



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I415203 B

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 11 月 11 日

(21) 申請案號：098135119

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 10 月 16 日

(51) Int. Cl. : **H01L21/66 (2006.01)**

(71) 申請人：國立屏東科技大學 (中華民國) NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (TW)

屏東縣內埔鄉學府路 1 號

(72) 發明人：熊京民 HSIUNG, CHIN MIN (TW)

(74) 代理人：李文賢

(56) 參考文獻：

TW 201024763A

TW 201024764A

TW 201115665A

EP 1440350A2

US 20070166577A1

審查人員：蔡茜堉

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：2 共 13 頁

(54) 名稱

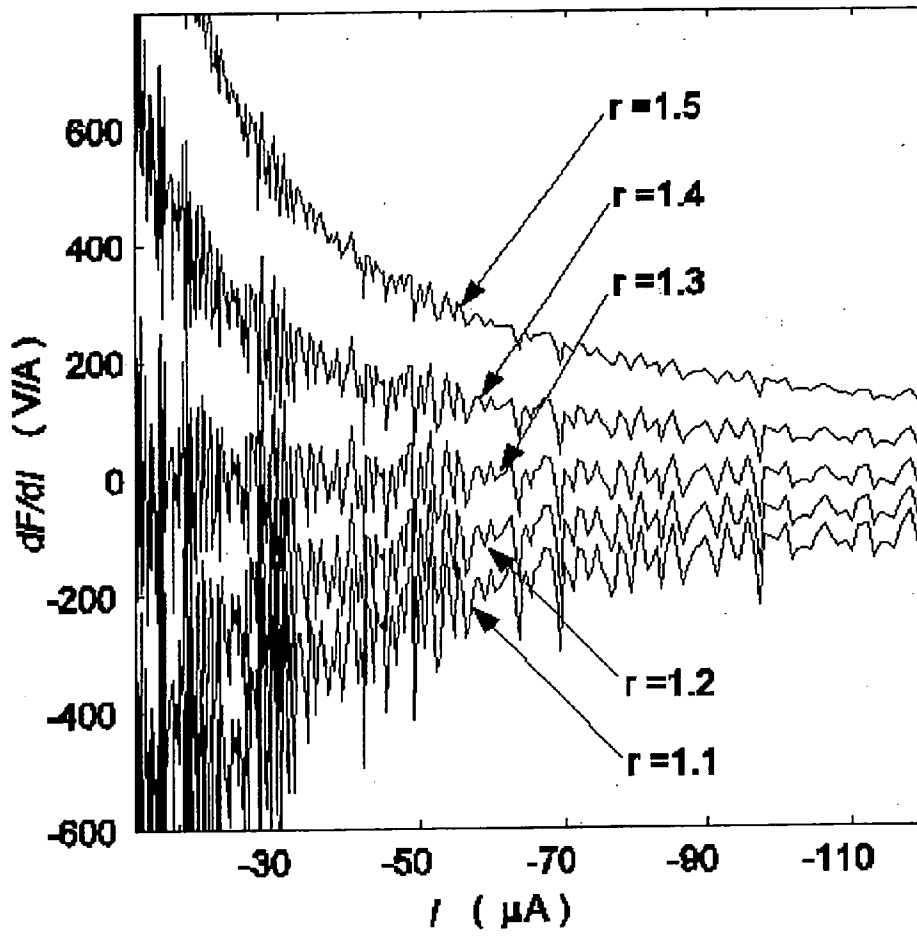
利用二極體之逆向偏壓 I - V 特性曲線取得其參數之方法

METHOD FOR OBTAINING PARAMETERS BY USING REVERSE IV CHARACTERISTIC OF DIODES

(57) 摘要

本發明之利用二極體之逆向偏壓 I-V 特性曲線取得其參數之方法為：建立一模型函數；量測二極體之逆向偏壓 I-V 特性曲線；及利用一方程式取得一 $dF(I)/dI$ 特性曲線；其中於該 $dF(I)/dI$ 特性曲線與部分量測二極體之逆向偏壓 I-V 特性曲線係藉由調整一可調變數 r 與一理想因子 n 達到近似，此外，當 $I=0$ 時，可得一能障值 ϕ ，而一電阻值 R 可藉由該 $dF(I)/dI$ 特性曲線中之 $dF(I)/dI$ 斜率取得。

The embodiment for determining parameters by using reverse I-V characteristic of diodes includes the steps of: building a model function, measuring reverse I-V characteristics of diode, and a $dF(I)/dI$ characteristic curve by utilizing a function of, wherein the $dF(I)/dI$ characteristic curve can be fit the measured reverse I-V characteristic of diodes by adjusting a adjustable parameter r and a ideal factor n . Moreover, the barrier height can be derived while $I=0$, and the resistance R can be derived by the slope of $dF(I)/dI$ of the $dF(I)/dI$ characteristic curve.



第 2 圖

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98135119

※申請日：98.10.16

※IPC 分類：H01L21/66 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法 / Method for
obtaining parameters by using reverse IV characteristic of diodes

二、中文發明摘要：

本發明之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法為：建立一模型函數；量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線；及利用一方程式取得一 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線；其中於該 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線與部分量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線係藉由調整一可調變數 r 與一理想因子 n 達到近似，此外，當 $I=0$ 時，可得一能障值 ϕ ，而一電阻值 R 可藉由該 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線中之 $dF(I)/dI$ 斜率取得。

三、英文發明摘要：

The embodiment for determining parameters by using reverse $I-V$ characteristic of diodes includes the steps of: building a model function, measuring reverse $I-V$ characteristics of diode, and a $dF(I)/dI-I$ characteristic curve by utilizing a function of, wherein the $dF(I)/dI-I$ characteristic curve can be fit the measured reverse $I-V$ characteristic of diodes by adjusting a adjustable parameter r and a ideal factor n . Moreover, the barrier height can be derived while $I=0$, and the resistance R can be derived by the slope of $dF(I)/dI$ of the $dF(I)/dI-I$ characteristic curve.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

無

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種取得二極體參數之方法，特別是關於一種利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得二極體參數之方法。

【先前技術】

二極體(diode)是一種讓電流只能電向通過的電子元件。最早的二極體是由真空管或含低壓氣體的管子所組成，在管子內有二根細線—屏極與絲極，電子只能單向地從絲極跑到屏極，如此可限定電流的方向。隨著電子元件的發展，二極體的應用相當廣泛，特別是雷射二極體，可發射雷射光用作指示器。二極體的用途可用在將交流電轉換為直流電，光電管為二極體的一種變形應用，可以感應光線或其他射線的改變，並能增強、放大光量，此外，能釋放光能或其他射線的發光二極體利用二極體之電壓及電流間 $I-V$ 特性曲線可取得二極體之參數。

利用二極體之電壓及電流間 $I-V$ 特性曲線可取得二極體之參數。例如，根據熱電子發散理論〔thermionic emission theory〕，蕭基二極體〔Schottky diode〕之 $I-V$ 曲線為：

$$I = I_0 \exp(-\beta\phi) (\exp(\beta V_d / n) - 1) \quad (1)$$

其中 ϕ 為能障， n 為理想因子， V_d 為二極體兩端電壓， $\beta = q/kT$ ， $I_0 = AST^2$ 。

其中 q 為電荷量， k 為 Boltzmann 常數， T 為絕對溫度， A 為接觸面積， S 為 Richardson 常數。

過去，學者 Norde、Bohlin 及其它學者提出許多方法，以取得蕭基二極體之相關 $I-V$ 特性參數，但其方法大致僅適用於二極體之順向偏壓特性。事實上，許多蕭基二極體的應用係往往操作在逆向偏壓狀態。例如，金屬-半導體-金屬光電探測器〔

metal-semiconductor-metal (MSM) photodetector] 是兩個蕭基二極體以背對背 [back to back] 連接方式形成。在加上偏壓時，其具有蕭基二極體之逆向偏壓特性。

為了取得參數 ϕ 、 n 及 R ，學者 Norde 提出輔助函數：

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

其中僅在固定溫度之下方可利用一次量測方式取得參數 ϕ [能障] 及 R [電阻]。

學者 Bohlin 利用 Norde 的輔助函數提出另一輔助函數：

$$F(V) = \frac{V}{r} - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

其中 r 為大於 n 之任意常數。

Norde 及 Bohlin 的 I - V 曲線函數皆認定 r 為常數，且在 Norde 的 I - V 曲線函數中 r 等於 2，在 Bohlin 的 I - V 曲線函數中 r 為任意常數。然而，無論 Norde 或 Bohlin 的方法不適合直接使用於分析逆向偏壓 I - V 曲線。首先，當 I 為負值時， I - V 曲線函數 $F(V)$ 不適用。其次，方程式(1)之 I - V 曲線特性無助於建立新關係式。最後，方程式(1)亦不全然正確。即，方程式(1)並未能顯示理想因子 n 降低 ϕ 能障能等效影響電子自金屬漂移至半導體之速率或自半導體漂移至金屬之速率。

簡言之，前述 Norde 或 Bohlin 利用二極體之順向偏壓 I - V 特性曲線函數 $F(V)$ 取得其參數方法並不適用於分析逆向偏壓 I - V 特性曲線。

目前有關二極體 I - V 特性曲線技術僅提及於少數美國專利而已，例如：美國專利公告號 US5,406,217 之 "Method of measuring the current-voltage characteristics of a DUT"；美國專利公告號 US4,902,912 之 "Apparatus including resonant-tunneling device

having multiple-peak current-voltage characteristics”；美國專利公告號 US4,456,880 之 “*I-V* curve tracer employing parametric sampling”；美國專利公告號 US4,129,823 之 “System for determining the current-voltage characteristics of a photovoltaic array”；美國專利公告號 US4,080,571 之 “Apparatus for measuring the current-voltage characteristics of a TRAPATT diode”，且前述諸美國專利無關於利用二極體之 *I-V* 特性曲線取得其參數。

【發明內容】

以下說明僅針對本發明目的及本發明較佳實施例予以概要方式說明，做為本發明之概要說明。至於本發明較佳實施例採用的二極體 *I-V* 模型函數之推導部分及利用圖示法之取得參數部份，另於實施方式中予以詳細說明。

本發明之主要目的係提供一種利用二極體之逆向偏壓 *I-V* 特性曲線取得其參數之方法，其提出二極體逆向偏壓 *I-V* 特性曲線之數學模型函數 $F(n, \phi, R)$ ，並以圖示法取得其參數，本發明達成簡化取得參數操作之目的。

為了達成上述目的，本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 *I-V* 特性曲線取得其參數之方法包含：建立一模型函數；量測二極體之逆向偏壓 *I-V* 特性曲線；及利用一方程式取得一 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線；其中於該 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線與部分量測二極體之逆向偏壓 *I-V* 特性曲線係藉由調整一可調變數 r 與一理想因子 n 達到近似，此外，當 $I=0$ 時，可得一能障值 ϕ ，而一電阻值 R 可藉由該 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線中之 $dF(I)/dI$ 之斜率取得。

為讓本創作之上述和其他目的、特徵、和優點能更明顯易懂，下文特舉數個較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下。

【實施方式】

為了充分瞭解本發明，於下文將例舉較佳實施例並配合所附圖式作詳細說明，且其並非用以限定本發明。

本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法可應用於各種二極體，例如：pn 二極體或蕭基 [Schottky] 二極體，但其並非用以限制本發明之範圍。本發明整個說明書中採用「二極體」之定義並非限定於任何特定一種二極體，於此不予詳細贅述。

本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法適當採用二極體 $I-V$ 模型函數之數學推導，該數學推導方式僅為用以說明本發明可行性，其並非用以限制本發明之範圍。

本發明之二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法係屬可利用電腦執行之程序 [computer-executable process]，其可執行於各種電腦設備 [computer equipment]，如桌上型電腦 [desktop computer]、筆記型電腦 [notebook]、工作站電腦 [workstation computer] 等，但其並非用以限制本發明之範圍。

以下說明為本發明較佳實施例採用的二極體 $I-V$ 模型函數之數學推導，用以建立本發明之模型函數：

$$I = I_0 \exp(-\beta\phi) \exp\left(\frac{\beta V_d}{n}\right) (1 - \exp(-\beta V_d)) \quad (2)$$

其中 $V_d = V - IR$ ，當 $-\beta V_d \gg 1$ ，上式可簡化為：

$$I = I_0 \exp(-\beta\phi) \exp\left(\frac{\beta V_d}{n}\right) (-\exp(-\beta V_d)) \quad (3)$$

本發明較佳實施例採用輔助函數為：

$$F(r, V, I) = \left(\frac{1}{r} - 1\right) V - \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{-I}{I_0}\right) \quad (4)$$

將方程式(3)及(4) 結合而獲得：

$$F(r, V, I) = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)V + \phi - \left(1 - \frac{1}{n}\right)RI \quad (5)$$

$$F(r, V, I) = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)V + \phi$$

其中， r 為可調變數、 ϕ 為能障、 n 為理想因子、 V 為電壓值、 R 為電阻值、 I 為電流值。

依據公式(5)，當 I 為 0 時，藉由調整可調變數 r 與理想因子 n 達到近似時， $1/r \doteq 1/n$ ，可得到能障值 $F(r, V, I) = \phi$ 。

將第(5)式對電流微分，可得到：

$$\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)\frac{dV}{dI} + \left(\frac{1}{n} - 1\right)R \quad (6)$$

從第(3)式可獲得：

$$\frac{dV}{dI} = \frac{n + (1-n)\beta RI}{(1-n)\beta I} \quad (7)$$

將第(6)式與第(7)式結合，可得到：

$$\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)\left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{n} - 1\right)R \quad (8)$$

由於 r 為可調變數，因而可依需求予以調整。其中， $dF(I)/dI-I$ 之間形成一雙曲線關係，且每兩個 $dF(I)/dI$ 形成之曲線彼此不互相交錯。此外，在 $-\beta V_d \gg 1$ 的部份，可知 $dF(I)/dI$ 具有一常數項 $(1/r-1)R$ ，並將 $dF(I)/dI$ 對 I 作圖後可發現， $dF(I)/dI$ 形成一水平線。另一方面，當 r 大於(或小於) n 時，該 $dF(I)/dI$ 形成之水平線會向上(或向下)彎曲。此外，將 r 調整至等於 n ，例如：手動方式或由電腦程式自動調整 r ，即 $n=r$ ，並可得下式：

$$\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - 1\right)R \quad (9)$$

接著，進行二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線之量測，常見之使用量測儀器為 HP4145B 直流量測系統。取得量測數據後，利用

上述推導得到之方程式 $\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R$ ，可繪出 $dF(I)/dI$ 特性曲線。藉由調整可調變數 r 與理想因子 n ，使得 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線與部份量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線達到近似。此外，在方程式 $\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R$ 接近 I 等於 0 時，會向下或向上彎曲，而能障值 ϕ 可藉由 I 等於 0 之截距取得。此外，藉由量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線與該方程式達到近似，進而電阻 R 可利用圖示法取得。

為了更清楚了解第一實施例之實施流程，可進一步由以下步驟說明了解：

步驟一：建立模型函數 $F(r, V, I) = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)V + \phi - \left(1 - \frac{1}{n}\right)RI$ 。

步驟二：由量測取得二極體逆偏 $I-V$ 特性曲線。

步驟三：藉由調整可調變數 r 與理想因子 n ，可得到一方程式

$$\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R。$$

步驟四：將 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線與部份量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線達到近似。

步驟五：藉由方程式 $\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R$ ，當 $I=0$ 時，可得能障值 ϕ 。

步驟六：藉由方程式 $\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R$ ，電阻值 R 可藉由 $dF(I)/dI-I$ 曲線特性得到。

顯然，本發明之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法只需一次量測 $I-V$ ，且僅需藉由圖示法取得其特性參數：電阻 R 、能障 ϕ 及理想因子 n 。再者，本發明較佳實施例之方法

係適用具有符合 $I-V$ 特性曲線方程式為

$$I = I_0 \exp(-\beta\phi) \exp\left(\frac{\beta V_d}{n}\right) (1 - \exp(-\beta V_d)) \text{ 之二極體。}$$

請參照第 1 圖所示，其揭示本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法顯示模型函數-電流之關係曲線圖，其係屬蕭基二極體之模型函數-電流之曲線圖。在第 1 圖中，蕭基二極體之接觸面積為 $A=1\text{cm}^2$ ，Richardson 常數為 $S=120\text{A}/^\circ\text{K cm}^2$ ，溫度為 $T=300^\circ\text{K}$ ，電阻 $R=10\Omega$ ，能障為 $\phi=0.79\text{eV}$ 及理想因子 $n=1.3$ 。前述各項數據僅用以說明實驗結果，其並非用以限制本發明之範圍。

請再參照第 1 圖所示，其顯示：當 $r=1.5$ 及 $r=1.4$ 時，曲線往上彎曲；當 $r=1.2$ 及 $r=1.1$ 時，曲線往下彎曲；當 $r=1.3$ 時，呈一水平線。是以，本發明只需一次量測 $I-V$ ，藉由圖示法取得其特性參數之電阻 R ，能障為 ϕ 及理想因子 n 。

請參照第 2 圖所示，其揭示本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法顯示具有 0.1% 電子雜訊之模型函數-電流之關係曲線圖，其係屬蕭基二極體之模型函數-電流之曲線圖。該圖顯示，當 $r=1.5$ 及 $r=1.4$ 時，曲線往上彎曲；當 $r=1.2$ 及 $r=1.1$ 時，曲線往下彎曲；當 $r=1.3$ 時，呈一水平線。是以，該具有斜率具有 0.1% 電子雜訊之模型函數仍具有與理論相符之曲線特性，可利用圖示法取得其具有 0.1% 電子雜訊之特性參數之電阻 R ，能障為 ϕ 及理想因子 n 。

請參照表 1 所示，其揭示利用本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法，求得不同二極體於電子雜訊加入及未加入之模型函數-電流之串聯電阻值。其中， R_i 為不同測試情況下之串聯電阻值， $i=1$ 為未加入電子雜訊、 $i=2$ 為加入 0.1% 電子雜訊，其模型函數-電流 $dF(V)/I-I$ 圖可分別參照第 1

圖及第 2 圖。

表 1. 不同二極體之串聯電阻 R (理論計算)、 R_1 (未加入電子雜訊) 及 R_2 (加入 0.1% 電子雜訊) 比較值

Diode	R (Ω)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
1	1000	1000	1312
2	100	100	98
3	10	10	11

前述較佳實施例僅舉例說明本發明及其技術特徵，該實施例之技術仍可適當進行各種實質等效修飾及/或替換方式予以實施；因此，本發明之權利範圍須視後附申請專利範圍所界定之範圍為準。

【圖式簡單說明】

第 1 圖：本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法顯示模型函數-電流之關係曲線圖。

第 2 圖：本發明較佳實施例之利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法顯示具 0.1% 電子雜訊之模型函數-電流之關係曲線圖。

【主要元件符號說明】

〔無元件符號〕

102年7月5日修正對線頁(本)

七、申請專利範圍：

- 1、一種利用二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線取得其參數之方法，包含下列步驟：

建立一模型函數；

量測一二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線；及

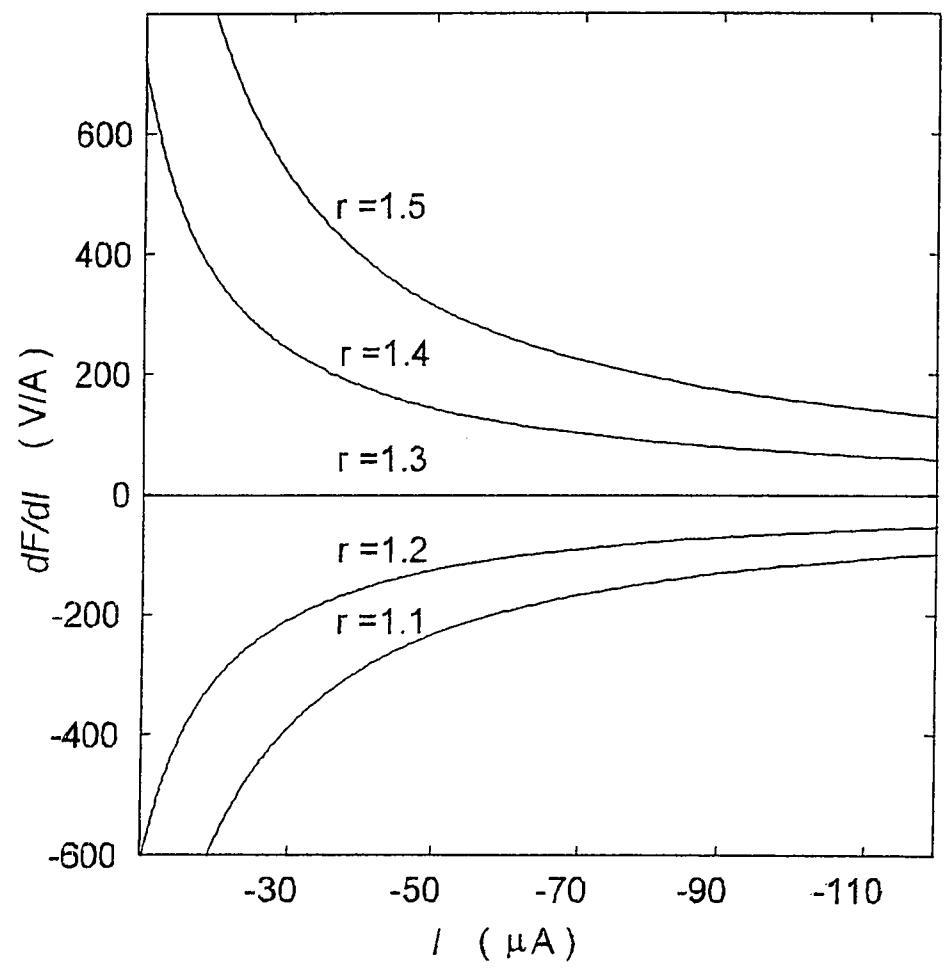
利用一方程式取得一 $dF(I)/dI-I$ 特性曲線；

其中於該 $dF/dI-I$ 特性曲線與部分量測二極體之逆向偏壓 $I-V$ 特性曲線係藉由調整一可調變數 r 與一理想因子 n 達到近似，此外，該模型函數為 $F(r, V, I) = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right)V + \phi - \left(1 - \frac{1}{n}\right)RI$ ，而 r 為可調變數、 ϕ 為能障、 n 為理想因子、 V 為電壓值、 R 為電阻值、 I 為電流值，當 $I=0$ 時，可得一能障值 ϕ ，而一電阻值 R 可藉由該 $dF/dI-I$ 特性曲線中之 dF/dI 斜率取得。

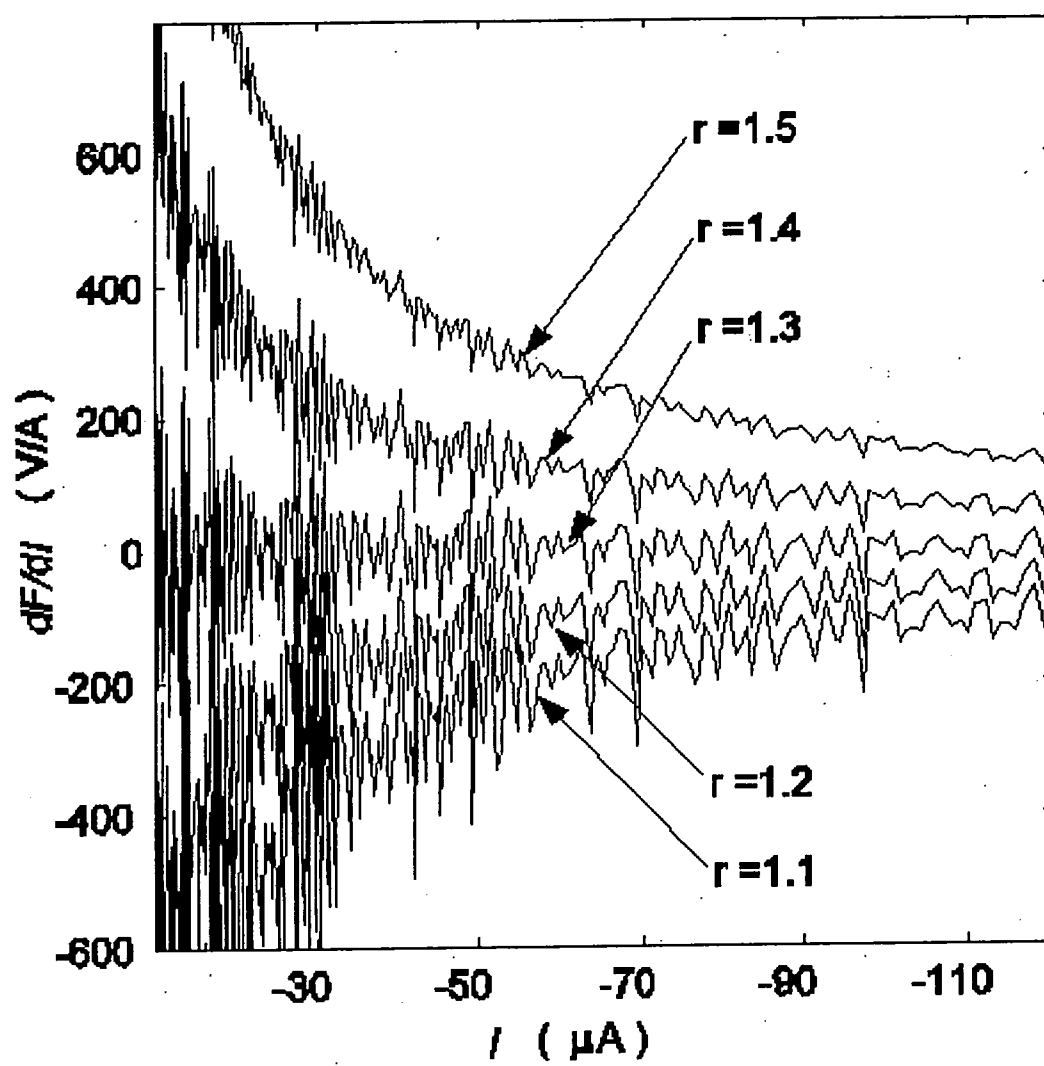
- 2、如請求項 1 所述之方法，其中該模型函數係用於具有電子雜訊 0.1% 以下之 $I-V$ 特性曲線。
- 3、如請求項 1 所述之方法，其中該方程式係利用該模型函數推導取得。
- 4、如請求項 1 所述之方法，其中該方程式為
- $$\frac{dF}{dI} = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{n}\right) \left(\frac{n}{(1-n)\beta I}\right) + \left(\frac{1}{r} - 1\right)R。$$
- 5、如請求項 1 所述之方法，其中可應用於 pn 二極體。
- 6、如請求項 1 所述之方法，其中該可調變數 r 與該理想因子 n 之調整方式係為遞增調整。
- 7、如請求項 1 所述之方法，其中該可調變數 r 與該理想因子 n 之調整方式係為遞減調整。
- 8、如請求項 1 所述之方法，其中該可調變數 r 與該理想因子 n 係藉由一電腦程式調整。

1972年7月5日修正對像頁(迄)

八、圖式：



第 1 圖



第 2 圖