in the measurement is affected by the amount of noise at the negative input of the integrating op amp 120. Any component will generate noise as described in equations (2) and (3) above. Therefore, in a preferred embodiment, all components connected to the negative input of op amp 120 have very high resistance. Also, op amp 120 preferably has low noise parameters.

**[0036]** The embodiments described herein are by way of example and not limitation. Modifications to the invention as described will be readily apparent to one of ordinary skill in the art. For example, while the photo diode 130 is described as a signal source above, it is understood that any sensor giving voltage or current signals or any source of readings convertible to current or voltage readings can be the signal source. (Of course, if the signal source is a voltage output, a resistor converts it to a current output adaptable to the circuit described.) Still further, while a FET device 230 is described as the resetting mechanism, other devices which have high resistance when not asserting the Reset signal 440 can be used. For example, the resetting mechanism can be an opto-activated FET or opto-activated diode or relay or another kind of transistor.

**[0037]** Of course, the program text for such software as is herein disclosed can exist in its static form on a magnetic, optical or other disk, on magnetic tape or other medium requiring media movement for storage and/or retrieval, in ROM, in RAM or other integrated circuit, or in another data storage medium. That data storage medium may be integral to or insertable into a computer system.

## Claims

1. An apparatus (400) for use in measuring low power light signals, the apparatus comprising:

an Integrator, wherein the integrator receives an original low power light signal from a signal light source and integrates the signal over multiple integration periods :

an analog-to-digital converter (420) having an analog input coupled to an output of the integrator, wherein the converter digitally samples the integrator output (21) more than two times during each integration period

to obtain multiple digital samples (450, 530); and  
 a processor (450) coupled to a digital output of the analog-to-digital converter, wherein the processor is  
 arranged to fit the integration curves for each integration period and to determine the original low power  
 signal using the multiple digital samples and the integration curves.

2. The apparatus of claim 1, further comprising a low pass filter (410) coupled between the integrator and the converter, wherein the low pass filter operates to filter out frequencies above a selected level in the integrator output
3. The apparatus of claim 1, further comprising a reset mechanism coupled to the integrator, wherein the reset mechanism generates a reset signal (440), and wherein the integrator starts each integration period in response to the reset signal.
4. The apparatus of claim 3, wherein the reset signal has a reset frequency, wherein the original low power signal has a useful signal bandwidth, and wherein the reset frequency is approximately twice the useful signal bandwidth.
5. The apparatus of claim 3, further comprising a low pass filter (410) coupled between the integrator and the converter, wherein the low pass filter operates to filter out frequencies above a selected level in the integrator output.
6. The apparatus of claim 5, wherein the reset signal has a reset frequency, wherein the low pass filter operates at a specified frequency, and wherein the specified low pass filter frequency is approximately 10 times the reset frequency.
7. The apparatus of claim 3, wherein the reset mechanism includes one of a FET, a transistor, an opto-activated FET, an opto-activated diode and a relay.
8. The apparatus of claim 1, wherein the processor calculates an integration slope for each integration period using the multiple digital samples, and wherein the processor determines the original low power signal from the calculated integration slopes.
9. The apparatus of claim 8, wherein the processor calculates the integration slopes using least squares curve fitting to fit a line to the digital samples of the integrator output for each integration period.
10. The apparatus of claim 1, wherein the signal source is a photo diode which detects low power light-based signals.
11. The apparatus of claim 1, wherein the signal source is a detector which detects low power light-based signals, wherein the detector is selected from the group consisting of a photo diode, an avalanche photo diode and a photomultiplier tube.
12. The apparatus of claim 11, wherein the detector is located proximal a detection region in a first one of at least two intersecting microchannels, and wherein the detector detects light-based signals from the detection region and outputs the original low power signal.
13. The apparatus of claim 1, further comprising:
  - a detection region in a first one of at least two intersecting microchannels;
  - a photo diode (130) located proximal the detection region which detects a low power light-based signal in the detection region and outputs the original low power signal
  - a low pass filter (410) having an input interposed between an output of the integrator and the analog-to-digital converter, wherein the low pass filter operates to filter out frequencies above a selected level in the integrator output (210);
  - wherein the processor calculates the integration slope for each integration period using the multiple digital samples, and wherein the processor determines the original lower power signal from the calculated integration slopes.
14. A method of measuring low power light signals, comprising the steps of:
  - receiving (610) an original signal from a signal light source;
  - integrating over multiple integration periods the original signal with an integrator to produce an integrator output signal (210);

digitally sampling (630) the integrator output signal more than two times during each integration period of the integrator output signal with an analog-to-digital converter (420) coupled to the integrator to obtain multiple digital samples (450); and  
determining the original signal from the multiple digital samples by fitting the integration curves for each integration period.

15. The method of claim 14, further comprising the step of filtering out (620) frequencies above a predetermined level in the integrator output signal using a low pass filter (410) coupled between the integrator and the converter to produce a filtered signal, wherein the converter digitally samples the filtered signal.

16. The method of claim 14, further comprising the step of generating a reset signal (440) having a reset frequency with a reset mechanism coupled to the integrator, wherein the integrator starts each integration period in response to the reset signal.

17. The method of claim 16, wherein the reset mechanism includes one of a FET, a transistor, an opto-activated FET, an opto-activated diode and a relay.

18. The method of claim 16, further comprising the step of filtering out frequencies above a selected level in the integrator output signal using a low pass filter (410) coupled between the integrator and the analog-to-digital converter to produce a filtered signal, wherein the filter operates at a specific frequency, and wherein the specified frequency is approximately 10 times the reset frequency.

19. The method of claim 14, wherein the determining step includes the steps of:

calculating the integration slope for each integration period using the multiple digital samples; and  
determining the original signal from the calculated integration slopes.

20. The method of claim 19, wherein the calculating step includes the steps (640) of fitting a line to the digital samples using a least squares method, and using the slope of the line to determine the original signal.

21. The method of claim 14, wherein the original signal is a low power light-based signal, wherein the receiving step includes the step of detecting the original signal with a photo diode (130) coupled to the integrator which outputs a photo diode signal, and wherein the photodiode signal is integrated to produce the integrator output signal.

22. The method of claim 14, wherein the original signal is a low power light-based signal, wherein the receiving step includes the step of detecting the original signal with a detector coupled to the integrator which outputs a detector signal, wherein the detector is selected from the group consisting of a photo diode, an avalanche photo diode and a photomultiplier tube, and wherein the detector signal is Integrated to produce the integrator output signal.

23. The method of claim 22, further including the step of locating the detector proximal a detection region in a first one of at least two intersecting microchannels, wherein the detector detects light-based signals from the detection region.

24. The method of claim 14, further comprising the steps of:

providing a detection region in a first one of at least two intersecting microchannels ;  
locating a photo diode (130) proximal the detection region, wherein the photo diode detects an original lower power light-based signal in the detection region and outputs the original signal;  
filtering out (620) frequencies above a selected level in the integrator output signal using a low pass filter having an input coupled to an output of the integrator before the step of digitally sampling the integrator output signal;  
calculating the integration slope for each integration period using the multiple digital samples; and  
wherein the step of determining the original low power signal comprises determining the original low power signal from the calculated integration slopes.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung (400) zur Verwendung bei der Messung von Niederleistungs-Lichtsignalen, umfassend:

einen Integrator, wobei der Integrator ein Niederleistungs-Licht-Eingangssignal von einer Signal-Lichtquelle empfängt und das Signal über eine Vielzahl von Integrations-Zeitintervallen integriert;  
 einen Analog/Digital-Umsetzer (420), der einen analogen Eingang, der an einen Ausgang des Integrators angeschlossen ist, aufweist, wobei der Umsetzer die Integrator-Ausgabe (21) mehr als zweimal während jedes Integrations-Zeitintervalls abtastet, um eine Vielzahl von digitalen Abtastwerten (450, 530) zu erhalten; und  
 einen Prozessor (450), der an einem digitalen Ausgang des Analog/Digital-Umsetzers angeschlossen ist, wobei der Prozessor dazu ausgebildet ist, die Integrations-Kurven für jedes Integrations-Zeitintervall anzupassen und das Niederleistungs-Eingangssignal unter Verwendung der Vielzahl der digitalen Abtastwerte und der Integrations-Kurven zu bestimmen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Tiefpassfilter (410), der zwischen dem Integrator und dem Umsetzer angeschlossen ist, wobei der Tiefpassfilter derart wirkt, dass er in der Integrator-Ausgabe Frequenzen über einer ausgewählten Höhe herausfiltert.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Rücksetzungsmechanismus, der an den Integrator angeschlossen ist, wobei der Rücksetzungsmechanismus ein Rücksetzungssignal (440) erzeugt, und wobei der Integrator jedes Integrations-Zeitintervall als Antwort auf das Rücksetzungssignal startet.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Rücksetzungssignal eine Rücksetzungsfrequenz aufweist, wobei das Niederleistungs-Eingangssignal eine verwendbare Signal-Bandbreite aufweist, und wobei die Rücksetzungsfrequenz in etwa das zweifache der verwendbaren Signal-Bandbreite beträgt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3, ferner umfassend einen Tiefpassfilter (410), der zwischen dem Integrator und dem Umsetzer angeschlossen ist, wobei der Tiefpassfilter derart wirkt, dass er in der Integrator-Ausgabe Frequenzen über einer ausgewählten Höhe herausfiltert.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Rücksetzungssignal eine Rücksetzungsfrequenz aufweist, wobei der Tiefpassfilter bei einer festgelegten Frequenz arbeitet, und wobei die festgelegte Tiefpassfilter-Frequenz in etwa das 10-fache der Rücksetzungsfrequenz beträgt.
7. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei der Rücksetzungsmechanismus eine Vorrichtung aufweist, die aus der Gruppe, umfassend einen FET, einen optisch aktivierbaren FET, eine optisch aktivierbare Diode und ein Relais, ausgewählt ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Prozessor eine Integrationssteigung für jedes Integrations-Zeitintervall unter Verwendung der Vielzahl der digitalen Abtastwerte berechnet, und wobei der Prozessor das Niederleistungs-Eingangssignal aus den berechneten Integrationssteigungen bestimmt.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei der Prozessor die Integrationssteigungen unter Verwendung der Anpassung mittels der kleinsten Fehlerquadrate derart berechnet, dass für jedes Integrations-Zeitintervall eine Linie an die digitalen Abtastwerte der Integrator-Ausgabe angepasst wird.
10. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Signalquelle eine Photodiode ist, welche Licht basierte Niederleistungs-Signale erfasst.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Signalquelle ein Detektor ist, der Licht basierte Niederleistungs-Signale erfasst, und wobei der Detektor aus der Gruppe, bestehend aus einer Photodiode, einer Lawinen-Photodiode und einer Photoelektronenvervielfacher-Röhre, ausgewählt ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei der Detektor in der Nähe eines Erfassungsgebiets in einem ersten von mindestens zwei sich kreuzenden Mikrokanälen angeordnet ist, und wobei der Detektor Licht basierte Signale von dem Erfassungsgebiet erfasst und das Niederleistungs-Eingangssignal ausgibt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend:
 

ein Erfassungsgebiet in einem ersten von mindestens zwei sich kreuzenden Mikrokanälen;  
 eine in der Nähe des Erfassungsgebiets angeordnete Photodiode (130), welche ein Licht basiertes Niederleistungs-Signal in dem Erfassungsgebiet erfasst und das Niederleistungs-Eingangssignal ausgibt;



einen Tiefpassfilter (410), der einen Eingang aufweist, der zwischen einem Ausgang des Integrators und dem Analog/Digital-Umsetzer angeordnet ist, wobei der Tiefpassfilter derart wirkt, dass er in der Integrator-Ausgabe (210) Frequenzen über einer ausgewählten Höhe herausfiltert;  
wobei Prozessor die Integrationssteigung für jedes Integrations-Zeitintervall unter Verwendung der Vielzahl der digitalen Abtastwerte berechnet, und wobei der Prozessor das Niederleistungs-Eingangssignal aus den berechneten Integrationssteigungen bestimmt.

**14.** Verfahren zur Messung von Niederleistungs-Lichtsignalen, umfassend die Schritte:

Empfangen (610) eines Eingangssignals von einer Signal-Lichtquelle;  
Integrieren des Eingangssignals über eine Vielzahl von Integrations-Zeitintervallen mittels eines Integrators, um ein Integrator-Ausgangssignal (210) zu erzeugen;  
digitales Abtasten (630) des Integrator-Ausgangssignals mehr als zweimal während jedes Integrations-Zeitintervalls des Integrator-Ausgangssignals mittels eines Analog/Digital-Umsetzers (420), der an den Integrator angeschlossen ist, um eine Vielzahl von digitalen Abtastwerten (450) zu erhalten; und  
Bestimmen des Eingangssignals aus der Vielzahl der digitalen Abtastwerte durch Anpassen der Integrations-Kurven für jedes Integrations-Zeitintervall.

**15.** Verfahren nach Anspruch 14, ferner umfassend den Schritt des Herausfilterns (620) von Frequenzen über einer vorbestimmten Höhe in dem Integrator-Ausgangssignal unter Verwendung eines Tiefpassfilters (410), der zwischen dem Integrator und dem Umsetzer angeschlossen ist, um ein gefiltertes Signal zu erzeugen, wobei der Umsetzer das gefilterte Signal digital abtastet.

**16.** Verfahren nach Anspruch 14, ferner umfassend den Schritt des Erzeugen eines Rücksetzungssignals (440), das eine Rücksetzungsfrequenz aufweist, mittels eines Rücksetzungsmechanismus, der an den Integrator angeschlossen ist, wobei der Integrator jedes Integrations-Zeitintervall als Antwort auf das Rücksetzungssignal startet.

**17.** Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Rücksetzungsmechanismus eine Vorrichtung aufweist, die aus der Gruppe, umfassend einen FET, einen Transistor, einen optisch aktivierbaren FET, eine optisch aktivierbare Diode und ein Relais, ausgewählt ist.

**18.** Verfahren nach Anspruch 16, ferner umfassend den Schritt des Herausfilterns von Frequenzen über einer ausgewählten Höhe in dem Integrator-Ausgangssignal unter Verwendung eines Tiefpassfilters (410), der zwischen dem Integrator und dem Analog/Digital-Umsetzer angeschlossen ist, um ein gefiltertes Signal zu erzeugen, wobei der Filter bei einer festgelegten Frequenz arbeitet, und wobei die festgelegte Frequenz in etwa das 10-fache der Rücksetzungsfrequenz beträgt.

**19.** Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Schritt des Bestimmens die Schritte umfasst:

Berechnen der Integrationssteigung für jedes Integrations-Zeitintervall unter Verwendung der Vielzahl der digitalen Abtastwerte; und  
Bestimmen des Eingangssignals aus den berechneten Integrationssteigungen.

**20.** Verfahren nach Anspruch 19, wobei der Schritt des Berechnens die Schritte (640) des Anpassens einer Linie an die digitalen Abtastwerte unter Verwendung des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate und der Verwendung der Steigung der Linie zur Bestimmung des Eingangssignals umfasst.

**21.** Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Eingangssignal ein Licht basiertes Niederleistungs-Signal ist, wobei der Schritt des Empfangens den Schritt des Erfassens des Eingangssignals mittels einer Photodiode (130) umfasst, die an den Integrator angeschlossen ist und welche ein Photodiodensignal ausgibt, und wobei das Photodiodensignal integriert wird, um das Integrator-Ausgangssignal zu erzeugen.

**22.** Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Eingangssignal ein Licht basiertes Niederleistungs-Signal ist, wobei der Schritt des Empfangens den Schritt des Erfassens des Eingangssignals mittels eines Detektors umfasst, der an den Integrator angeschlossen ist und welcher ein Erfassungssignal ausgibt, wobei der Detektor aus der Gruppe, bestehend aus einer Photodiode, einer Lawinen-Photodiode und einer Photoelektronenvervielfacher-Röhre, ausgewählt ist, und wobei das Erfassungssignal integriert wird, um das Integrator-Ausgangssignal zu erzeugen.

23. Verfahren nach Anspruch 22, ferner umfassend den Schritt des Anordnens des Detektors in der Nähe eines Erfassungsgebiets in einem ersten von mindestens zwei sich kreuzenden Mikrokanälen, wobei der Detektor Licht basierte Signale von dem Erfassungsgebiet erfasst.

24. Verfahren nach Anspruch 14, ferner umfassend die Schritte:

Bereitstellen eines Erfassungsgebiets in einem ersten von mindestens zwei sich kreuzenden Mikrokanälen;  
Anordnen einer Photodiode (130) in der Nähe des Erfassungsgebiets, wobei die Photodiode ein Licht basiertes Niederleistungs-Eingangssignal in dem Erfassungsgebiet erfasst und das Eingangssignal ausgibt;  
Herausfiltern (620) von Frequenzen über einer ausgewählten Höhe in dem Integrator-Ausgangssignal unter Verwendung eines Tiefpassfilters, der einen Eingang aufweist, der an einen Ausgang des Integrators angeschlossen ist, vor dem Schritt des digitalen Abtastens des Integrator-Ausgangssignals;  
Berechnen der Integrationssteigung für jedes Integrations-Zeitintervall unter Verwendung der Vielzahl der digitalen Abtastwerte; und  
wobei der Schritt des Bestimmens des Niederleistungs-Eingangssignals das Bestimmen des Niederleistungs-Eingangssignals aus den berechneten Integrationssteigungen umfasst.

## Revendications

1. Appareil (400) à utiliser pour mesurer des signaux lumineux à faible puissance, l'appareil comprenant :

un intégrateur, dans lequel l'intégrateur reçoit un signal lumineux originel à faible puissance provenant d'une source de signaux lumineux et intègre le signal lors de multiples périodes d'intégration ;  
un convertisseur analogique-numérique (420) possédant une entrée analogique couplée à une sortie de l'intégrateur, dans lequel le convertisseur échantillonne numériquement la sortie de l'intégrateur (21) plus de deux fois au cours de chaque période d'intégration pour obtenir de multiples échantillons numériques (450, 530) ; et  
un processeur (450) couplé à une sortie numérique du convertisseur analogique-numérique, dans lequel le processeur est agencé de manière à égaliser les courbes d'intégration pour chaque période d'intégration et déterminer le signal originel à faible puissance en utilisant les multiples échantillons numériques et les courbes d'intégration.

2. Appareil selon la revendication 1, comprenant en outre un filtre passe-bas (410) couplé entre l'intégrateur et le convertisseur, dans lequel le filtre passe-bas sert à éliminer par filtrage les fréquences supérieures à un niveau sélectionné dans la sortie de l'intégrateur.

3. Appareil selon la revendication 1, comprenant en outre un mécanisme de remise à zéro couplé à l'intégrateur, dans lequel le mécanisme de remise à zéro génère un signal de remise à zéro (440), et dans lequel l'intégrateur démarre chaque période d'intégration en réponse au signal de remise à zéro.

4. Appareil selon la revendication 3, dans lequel le signal de remise à zéro possède une fréquence de remise à zéro, dans lequel le signal originel à faible puissance a une largeur de bande du signal utile, et dans lequel la fréquence de remise à zéro est d'environ deux fois la largeur de bande du signal utile.

5. Appareil selon la revendication 3, comprenant en outre un filtre passe-bas (410) couplé entre l'intégrateur et le convertisseur, dans lequel le filtre passe-bas sert à éliminer par filtrage les fréquences supérieures à un niveau sélectionné dans la sortie de l'intégrateur.

6. Appareil selon la revendication 5, dans lequel le signal de remise à zéro possède une fréquence de remise à zéro, dans lequel le filtre passe-bas fonctionne à une fréquence spécifiée, et dans lequel la fréquence spécifiée du filtre passe-bas est d'environ 10 fois la fréquence de remise à zéro.

7. Appareil selon la revendication 3, dans lequel le mécanisme de remise à zéro comprend l'un des éléments suivants : un transistor à effet de champ, un transistor, un transistor à effet de champ opto-activé, une diode opto-activée et un relais.

8. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le processeur calcule une pente d'intégration pour chaque période d'intégration en utilisant les multiples échantillons numériques, et dans lequel le processeur détermine le signal

originel à faible puissance à partir des pentes d'intégration calculées.

- 5 9. Appareil selon la revendication 8, dans lequel le processeur calcule les pentes d'intégration en utilisant l'ajustement des courbes par la méthode des moindres carrés pour ajuster une droite en fonction des échantillons numériques de la sortie de l'intégrateur pour chaque période d'intégration.
- 10 10. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la source de signal est une photodiode qui détecte les signaux à faible puissance basés sur la lumière.
- 10 11. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la source de signal est un détecteur qui détecte les signaux à faible puissance basés sur la lumière, dans lequel le détecteur est sélectionné dans le groupe constitué d'une photodiode, d'une photodiode à avalanche et d'un tube photomultiplicateur.
- 15 12. Appareil selon la revendication 11, dans lequel le détecteur est situé à proximité d'une zone de détection dans un premier d'au moins deux microcanaux qui se croisent, et dans lequel le détecteur détecte des signaux basés sur la lumière provenant de la zone de détection et émet le signal originel à faible puissance.
- 20 13. Appareil selon la revendication 1, comprenant en outre :  
une zone de détection dans un premier d'au moins deux microcanaux qui se croisent ;  
une photodiode (130) située à proximité de la zone de détection qui détecte un signal à faible puissance basé sur la lumière dans la zone de détection et émet le signal originel à faible puissance;  
un filtre passe-bas (410) possédant une entrée placée entre une sortie de l'intégrateur et le convertisseur analogique-numérique, dans lequel le filtre passe-bas sert à éliminer par filtrage les fréquences supérieures à  
25 un niveau sélectionné dans la sortie de l'intégrateur (210) ;  
dans lequel le processeur calcule la pente d'intégration pour chaque période d'intégration en utilisant les multiples échantillons numériques, et dans lequel le processeur détermine le signal originel à plus faible puissance à partir des pentes d'intégration calculées.
- 30 14. Procédé pour mesurer les signaux lumineux à faible puissance, comprenant les étapes consistant à :  
recevoir (610) un signal originel provenant d'une source de signaux lumineux ;  
intégrer lors de multiples périodes d'intégration le signal originel avec un intégrateur pour produire un signal de sortie de l'intégrateur (210) ;  
35 échantillonner numériquement (630) le signal de sortie de l'intégrateur plus de deux fois au cours de chaque période d'intégration du signal de sortie de l'intégrateur avec un convertisseur analogique-numérique (420) couplé à l'intégrateur pour obtenir de multiples échantillons numériques (450) ; et  
déterminer le signal originel à partir des multiples échantillons numériques en égalisant les courbes d'intégration pour chaque période d'intégration.  
40
15. Procédé selon la revendication 14, comprenant en outre l'étape consistant à éliminer par filtrage (620) les fréquences supérieures à un niveau prédéterminé dans le signal de sortie de l'intégrateur en utilisant un filtre passe-bas (410) couplé entre l'intégrateur et le convertisseur pour produire un signal filtré, dans lequel le convertisseur échantillonne numériquement le signal filtré.  
45
16. Procédé selon la revendication 14, comprenant en outre l'étape consistant à générer un signal de remise à zéro (440) possédant une fréquence de remise à zéro avec un mécanisme de remise à zéro couplé à l'intégrateur, dans lequel l'intégrateur démarre chaque période d'intégration en réponse au signal de remise à zéro.
- 50 17. Procédé selon la revendication 16, dans lequel le mécanisme de remise à zéro comprend l'un des éléments suivants : un transistor à effet de champ, un transistor, un transistor à effet de champ opto-activé, une diode opto-activée et un relais.
- 55 18. Procédé selon la revendication 16, comprenant en outre l'étape consistant à éliminer par filtrage les fréquences supérieures à un niveau sélectionné dans le signal de sortie de l'intégrateur en utilisant un filtre passe-bas (410) couplé entre l'intégrateur et le convertisseur analogique-numérique pour produire un signal filtré, dans lequel le filtre fonctionne à une fréquence spécifique, et dans lequel la fréquence spécifiée est d'environ 10 fois la fréquence de remise à zéro.

19. Procédé selon la revendication 14, dans lequel l'étape de détermination comprend les étapes consistant à :

calculer la pente d'intégration pour chaque période d'intégration en utilisant les multiples échantillons numériques ; et

déterminer le signal originel à partir des pentes d'intégration calculées.

20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel l'étape de calcul comprend les étapes (640) consistant à ajuster une droite en fonction des échantillons numériques en utilisant une méthode des moindres carrés et en utilisant la pente de la droite pour déterminer le signal originel.

21. Procédé selon la revendication 14, dans lequel le signal originel est un signal à faible puissance basé sur la lumière, dans lequel l'étape de réception comprend l'étape consistant à détecter le signal originel avec une photodiode (130) couplée à l'intégrateur qui émet un signal de photodiode, et dans lequel le signal de photodiode est intégré pour produire le signal de sortie de l'intégrateur.

22. Procédé selon la revendication 14, dans lequel le signal originel est un signal à faible puissance basé sur la lumière, dans lequel l'étape de réception comprend l'étape consistant à détecter le signal originel avec un détecteur couplé à l'intégrateur qui émet un signal de détecteur, dans lequel le détecteur est sélectionné dans un groupe constitué d'une photodiode, d'une photodiode à avalanche et d'un tube photomultiplicateur, et dans lequel le signal de détecteur est intégré pour produire le signal de sortie de l'intégrateur.

23. Procédé selon la revendication 22, comprenant en outre l'étape consistant à positionner le détecteur à proximité d'une zone de détection dans un premier d'au moins deux microcanaux qui se croisent, dans lequel le détecteur détecte des signaux basés sur la lumière provenant de la zone de détection.

24. Procédé selon la revendication 14, comprenant en outre les étapes consistant à :

fournir une zone de détection dans un premier d'au moins deux microcanaux qui se croisent ;  
positionner une photodiode (130) à proximité de la zone de détection, dans lequel la photodiode détecte un signal originel à plus faible puissance basé sur la lumière dans la zone de détection et émet le signal originel ;  
éliminer par filtrage (620) les fréquences supérieures à un niveau sélectionné dans le signal de sortie de l'intégrateur en utilisant un filtre passe-bas possédant une entrée couplée à une sortie de l'intégrateur avant l'étape consistant à échantillonner numériquement le signal de sortie de l'intégrateur ;  
calculer la pente d'intégration pour chaque période d'intégration en utilisant les multiples échantillons numériques ; et  
dans lequel l'étape consistant à déterminer le signal originel à faible puissance comprend la détermination du signal originel à faible puissance à partir des pentes d'intégration calculées.

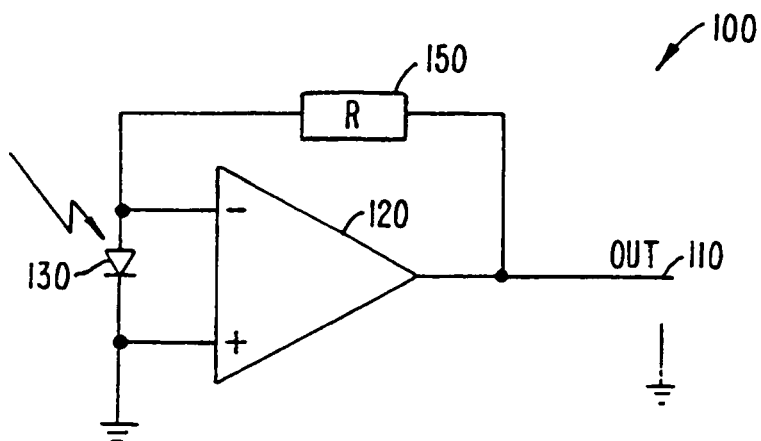


FIG. 1. (PRIOR ART)

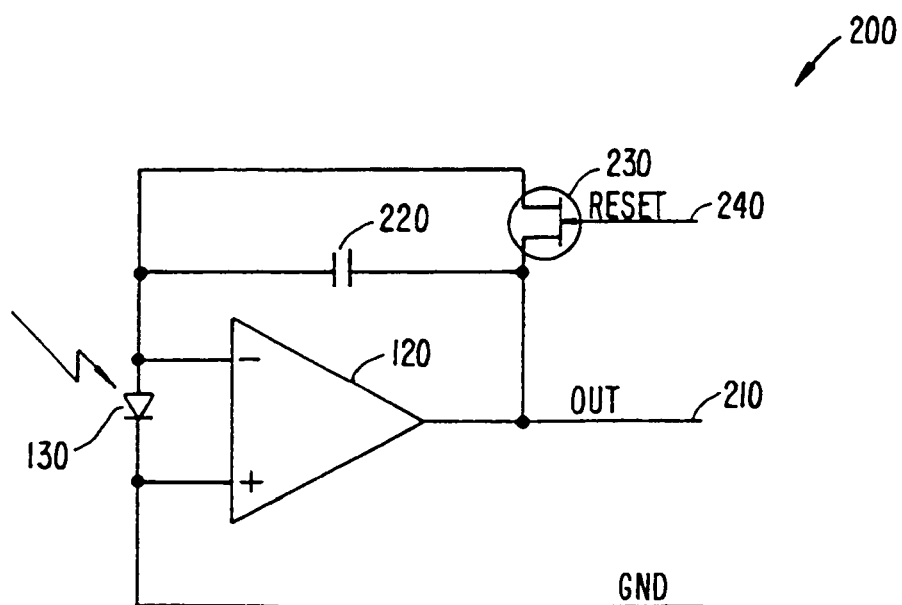


FIG. 2. (PRIOR ART)

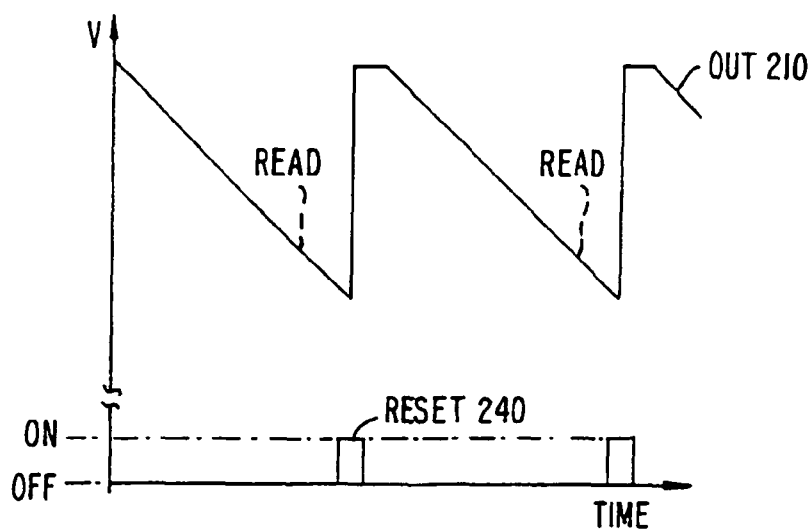


FIG. 3. (PRIOR ART)

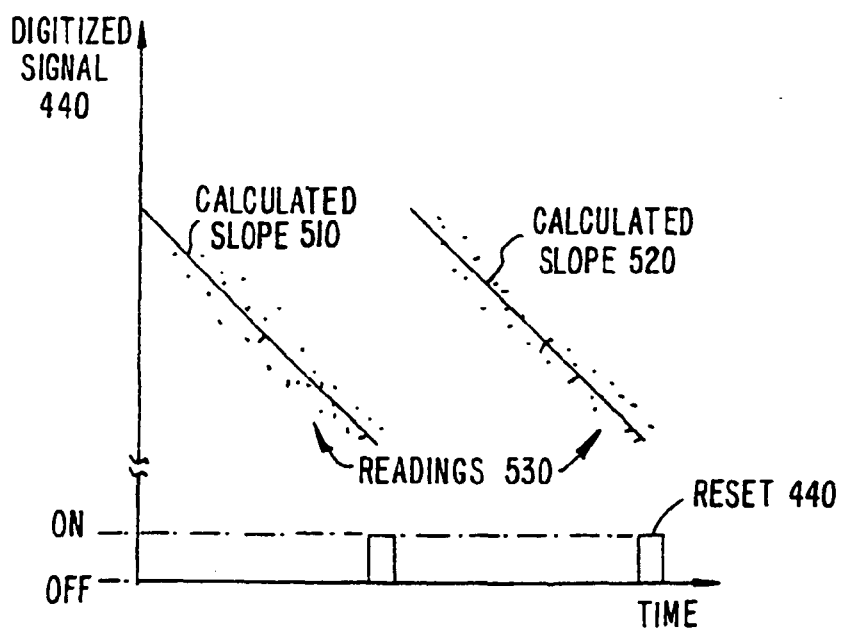


FIG. 5.

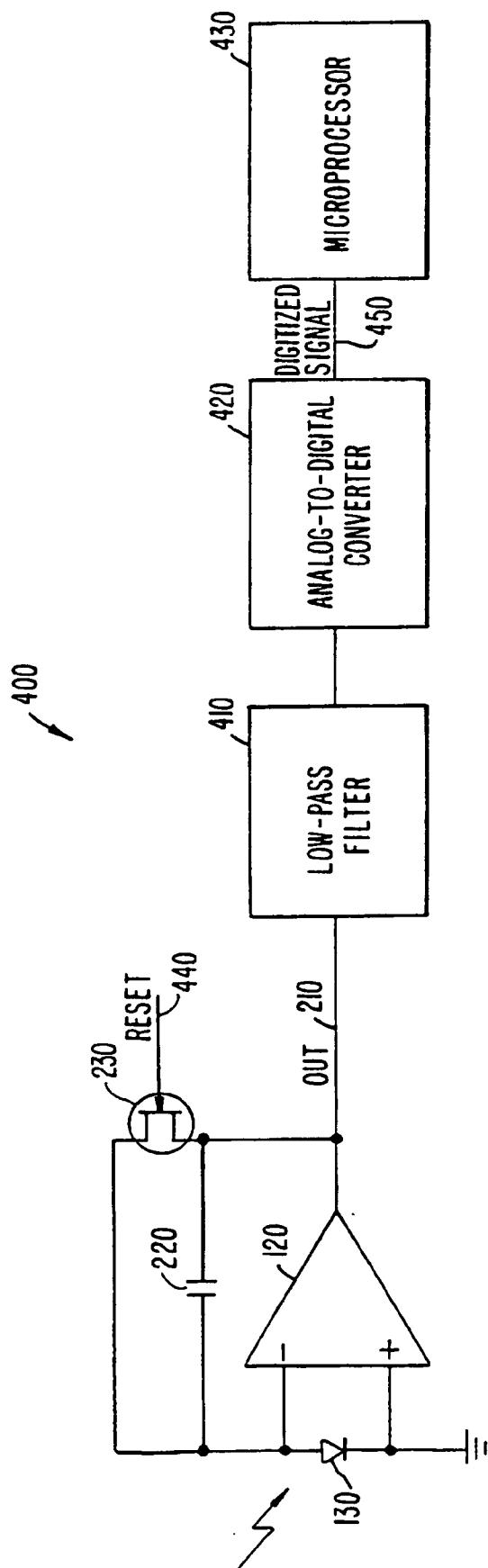
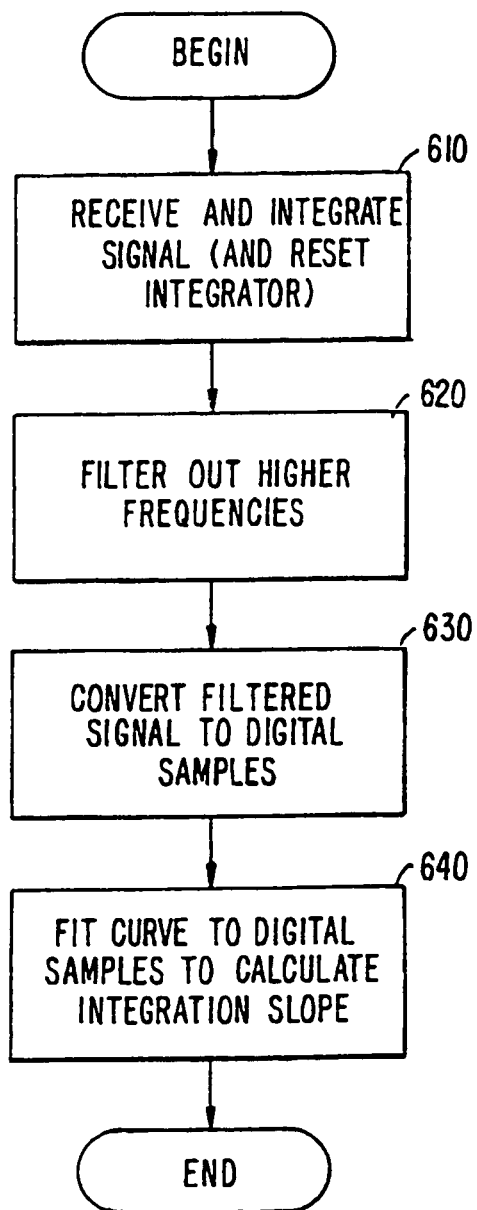
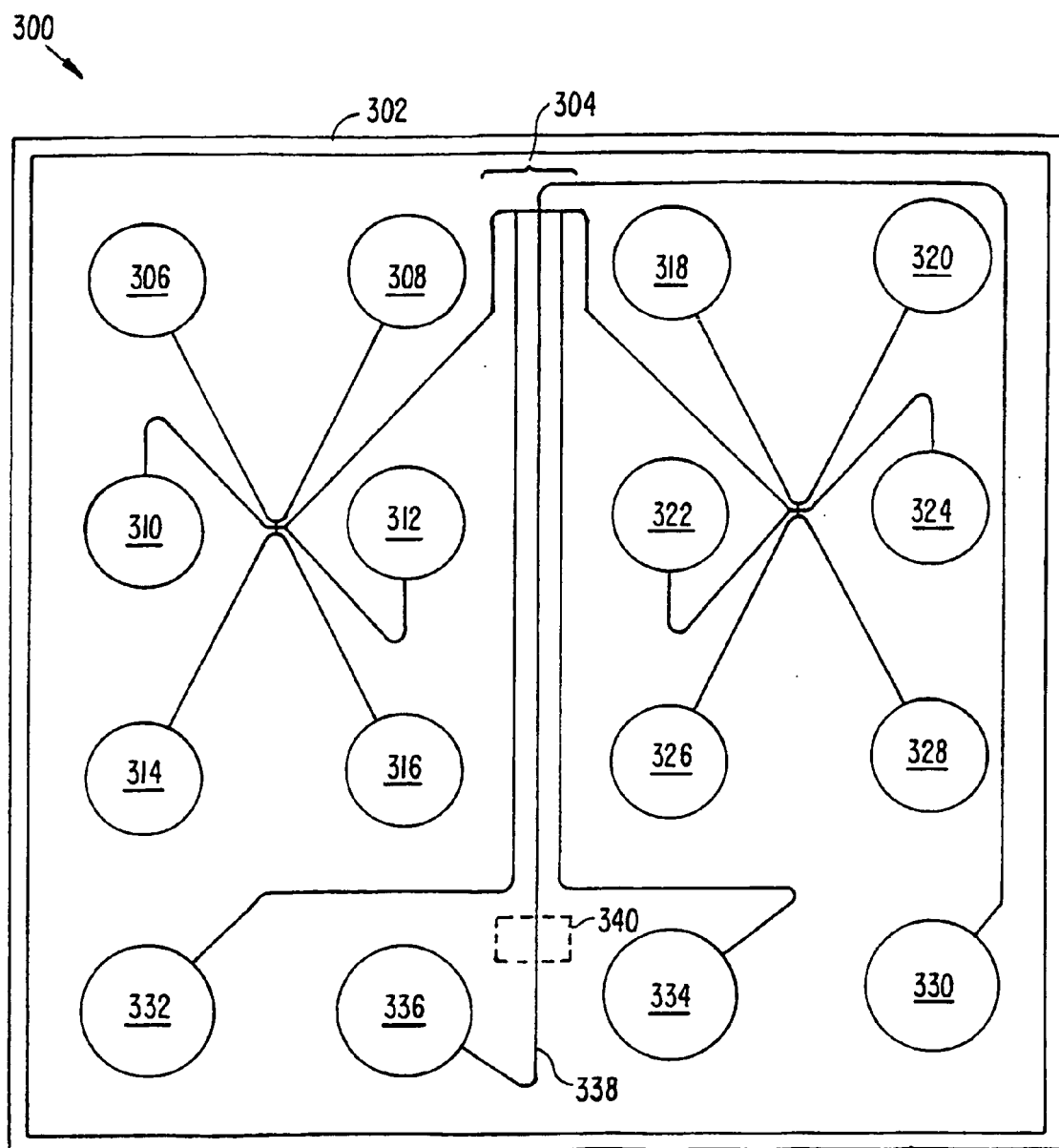


FIG. 4.



**FIG. 6.**





**FIG. 7.**

**REFERENCES CITED IN THE DESCRIPTION**

*This list of references cited by the applicant is for the reader's convenience only. It does not form part of the European patent document. Even though great care has been taken in compiling the references, errors or omissions cannot be excluded and the EPO disclaims all liability in this regard.*

**Patent documents cited in the description**

- US 05110297 P [0001]
- US 5307145 A [0014]
- US 845754 A [0020]
- US 08881696 B [0020]
- US 76157596 A [0020]
- US 60049413 B [0020]
- US 08845754 B [0024]
- WO 9800231 A [0024]