



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105301287 B

(45)授权公告日 2018.08.21

(21)申请号 201410538330.6

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.10.13

G01Q 60/10(2010.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 王佳

申请公布号 CN 105301287 A

(43)申请公布日 2016.02.03

(30)优先权数据

103124553 2014.07.17 TW

(73)专利权人 白伟武

地址 中国台湾台北市

(72)发明人 白伟武 黎焕欣 陈怡然 赵彦铮

(74)专利代理机构 北京泰吉知识产权代理有限公司 11355

代理人 张雅军

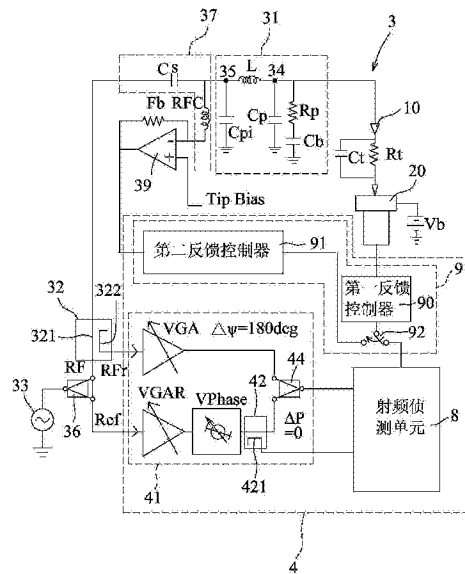
权利要求书4页 说明书14页 附图23页

(54)发明名称

射频反射式扫描穿隧显微镜

(57)摘要

一种射频反射式扫描穿隧显微镜,具有一个与一个待测样品间隔且相对设置的探针,用于扫描该待测样品的表面样貌,并包含:一个射频扫描共振电路,其包括一个电感以及与电感的一端并联的一个电容、一个电阻及一个穿隧电阻,其中该穿隧电阻形成于待测样品与探针间,一个与该电感的另一端电耦合的方向耦合器,一个产生一个射频信号并经由该方向耦合器输出至该射频扫描共振电路的射频信号源,以及一个射频信号测量系统,其接收该射频扫描共振电路经由该方向耦合器传来的一个射频反射信号,以根据该射频反射信号反馈控制该探针,并产生一个与该待测样品的表面样貌有关的扫描结果。



1. 一种射频反射式扫描穿隧显微镜, 具有一个与一个待测样品间隔且相对设置的探针, 用于扫描该待测样品的表面样貌, 其特征在于: 并包含:

一个射频扫描共振电路, 包括具有一个第一端及一第二端的一电感, 以及与该电感的该第一端并联的一个电容、一个与该电感的该第二端并联的辅助电容、一个电阻及一个穿隧电阻, 其中该穿隧电阻形成于该待测样品与该探针间;

一个方向耦合器, 与该射频扫描共振电路的该电感的该第二端电耦接, 且接收一个射频信号, 并将该射频信号输出至该射频扫描共振电路, 且接收一个经由该射频扫描共振电路反射传回的一个射频反射信号; 及

一个射频信号测量系统, 电连接该方向耦合器以接收该射频反射信号, 并根据该射频反射信号反馈控制该探针, 以产生一个与该待测样品的表面样貌有关的扫描结果。

2. 根据权利要求1所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 该射频扫描共振电路还包括一个与该电容串接并由一个第一外加电压控制, 以调整该射频扫描共振电路的一个共振频率的第一压控电容, 以及一个与该辅助电容串接并由一个第二外加电压控制, 以决定该射频扫描共振电路的一个最终阻抗的第二压控电容。

3. 根据权利要求1所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 还包含:

一个屏蔽壳体, 将该探针和该射频扫描共振电路包覆于其中, 以避免该射频反射信号受一个外部电流场或电子场干扰。

4. 根据权利要求3所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 该屏蔽壳体包括:

一个缺口, 邻近该探针, 以供该探针的一端前端裸露。

5. 根据权利要求4所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 该射频信号测量系统利用该射频反射信号反馈控制该探针, 并使该射频反射信号的能量强度或相位维持一定值的一个操作模式为一定射频扫描模式。

6. 根据权利要求1至5其中任一所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 还包括一个与一个射频信号源电耦接的1对2功率分配器, 其将该射频信号一分为二, 并经由两个输出端分别输出至该方向耦合器及该射频信号测量系统, 且该射频信号测量系统还包括一个反射信号补偿电路, 其将该1对2功率分配器输出的该射频信号适当放大并调整其相位, 并将该射频反射信号适当放大, 使该射频信号与包含于该射频反射信号中的部分该射频信号的振幅相同且相位相差180度, 再将两者相加, 以消除该射频反射信号中的该射频信号成份。

7. 根据权利要求6所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 该反射信号补偿电路包括一个放大该射频信号的第一可控增益放大器、一个放大该射频反射信号的第二可控增益放大器、一个调整该射频信号的相位, 使与该射频反射信号中的部分该射频信号具有180度相位差的可调移相器, 以及一个将该可调移相器输出的信号与该第二可控增益放大器输出的信号相加的组合器。

8. 根据权利要求7所述的射频反射式扫描穿隧显微镜, 其特征在于: 该射频信号测量系统还包括一设在该反射信号补偿电路的该可调移相器与该组合器的一个输入端间的第一方向耦合器、一个电连接该反射信号补偿电路的射频侦测单元, 及一个电连接于该射频侦测单元和该待测样品间的反馈控制单元,

该射频侦测单元接收由该第一方向耦合器耦合该可调移相器所输出的该射频信号和

该射频反射信号,并侦测该射频信号和该射频反射信号间的一相位差和该射频反射信号的一个功率强度,以得到一个指示该功率强度的输出,

而该反馈控制单元根据来自该射频侦测单元的该指示该功率强度的输出或相位差来调整该探针的高度。

9. 根据权利要求8所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:该射频侦测单元具有

一个射频功率放大器,接收来自该反射信号补偿电路的该组合器的输出,并加以放大而成一个补偿放大信号,

一个第一带通滤波器,电连接该射频功率放大器以接收该补偿放大信号,且将该补偿放大信号进行滤波以得到一个第一滤波信号,

一个1对2功率分配器,电连接该第一带通滤波器以接收该第一滤波信号,并将该第一滤波信号分为一个第一分岐信号和一个第二分岐信号,该第一分岐信号和该第二分岐信号相关于该射频反射信号,

一个射频功率侦测器,电连接该1对2功率分配器以侦测该第一分岐信号的该功率强度,且提供一个指示该功率强度的输出,

一个第二带通滤波器,电连接该反射信号补偿电路以接收该第一方向耦合器耦合该可调移相器所输出的该射频信号,且将该射频信号进行滤波以得到一第二滤波信号,

一相位差侦测器,电连接该1对2功率分配器和该第二带通滤波器以分别接收该第二分岐信号和该第二滤波信号,用于侦测该第二分岐信号和该第二滤波信号间的该相位差,且提供一个指示该相位差的输出,该第二滤波信号相关于该射频信号,及

一个显示回授电路,电连接该射频功率侦测器、该相位差侦测器,以接收来自该射频功率侦测器的输出与接收来自该相位差侦测器的输出,并根据该指示该功率强度或相位的输出描绘该待测样品的表面样貌并显示描绘结果。

10. 根据权利要求9所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:该射频侦测单元还具有一个设置于该1对2功率分配器和该射频功率侦测器间的一个调频滤波电路,该调频滤波电路具有

一个本地振荡器,产生一个本地振荡信号,

一个第一混波器,电连接该1对2功率分配器和该本地振荡器以接收该第一分岐信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一个第一混波信号,及

一个第三带通滤波器,电连接该第一混波器以接收该第一混波信号,且将该第一混波信号进行滤波以得到一第三混波信号,该第三混波信号相关于该第一分岐信号,并传送至该射频功率侦测器。

11. 根据权利要求8所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:还包含一个电连接于该方向耦合器、该1对2功率分配器和该反射信号补偿电路间的优化单元,该优化单元包括

一个本地振荡器,产生一个本地振荡信号,

一个第二混波器,电连接于该方向耦合器和该本地振荡器以接收该射频反射信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一个第二混波信号,

一个第一带通滤波器,电连接该第二混波器以接收该第二混波信号,并将该第二混波

信号进行滤波而产生一个第一混波滤波信号,并将该第一混波滤波信号传送至该第二可控增益放大器,

一个第三混波器,电连接于该1对2功率分配器和该本地振荡器以接收该射频信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一个第三混波信号,及

一个第二带通滤波器,电连接该第三混波器以接收该第三混波信号,并将该第三混波信号进行滤波而产生一第二混波滤波信号,并将该第二混波滤波信号传送至该第一可控增益放大器,

其中,该射频侦测单元具有

一个射频功率放大器,电连接该组合器以接收该组合器输出的信号,并加以放大而成一个补偿放大信号,

一个1对2功率分配器,电连接该射频功率放大器以接收该补偿放大信号,并将该补偿放大信号分为一个第一分岐信号和一个第二分岐信号,该第一分岐信号和该第二分岐信号相关于该射频反射信号,

一个射频功率侦测器,电连接该1对2功率分配器以侦测该第一分岐信号的该功率强度,且提供一个指示该功率强度的输出,

一个相位差侦测器,电连接该1对2功率分配器和该第一方向耦合器以接收该第二分岐信号和该第一方向耦合器输出的信号,用于侦测该第二分岐信号和该第一方向耦合器输出的信号间的该相位差,且提供一个指示该相位差的输出,该第一方向耦合器输出的信号相关于该射频信号,及

一个显示回授电路,接收来自该射频功率侦测器的输出与接收来自该相位差侦测器的输出,并根据该指示该功率强度或相位值的输出描绘该待测样品的表面样貌并显示描绘结果。

12. 根据权利要求8所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:还包括一个电流-电压转换放大器,及一个与该方向耦合器和该射频扫描共振电路电耦接的Bias-T电路,该方向耦合器输出的该射频信号经由该Bias-T电路输入该射频扫描共振电路,且该射频扫描共振电路产生的该射频反射信号经由该Bias-T电路输出至该方向耦合器,并且该射频扫描共振电路产生的一个穿隧电流经由该Bias-T电路输出至该电流-电压转换放大器进行放大,并转换成一个输出电压后输入该反馈控制单元,使该反馈控制单元根据该输出电压及该功率强度反馈控制该探针。

13. 根据权利要求12所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:该反馈控制单元包括

一个第二反馈控制器,接收该输出电压以产生一个直流输出,一个切换开关,受控制以选择来自该第二反馈控制器的该直流输出或来自该射频侦测单元的该输出,做为一个输出,及

一个第一反馈控制器,接收该切换开关的输出以调整该探针的高度。

14. 根据权利要求1所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:该待测样品被施加一偏压,且该探针接地,使得该探针足够接近该待测样品的表面时,于两者间形成穿隧效应而产生该穿隧电阻。

15. 根据权利要求1所述的射频反射式扫描穿隧显微镜,其特征在于:该待测样品被接

地,且该射频扫描共振电路经由一个高频扼流线圈被施加一偏压,以阻挡输入该射频扫描共振电路的一高频信号影响该偏压,且该电阻还串联一阻隔直流的阻隔电容,以阻挡该射频扫描共振电路产生的一经过该射频扫描共振电路的电阻的直流电流。

## 射频反射式扫描穿隧显微镜

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种穿隧显微镜,特别是涉及一种射频反射式扫描穿隧显微镜。

### 背景技术

[0002] 现有穿隧显微镜在使用上具有以下几项限制,一为该待测样品需为可导电物质;二为该现有定电流模式的穿隧显微镜会受到多个外场电子(流)源的干扰,所述外场电子(流)源包括电子枪产生的入射电子,二次电子,欧杰电子,以及受光激发的光电子等;三为电流电压转换器的带宽限于数十kHz之内。若所述电子源入射或离开一穿隧能障附近,则该外部电(子)流与穿隧电流 $I_t$ 即会一起经由电流-电压转换器放大,进而干扰既有的电流回馈机制,造成无法扫描成像的问题。

[0003] 因此,为解决上述穿隧显微镜工作带宽受限问题,现有一种射频扫描式穿隧显微镜被Keimiktarak等人发明,其主要电路如图1所示,其中电路的右半边仍采用现有穿隧显微镜的电路架构,也就是说由探针10擷取到的直流穿隧电流 $I_t$ ,经由一端与探针10电耦接的电感L,以及与电感L另一端电耦接的Bias-T电路13输入电流-电压转换放大器11放大后,输出至扫描控制电路12反馈控制探针10的高度,并据以描绘出样品20的表面样貌。而左半边电路则为一射频扫描共振电路,其具有一端与电感L的一端电耦接的一接地电容C,且一射频来源14输出的一射频信号,经由一方向耦合器15与对射频双向穿透的Bias-T电路13及电感L输入探针10。而当探针10与待测样品20间形成的穿隧电阻 $R_t$ 与电容C并联再与电感L串联,即形成一所谓的L-1eg低通LCR共振电路,其等效电路如图2所示。且其共振频率为

$$\omega_{LC} = \sqrt{\frac{1}{LC} \left( 1 - \frac{L}{CR_t^2} \right)}$$

[0004] 当选择电感L与电容C而决定了共振频率后,调整穿隧电阻 $R_t$ 至 $R_t \approx L / (C * Z_0)$ ,使共振电路的阻抗 $Z_t =$ 输出阻抗 $Z_0$  (50欧姆),可得到最佳的阻抗匹配,此时共振电路会近乎完全吸收输入的射频信号能量。

[0005] 例如图3所示,当取穿隧电阻 $R_t = 0.15 \text{ Mohm}$ 时,可得到良好的阻抗匹配,此时返回损失(return loss)为45dB。若探针10远离样品20,穿隧电阻 $R_t$ 增加,此时因为共振电路的阻抗 $Z_t$ 与输出阻抗 $Z_0$ 不匹配,射频信号的反射能量就会增加,图3即说明了在不同的穿隧电阻 $R_t$ 值时,反射率迅速增加的现象。且由图3可以看出当穿隧电阻 $R_t$ 由0.15M ohm变至0.4M ohm时,反射系数就由45dB变为15dB,当穿隧电阻 $R_t$ 为1M ohm时反射系数为12dB,而当穿隧电阻 $R_t$ 在10M ohm到1G ohm间,因为反射系数的变化实在太小,且皆在11dB处几乎分不出来,以致在实用上很难分辨出穿隧电阻10Mohm与100M ohm有何不同,而且在实际应用时,穿隧电阻 $R_t$ 常操作在10M ohm~1G ohm范围,所以上述扫描方式很难得到有用的讯号。

[0006] 此外,由图4所示可知,上述扫描方式所获得的射频反射率强度与穿隧电阻 $R_t$ 间并非单对应关系,也就是说同一反射率强度值会对应到两个穿隧电阻 $R_t$ 值,此将造成扫描控制电路对扫描结果的误判,且若利用此反射率反馈控制探针10的高度,则会产生不稳定的状况。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种射频反射率强度与穿隧电阻呈单对应关系,并能操作在适当穿隧电阻值与高带宽,而不受外场电子(流)源的干扰的射频反射式扫描穿隧显微镜。

[0008] 本发明的射频反射式扫描穿隧显微镜,具有一与一待测样品间隔且相对设置的探针,用于扫描该待测样品的表面样貌,并包含:一射频扫描共振电路、一方向耦合器,及一射频信号测量系统,该射频扫描共振电路包括具有一第一端及一第二端的一电感,以及与该电感的该第一端并联的一电容、一电阻及一穿隧电阻,其中该穿隧电阻形成于该待测样品与该探针间;该方向耦合器与该射频扫描共振电路的该电感的该第二端电耦接,且接收一射频信号,并将该射频信号输出至该射频扫描共振电路,且接收一经由该射频扫描共振电路反射传回的一射频反射信号;该射频信号测量系统电连接该方向耦合器以接收该射频反射信号,并根据该射频反射信号反馈控制该探针,并产生一与该待测样品的表面样貌有关的扫描结果。

[0009] 较佳地,该射频扫描共振电路还包括一与该电感的该第二端并联的辅助电容。

[0010] 较佳地,该射频扫描共振电路还包括一与该电容串接并由一第一外加电压控制,以调整该射频扫描共振电路的一共振频率的第一压控电容,以及一与该辅助电容串接并由一第二外加电压控制,以决定该射频扫描共振电路的一最终阻抗的第二压控电容。

[0011] 较佳地,该屏蔽壳体将该探针和该射频扫描共振电路包覆于其中,以避免该射频反射信号受一外部电流(子)场干扰。

[0012] 较佳地,该屏蔽壳体包括一缺口,该缺口邻近该探针,以供该探针的一前端裸露。

[0013] 较佳地,该射频信号测量系统利用该射频反射信号反馈控制该探针,并使该射频反射信号的能量强度或相位维持一定值的一操作模式为一定射频扫描模式。

[0014] 较佳地,该射频反射式扫描穿隧显微镜还包括一与该射频信号产生器电耦接的1对2功率分配器,其将该射频信号一分为二,并经由两个输出端分别输出至该方向耦合器及该射频信号测量系统,且该射频信号测量系统还包括一反射信号补偿电路,其将该1对2功率分配器输出的该射频信号适当放大并调整其相位,并将该射频反射信号适当放大,使该射频信号与包含于该射频反射信号中的部分该射频信号的振幅相同且相位相差180度,再将两者相加,以消除该射频反射信号中的该射频信号成份。

[0015] 较佳地,该反射信号补偿电路包括一放大该射频信号的第一可控增益放大器、一放大该射频反射信号的第二可控增益放大器、一调整该射频信号的相位,使与该射频反射信号中的部分该射频信号具有180度相位差的可调移相器,以及一将该可调移相器输出的信号与该第二可控增益放大器输出的信号相加的组合器。

[0016] 较佳地,该射频信号测量系统还包括一设在该射频补偿电路的该可调移相器与该组合器的一输入端间的第一方向耦合器、一电连接该反射信号补偿电路的射频侦测单元,及一电连接于该射频侦测单元和该待测样品间的反馈控制单元,该射频侦测单元接收由该第一方向耦合器耦合该可调移相器所输出的该射频信号和该射频反射信号,并侦测该射频信号和该射频反射信号间的一相位差和该射频反射信号的一功率强度,以得到一指示该功率强度的输出,而该反馈控制单元根据来自该射频侦测单元的该指示该功率强度的输出来

调整该探针的高度。

[0017] 较佳地,该射频侦测单元具有一射频功率放大器、一第一带通滤波器、一个1对2功率分配器、一射频功率侦测器、一第二带通滤波器、一相位差侦测器,及一显示回授电路,该射频功率放大器接收来自该反射信号补偿电路的该组合器的输出,并加以放大而成一补偿放大信号;该第一带通滤波器电连接该射频功率放大器以接收该补偿放大信号,且将该补偿放大信号进行滤波以得到一第一滤波信号;该1对2功率分配器电连接该第一带通滤波器以接收该第一滤波信号,并将该第一滤波信号分为一第一分岐信号和一第二分岐信号,该第一分岐信号和该第二分岐信号相关于该射频反射信号;射频功率侦测器电连接该1对2功率分配器以侦测该第一分岐信号的该功率强度,且提供一指示该功率强度的输出;第二带通滤波器电连接该反射信号补偿电路以接收该第一方向耦合器耦合该可调移相器所输出的该射频信号,且将该射频信号进行滤波以得到该第二滤波信号;该相位差侦测器电连接该1对2功率分配器和该第二带通滤波器以分别接收该第二分岐信号和该第二滤波信号,用于侦测该第二分岐信号和该第二滤波信号间的该相位差,且提供一指示该相位差的输出,该第二滤波信号相关于该射频信号;该显示回授电路电连接该射频功率侦测器、该相位差侦测器,以接收来自该射频功率侦测器的输出与接收来自该相位差侦测器的输出,并根据该指示该功率强度的输出或相位值描绘该待测样品的表面样貌并显示描绘结果。

[0018] 较佳地,该射频侦测单元还具有一设置于该1对2功率分配器和该射频功率侦测器间的一调频滤波电路,该调频滤波电路具有一本地振荡器一第一混波器,及一第三带通滤波器,该本地振荡器产生一本地振荡信号;该第一混波器电连接该1对2功率分配器和该本地振荡器以接收该第一分岐信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一第一混波信号;该第三带通滤波器电连接该第一混波器以接收该第一混波信号,且将该第一混波信号进行滤波以得到一第三混波信号,该第三混波信号相关于该第一分岐信号,并传送至该射频功率侦测器。

[0019] 较佳地,该射频反射式扫描穿隧显微镜还包含一电连接于该方向耦合器、该1对2功率分配器和该射频信号补偿电路间的优化单元,该优化单元包括一本地振荡器一第二混波器、一第一带通滤波器、一第三混波器,及一第二带通滤波器,该本地振荡器产生一本地振荡信号;该第二混波器电连接于该方向耦合器和该本地振荡器以接收该射频反射信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一第二混波信号;该第一带通滤波器电连接该第二混波器以接收该第二混波信号,并将该第二混波信号进行滤波而产生一第一混波滤波信号,并将该第一混波滤波信号传送至该第二可控增益放大器VGA;该第三混波器电连接于该1对2功率分配器和该本地振荡器以接收该参考信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一第三混波信号;该第二带通滤波器电连接该第三混波器以接收该第三混波信号,并将该第三混波信号进行滤波而产生一第二混波滤波信号,并将该第二混波滤波信号传送至该第一可控增益放大器VGAR。而该射频侦测单元具有一射频功率放大器、一1对2功率分配器、一射频功率侦测器、一相位差侦测器,及一显示回授电路,该射频功率放大器电连接该组合器以接收该组合器输出的信号,并加以放大而成一补偿放大信号;该1对2功率分配器电连接该射频功率放大器以接收该补偿放大信号,并将该补偿放大信号分为一第一分岐信号和一第二分岐信号,该第一分岐信号和该第二分岐信号相关于该射频反射信号;该射频功率侦测器电连接该1对2功率分配器以侦测该第一分岐信号的该功率强度,且提供一指示该功率

强度的输出；该相位差侦测器电连接该1对2功率分配器和该第一方向耦合器以接收该第二分岐信号和该第一方向耦合器输出的信号，用于侦测该第二分岐信号和该第一方向耦合器输出的信号间的该相位差，且提供一指示该相位差的输出，该第一方向耦合器输出的信号相关于该射频信号；该显示回授电路接收来自该射频功率侦测器的输出与接收来自该相位差侦测器的输出，并根据该指示该功率强度或相位值的输出描绘该待测样品的表面样貌并显示描绘结果。

[0020] 较佳地，该射频反射式扫描穿隧显微镜还包括一电流-电压转换放大器，及一与该方向耦合器和该射频扫描共振电路电耦接的Bias-T电路，该方向耦合器输出的该射频信号经由该Bias-T电路输入该射频扫描共振电路，且该射频扫描共振电路产生的该射频反射信号经由该Bias-T电路输出至该方向耦合器，并且该射频扫描共振电路产生的一穿隧电流经由该Bias-T电路输出至该电流-电压转换放大器进行放大，并转换成一输出电压后输入该反馈控制单元，使该反馈控制单元根据该输出电压及该功率强度或相位值反馈控制该探针。

[0021] 较佳地，该反馈控制单元包括一第二反馈控制器、一切换开关，及一第一反馈控制器，该第二反馈控制器接收该输出电压以产生一直流输出；该切换开关受控制以选择来自该第二反馈控制器的该直流输出或来自该射频侦测单元的该输出，做为一直流输出；该第一反馈控制器接收该切换开关的输出以调整该探针的高度。

[0022] 较佳地，该待测样品被施加一偏压，且该探针接地，使得该探针足够接近该待测样品的表面时，于两者间形成穿隧效应而产生该穿隧电阻；或者，该待测样品被接地，且该射频扫描共振电路经由一高频扼流线圈被施加一偏压，以阻挡输入该射频扫描共振电路的该高频信号影响该偏压，且该电阻还串联一阻隔电容，以阻挡该射频扫描共振电路产生的一穿隧电流流经该电阻。

[0023] 较佳地，该待测样品被接地，且该射频扫描共振电路经由一高频扼流线圈被施加一偏压，以阻挡输入该射频扫描共振电路的该高频信号影响该偏压，且该电阻还串联一阻隔直流的阻隔电容，以阻挡该射频扫描共振电路产生的一经过该射频扫描共振电路的电阻的一直流电流。

[0024] 本发明的功效在于：除了可利用射频反射信号来量测探针与待测样品间的穿隧电阻效应，也具有量测射频反射信号的相位差以反应待测样品表面的电抗效应的能力，且能不受该外部电子(流)场的影响而能有完整且不受干扰地扫描结果，确实达到本发明的功效。

## 附图说明

[0025] 本发明的其他的特征及功效，将于参照图式的实施方式中清楚地呈现，其中：

[0026] 图1是一电路图，说明现有一种射频扫描式穿隧显微镜；

[0027] 图2是一等效电路图，说明图1现有射频扫描式穿隧显微镜的LCR共振电路的等效电路；

[0028] 图3是一曲线图，说明不同的穿隧电阻值所对应的射频反射率变化；

[0029] 图4是一曲线图，说明现有射频扫描式穿隧显微镜获得的射频反射率强度与穿隧电阻间并非单对应关系；

- [0030] 图5是一电路图,主要说明本发明射频反射式扫描穿隧显微镜的射频扫描共振电路;
- [0031] 图6是一等效电路图,说明图5射频扫描式穿隧显微镜的射频扫描共振电路的等效电路;
- [0032] 图7是一双对数坐标图,说明射频反射功率  $\Gamma$  的变化量与穿隧电阻呈现单对应关系;
- [0033] 图8是一等效电路图,说明本发明还可在射频扫描共振电路的电感的第二端并联一辅助电容;
- [0034] 图9是一等效电路图,说明本发明可在电容及辅助电容上再分别串联一压控电容,并利用两个外加电压来分别控制该二压控电容;
- [0035] 图10是一电路图,说明本发明射频反射式扫描穿隧显微镜的一第一实施例;
- [0036] 图11是一电路图,说明本发明的该侦测单元的一第一态样;
- [0037] 图12是一电路图,说明本发明的该侦测单元的一第二态样;
- [0038] 图13是一电路示意图,说明本发明该侦测单元的一第三态样;
- [0039] 图14是一统计图,说明本发明的该第一实施例的射频反射率  $\Gamma$  -穿隧电阻  $R_t$ -穿隧电流  $I_t$  与偏压  $V_b$  的实测数据的统计结果;
- [0040] 图15是一曲线图,说明本发明的该第一实施例的射频反射信号差  $\Delta \Gamma$  与穿隧电流  $I_t$  讯号具有很高的一致性;
- [0041] 图16是一影像图,说明本发明的该第一实施例操作在定射频扫描模式时产生的待测样品表面扫描影像;
- [0042] 图17是一影像图,说明本发明的该第一实施例操作在电流扫描模式时产生的待测样品表面扫描影像;
- [0043] 图18是一照片,说明本发明的该第一实施例操作在定电流扫描模式时产生的待测样品表面扫描照片;
- [0044] 图19是一照片,说明本发明的该第一实施例操作在定射频信号强度扫描模式时产生的待测样品表面扫描照片;
- [0045] 图20是一示意图,说明本发明的该第一实施例的探针移近至产生穿隧电流的高度时,将100MHz的驱动信号送入探针,射频反射信号的强度就有100MHz的变化;
- [0046] 图21是一示意图,说明本发明的该第一实施例的探针拉开至没有穿隧电流的高度时,射频反射信号的强度就固定;
- [0047] 图22是一实测结果图,说明本发明的该第一实施例的射频信号具有极高的操作带宽;
- [0048] 图23是一等效电路图,说明本发明的该第一实施例在待测样品上施加一偏压,并令探针接地的一种偏压方式;
- [0049] 图24是一等效电路图,说明本发明的该第一实施例在射频扫描共振电路上施加一偏压,并令待测样品接地的另一种偏压方式;
- [0050] 图25是一电路图,说明本发明射频反射式扫描穿隧显微镜的一第二实施例;
- [0051] 图26是一示意图,说明本发明射频反射式扫描穿隧显微镜的该第二实施例的一屏蔽壳体示意图;

[0052] 图27是一等效电路图,说明本发明的该第二实施例的该屏蔽壳体包覆该探针、该射频扫描共振电路、该Bias-T电路及该电流-电压转换放大器的一示意图;

[0053] 图28是一示意图,说明本发明的该第二实施例的探针量测一置于一液相电化学反应槽的该待测样品;

[0054] 图29是一影像图,说明本发明的该第二实施例的该外来电流与该射频反射信号的变化图;

[0055] 图30是一曲线图,说明本发明的该第二实施例在该定射频扫描模式时,该探针的高度不随一加总电流的变化而变化;

[0056] 图31是一曲线图,说明本发明的该第二实施例在该定电流扫描模式时,该探针的高度明显地正比于该加总电流方波的积分;

[0057] 图32是一影像图,说明本发明的该第二实施例的一X光激发源开启的一瞬间,该加总电流I的变化;

[0058] 图33是一影像图,说明本发明的该第二实施例的该X光激发源以交互开与关做调变,该加总电流I的变化;

[0059] 图34是一照片,说明本发明的该第二实施例操作在定电流扫描模式下且无外来电流的待测样品表面扫描影像;

[0060] 图35是一照片,说明本发明的该第二实施例操作在定射频扫描模式下且有外来电流的待测样品表面扫描影像;

[0061] 图36是一照片,说明本发明的该第二实施例操作在该定射频扫描模式下且无外来电流的待测样品表面扫描影像;

[0062] 图37是一照片,说明本发明的该第二实施例操作在该定射频扫描模式下且有外来电流的待测样品表面扫描影像

[0063] 图38是一照片,说明本发明的该第二实施例操作在该定电流扫描模式下且有外来电流的待测样品表面扫描影像;及

### 具体实施方式

[0064] 参见图5所示,本发明射频反射式扫描穿隧显微镜3的一第一实施例,具有一与一待测样品20间隔且相对设置的探针10,用于扫描待测样品20的表面样貌,并包含一射频扫描共振电路31、一方向耦合器32、一射频信号源33及一射频信号测量系统4。其中射频扫描共振电路31包括具有一第一端34及一第二端35的一电感L,以及与电感L的第一端38并联的一电容Cp、一电阻Rp及一穿隧电阻Rt,其中穿隧电阻Rt形成于待测样品20与探针10间;且穿隧电阻Rt是通过在探针10与待测样品20间产生一偏压,例如在待测样品20施加一偏压Vb,并让探针10接地,则当探针10足够接近待测样品20的表面时,两者间会形成穿隧效应而产生穿隧电阻Rt,且射频扫描共振电路31与其前端电路的等效电路如图6所示。

[0065] 又预先将电感L、电容Cp与电阻Rp的值调至共振,其共振频率可由下行公式决定:

$$[0066] \quad \omega_{LC} = \sqrt{\frac{1}{LC} \left( 1 - \frac{L}{CR^2} \right)}$$

[0067] 其中 $R = R_t // R_p$ ,且在实务中,穿隧电阻Rt的值是在MΩ至GΩ级,而电阻Rp约为KΩ级左右,因此, $R_t \gg R_p$ 。所以在穿隧电阻Rt为无限大时(即探针远离待测样品20时), $R = R_p$ ,

因此射频信号的共振频率,取决于使射频扫描共振电路31在 $R=R_p$ 时具有最佳阻抗匹配,即射频共振线路31的阻抗 $Z_t=$ 输出阻抗 $Z_0$ (50欧姆),此时射频反射率 $\Gamma$ 最小。则当探针10与待测样品20的距离接近而使穿隧电阻 $R_t$ 变小至有限值时,则 $R$ 小于并近似于 $R_p$ ,射频扫描共振电路31的阻抗匹配会变差,导致射频反射率 $\Gamma$ 增加,借此,使得射频反射率 $\Gamma$ 的变化量由射频扫描共振电路31的阻抗 $Z_t$ 决定,即 $Z_t=L/(C_p \cdot R)$ ,也就是说当 $R$ 微量改变,将微量改变 $Z_t$ ,进而微量改变射频反射率 $\Gamma$ 。因此,通过电阻 $R_p$ ,使得穿隧电阻 $R_t$ 与射频反射率 $\Gamma$ 产生了关系,而此关系在图7的双对数坐标图中显示射频反射率 $\Gamma$ (S11)的变化量随穿隧电阻 $R_t$ 而变化,且穿隧电阻 $R_t$ 在一个大的变化范围内与射频反射率 $\Gamma$ 的变化量呈现单对应且线性的态样,解决了现有射频反射式扫描穿隧显微镜因穿隧电阻 $R_t$ 与射频反射率 $\Gamma$ 呈双对应且非线性关系所造成的扫描结果误判及反馈控制不稳定的问题。

[0068] 再参见图5所示,上述射频信号是由射频信号源33产生,且方向耦合器32电耦接在射频信号源33与射频扫描共振电路31的共振电感 $L$ 的第二端35间,用于将射频信号源33输出的射频信号经由一输入路径321输入至射频扫描共振电路31。同时方向耦合器32也会将由射频扫描共振电路31反射回来的射频反射信号经由一耦合路径322输入至射频信号测量系统4。因此,射频信号测量系统4接收射频扫描共振电路31经由方向耦合器32传来的射频反射信号,以根据射频反射信号反馈控制探针10的高度,并据以产生一与待测样品20的表面样貌有关的扫描结果。

[0069] 此外,若要让射频扫描共振电路31的反射损失(return loss)维持在20dB以上,并操作在比较高的频率(数百MHz以上),则电感 $L$ 及电容 $C_p$ 的值要小(参见上面公式),且电阻 $R_p$ 要够大,因为射频扫描共振电路31的射频反射率 $\Gamma$ 的变化量,取决于 $R_p$ 与 $R_p//R_t$ 的差量,所以电阻 $R_p$ 的值越大,射频反射率 $\Gamma$ 的变化量就越大。但由于电阻 $R_p$ 相当于 $L/(C_p \cdot Z_0)$ ,因此电阻 $R_p$ 很难设定为较大的值,即便电容 $C_p$ 是仅用印刷电路板上的杂散电容( $<1.0\text{pF}$ ),电阻 $R_p$ 要调到数K以上都非常困难。

[0070] 因此,为达到上述目的,如图8所示,本发明还可在射频扫描共振电路31的电感 $L$ 的第二端35并联一辅助电容 $C_{pi}$ ,使射频扫描共振电路31构成一 $\Pi$ 型电路结构,且辅助电容 $C_{pi}$ 可以使用较大的电容值,使电阻 $R_p$ 可以调到较大的值。且因为共振频率主要仍由电感 $L$ 与电容 $C_p$ 决定,所以在设定好电阻 $R_p$ 与共振频率后,就可以决定辅助电容 $C_{pi}$ 的值(一般在数pF至数十pF间)。且因为穿隧电阻 $R_t$ 的操作范围约在数十M $\Omega$ 到1G $\Omega$ 间,因此电阻 $R_p$ 的上限可设定在约1M $\Omega$ 左右,借此使射频反射率 $\Gamma$ 的变化量相对于同样的穿隧电阻 $R_t$ ,会有较大的响应。

[0071] 再者,这种 $\Pi$ 型的共振电路结构,也提供了在在线实时调整共振频率的可行性。如上所述,共振频率决定于内部所用的零件数值,一旦设定,就产生一个特定的共振频率,其值主要由电感 $L$ 及电容 $C_p$ 决定。且因为电阻 $R_p$ 不予变动,因此变动共振频率则需靠电容 $C_p$ 及辅助电容 $C_{pi}$ 的调整,因此如图9所示,本发明可在电容 $C_p$ 及辅助电容 $C_{pi}$ 上再分别串联一压控电容 $V_{Cp}$ 及 $V_{Cpi}$ ,并利用两个外加电压Bias1及Bias2来控制想要产生的等效的电容 $C_p$ 及辅助电容 $C_{pi}$ 值。其中电压Bias1主要控制共振频率,而电压Bias2则控制最终阻抗值。借此,射频扫描共振电路31可以在一定的操作频率范围内选择所要侦测的射频信号的频率,以尝试不同型态的物理量测。

[0072] 又本发明的射频信号测量系统4基本上就是根据由方向耦合器32传来的射频反射

信号,量测射频扫描共振电路31的射频反射率 $\Gamma$  (S11)及其与穿隧电阻 $R_t$ 相对应的变化。然而在现实情况中,方向耦合器32并不完美,因为它的方向性是有限的(一般约20~30dB左右),所以它由耦合路径322传送给射频信号测量系统4的信号中除了射频反射信号本身外(当中还包含耦合的损失),还包括相当成份的由输入路径321泄漏至耦合路径322的射频信号。而且如果由方向耦合器32的输入路径321输入的射频信号强度较大时,经由方向耦合器32漏至耦合路径322的射频信号强度甚至会高过于射频反射信号,则提供给射频信号测量系统4的待测信号中除了原本的射频反射信号外,又将加上相当于背景信号的射频信号,使得所要量测的射频反射信号的变化量,相对于待测信号本身又更是微乎其微,而将使射频反射信号的变化量的测量变得更加地困难。

[0073] 举例来说,若典型由方向耦合器32输出的背景信号(即射频信号)强度为-40dBm到-50dBm,而射频扫描共振电路31扫描表面有原子起伏的样品20时,其产生的射频反射信号的变化量可能仅在0.01dB甚或更低。虽然这个信号可以用低杂音低失真的射频放大器放大至-10dBm左右,但信号的变化量(起伏差距)仍然为同样的0.01dB。以现今功率侦测器的能力,若想直接量测-10.000dBm与-10.01dBm或更低的差别是非常困难的,因为功率侦测器输出的噪声位准可能就近似甚或超越这个数值。

[0074] 因此,为解决上述问题,参见图10所示,本发明还包括一与射频信号源33电耦接的1对2功率分配器36,其可将输入的射频信号一分为二,并经由两个输出端分别输出至方向耦合器32及射频信号测量系统4,且射频信号测量系统4还包括一反射信号补偿电路41,其中包含一与功率分配器36的一输出端电耦接的第一可控增益放大器VGAR,一与第一可控增益放大器VGAR电耦接的可调移相器VPhase,及一与方向耦合器32的耦合路径322电耦接的第二可控增益放大器VGA。

[0075] 且在穿隧电阻 $R_t$ 很大,例如10G或更大时,令射频信号源33输出射频讯号,此时,因射频扫描共振电路31阻抗匹配,由方向耦合器32输入射频扫描共振电路31的射频信号RF的反射变化量极低,所以可视由方向耦合器32输出至第二可控增益放大器VGA的射频反射信号是由方向耦合器32的输入路径321漏至耦合路径322的射频信号,以下称的背景信号,所以输入第一可控增益放大器VGAR的射频信号,以下称的参考信号Ref,可通过调整第一可控增益放大器VGAR的增益及可调移相器VPhase的相位,使由可调移相器VPhase输出的参考信号Ref与背景信号的强度相同且相位相差180度,再将两者送入一组合器44相加,让两者因电压相加且相位相反而彼此抵消,使得组合器44输出为零或接近于零。借此,可消除射频反射信号RFr中由方向耦合器32的输入路径321漏至耦合路径322的射频信号成份,使得组合器44输出的信号强度变化能完全反应射频信号RF因穿隧电压 $R_t$ 的变化而产生的变化量,且此微小的变化量经过射频信号测量系统4的一射频功率放大器45(参阅图11)放大后,即可被射频信号测量系统4的一射频功率侦测器46轻易的测得其功率强度变化量。然后,射频信号测量系统4的一显示回授电路70再根据该功率强度描绘该待测样品20的表面样貌并显示描绘结果。

[0076] 进一步而言,如图10所示,本发明的实施例还包含一与方向耦合器32的输入路径321及射频扫描共振电路31电耦接的Bias-T电路37,以及一电耦接Bias-T电路37的电流-电压转换放大器39。且Bias-T电路37包含电耦接在射频扫描共振电路31与方向耦合器32的输入路径321间的一直流隔绝电容 $C_s$ ,以及一电耦接在射频扫描共振电路31与电流-电压转换

放大器39间的高频扼流线圈RFC。本发明的实施例还包含一个电连接于该射频侦测单元8和该待测样品间的反馈控制单元9,该反馈控制单元9根据来自该射频侦测单元8的指示该功率强度的输出或相位差来调整该探针10的高度,该反馈控制单元9包括一个接收该电流-电压转换放大器39的一输出电压以产生一个直流输出的第二反馈控制器91、一个切换开关92,受控制以选择来自该第二反馈控制器的直流输出或来自该射频侦测单元8的输出,做为其输出,该反馈控制单元9还包括一个第一反馈控制器90,接收该切换开关92的输出以调整该探针10的高度。而且本发明在对待测样品20进行扫描前,会先进行一初始编程,也就是说,先将探针10置于离待测样品20足够远处,并设定射频信号RF的频率与振幅,然后调整反射信号补偿电路41内的第一可变增益放大器VGA的增益,使输出信号功率达到一个自定的正规操作功率范围(例如-10dBm~-30dBm),再调整第二可变增益放大器VGAR的增益及相位调整器Vphase的相位,以让参考信号Ref与背景信号的强度一致并反相(相差180度),再将两者经由组合器44相加后输出至一频谱分析仪(图未示),使显示输出信号的强度,则根据背景信号消去的程度,可观测到反射信号补偿电路41的输出信号变弱,例如由第一可变增益放大器VGA正规化的射频反射信号RFR的功率为-10dBm,若经反射信号补偿电路41补偿调整后输出信号为-70dBm,则背景消去量为60dB,因此完成初始编程时,反射信号补偿电路41的输出信号应趋近于零,若需微调初始编程,可进一步以粗调步进动作将探针10靠近待测样品20,使产生穿隧电流It经由射频扫描共振电路31及Bias-T电路37送至电流-电压转换放大器39转换并放大成电压,再经由该第二反馈控制器91输出至该第一反馈控制器90以反馈控制探针10高度,直到该第一反馈控制器90判断穿隧电流It已达到一设定值,再将探针10与待测样品20的距离拉大后,再度进行一次如上述的初始编程,可消除因探针10接近待测样品20表面产生的电容变化。

[0077] 且上述第一可变增益放大器(VGA)、第二可变增益放大器VGAR及可调移相器VPhase基本上都可以由计算机70控制,也可以手动操作。因为补偿时参考用的射频讯号与反射频讯号要很精确的同振幅及180度相差才能补偿背景信号,所以该第二压控增益放大器VGA、该第一可控增益放大器VGAR和该可调移相器VPhase都要有很好的分辨率及稳定度才能将大部份的背景信号去除。

[0078] 另外,由于上述的补偿操作只会对单一频率有效,所以反射信号RFR中的高次谐波等都会留下。且由于该射频功率侦测器46是使用可操作在宽带的功率侦测器,所以射频反射信号RFR中的高次谐波信号都会成为有效输出而降低了射频反射信号RFR的信噪比。

[0079] 因此,同时参阅图11,本实施例的射频信号测量系统4还包含一电连接该反射信号补偿电路41的射频侦测单元8,该射频侦测单元8的第一态样为具有一电连接该反射信号补偿电路41以接收由该组合器44输出的信号,并加以放大而成一个补偿放大信号的射频功率放大器45、一电连接该功率放大器45以接收该补偿放大信号并进行滤波,以得到一个第一滤波信号的该第一带通滤波器471、一电连接该第一带通滤波器471以接收该第一滤波信号的1对2功率分配器49而产生分别与该射频反射信号相关的该第一分岐信号和一第二分岐信号,且该射频侦测单元8还具有一电连接该1对2功率分配器49以侦测一第一分岐信号的该功率强度,且提供指示该功率强度输出的射频功率侦测器46、一电连接该反射信号补偿电路41以接收该第一方向耦合器42耦合该可调移相器VPhase所输出的该射频信号,且将该射频信号进行滤波以得到一个第二滤波信号的第二带通滤波器472、一接收该第二分岐信

号及该第二滤波信号,并侦测该第二分岐信号及该第二滤波信号的相位差,且提供一个指示该相位差的输出的相位差侦测器72,及电连接该射频功率侦测器46、该相位差侦测器72和该反馈控制单元9间的该显示回授电路70。而该第一带通滤波器471只通过对应频率(工作频率),以减少射频反射信号RFR中的高次谐波成份。且若信噪比为重要的考虑,第一带通滤波器471可选用Q值极高的晶体滤波器或表面声波滤波器(SAW filter),这是因为所述滤波器的频宽窄,可以提高射频反射信号RFR的信噪比。但目前市场上的此类产品都设计为商业使用频段,不一定符合本发明的设定频率及带宽。

[0080] 因此,如图12所示,本实施例的射频侦测单元8还具有一第二态样,该第二态样与该第一态样类似,不同处在于设置一电连接于该1对2功率分配器49和该射频功率侦测器46间的一调频滤波电路81,该调频滤波电路81可针对测量该射频功率作一频率及滤波的优化,因此该调频滤波电路81还具有一可以产生一本地振荡信号的本地振荡器L0、一电连接该1对2功率分配器49和该本地振荡器L0以接收该第一分岐信号和该本地振荡信号而进行混波,并产生一个第一混波信号的一第一混波器50、一电连接该第一混波器50以接收该第一混波信号以得到一第三混波信号的第三带通滤波器48,该本地振荡信号的频率为射频信号RF的共振频率与第三带通滤波器48的工作频率的和或差,例如以共振频率820MHz为例,若使用工作频率为374MHz的商用第三带通滤波器48,则本地振荡频率可设为 $820-374=446\text{MHz}$ 或 $820+374=1194\text{MHz}$ 。然后再通过该第一混波器(Mixer)50将该第一分岐信号与本地振荡信号混频,使将射频反射信号移至商用第三带通滤波器48的工作频率,该第三混波信号关于该第一分岐信号,再将第三带通滤波器48滤出来的第三混波信号送到射频功率侦测器46,即可大幅提高射频反射信号的信噪比。

[0081] 若想要补偿器优化在一特定商用高Q值滤波器的频率,也可以如图13为该射频侦测单元8的第三态样,该第三态样类似于该第一态样,不同处在于将该第一态样的该第一带通滤波器471和该第二带通滤波器472移至该射频信号补偿电路41前,也就是说该射频信号测量系统4还包括一电连接于该方向耦合器32、该1对2功率分配器36和该射频信号补偿电路41间的优化单元89,该优化单元89包括一第二混波器473和一第三混波器47,该第二混波器473和该第三混波器47各别接收来自该方向耦合器32的射频反射信号和该1对2功率分配器36的参考信号并分别与该本地振荡信号进行混波、该第二混波器473和该第三混波器47分别将混波后的一第二混波信号和一第三混波信号传送至该第一带通滤波器471和该第二带通滤波器472进行滤波,滤波后将一第一混波滤波信号及一第二混波滤波信号供该射频信号补偿电路41接收,如此一来,可先一起将操作频率移至高Q值的该第一带通滤波器471和该第二带通滤波器472所在的工作频率,并对该第二压控增益放大器VGA、该第一可控增益放大器VGAR和该可调移相器VPhase等的设计都针对此工作频率优化,由此可以对功率与相位最好的信噪比。

[0082] 再者,本实施例射频反射式扫描穿隧显微镜所产生的射频反射信号RFR的强度只与穿隧电阻 $R_t$ 有关。也就是说,如图14所示的射频反射率 $\Gamma$ -穿隧电阻 $R_t$ -穿隧电流 $I_t$ 与偏压 $V_b$ 的实测数据的统计结果,可以清楚的看到在不同的穿隧电流 $I_t$ 及偏压 $V_b$ 下,若保持穿隧电阻 $R_t$ 固定,则射频反射率 $\Gamma$ (以灰阶颜色代表)也保持固定。由于穿隧电阻 $R_t$ 决定于待测样品20的表面与探针10的电子组态,所以我们量测到的射频反射率 $\Gamma$ 变化,是实在的近场(即纳米距离)内的效应。

[0083] 而且,为了证明本发明的射频反射率 $\Gamma$ 变化会与穿隧电流 $I_t$ 一致,本实施例以石墨表面做样品,同时取得一条扫描线的射频反射讯号变化量与穿隧电流 $I_t$ ,得到如图15的结果。图15中曲线的每一个起伏代表一个碳原子的信号,从中可以看出射频反射信号差 $\Delta\Gamma$ 与穿隧电流 $I_t$ 讯号的一致性很高,而当探针10稍微远离,穿隧电流 $I_t$ 消失,同时射频反射信号也不再变化,这就表示主导射频反射讯号R<sub>Fr</sub>的变化为近场效应。

[0084] 且当把扫描的范围由线扩展至面,可得到扫描结果以3D方式显现如图16的射频扫描影像及图17的电流扫描影像。从两图中可以看见两者呈现明显的高度相关性,而且独立的一颗颗原子可以清楚的辨别,且相较之下,图16的射频扫描影像的信噪比甚至比图17的电流扫描影像还要好。因此,由于射频反射信号差 $\Delta\Gamma$ 与穿隧电流 $I_t$ 有很高的一致性,所以前者可取代后者做为反馈机制,让探针10可以随着地貌起伏。如同定电流模式,若将射频反射信号R<sub>Fr</sub>强度固定,即固定穿隧电阻 $R_t$ ,则探针10的高度也会固定。例如本实施例在待测样品20的同一区域分别使用定电流模式及定射频信号强度模式进行扫描,可分别测量出两者照片如图18及图19。此测试是在大气及常温下进行,且从图18与图19中可以看出两种回馈模式取得了非常一致的表面地貌。

[0085] 又因为本实施例要与现有穿隧显微镜的穿隧电流 $I_t$ 信号相比,所以以上的测试是在相对低的扫描速度下进行,但本实施例使用射频信号RF的一个主要原因仍是因为其可以操作在高带宽,所以如图20所示,本实施例采用一设于探针10的Z轴51以控制探针10的高度的压电陶瓷晶体(PZT)52,并在设定好探针10的一穿隧距离后,利用一高耐压电容(图未示)将一微小的调制信号(驱动电压,~mV级)送进设于Z轴51的PZT驱动电路53内,因为PZT52移动的距离很小,所以探针10在Z轴51上可以1 Å的幅度快速的上下振动,足以使直流穿隧电流 $I_t$ 信号及射频反射信号R<sub>Fr</sub>的强度产生变化,同时也进一步验证射频反射信号R<sub>Fr</sub>的变化是近场效应。例如图20所示,将探针10移近至产生穿隧电流 $I_t$ 的高度时,将100MHz的驱动信号送入探针10,射频反射信号R<sub>Fr</sub>的强度就有100MHz的变化,而若如图21所示,将探针10拉开至没有穿隧电流 $I_t$ 的高度时,射频反射信号R<sub>Fr</sub>的强度就固定了,此现象即可验证即便探针10在100MHz的高速运动下,本实施例仍可有效测量近场的射频反射信号强度变化。

[0086] 因此,本实施例可以用上面的方法来比较以直流扫描及射频扫描的带宽,也就是说将驱动信号的频率逐渐增高,同时量测穿隧电流 $I_t$ 与射频反射信号R<sub>Fr</sub>的功率变化的振幅,以两者在低频端的起始的振幅为参考值,再升高频率并比较低频与高频的振荡波幅的比例,并定出振幅缩小3dB的带宽值,则由图22的实测结果发现,驱动信号由100Hz增加到500MHz时,直流穿隧电流 $I_t$ 的振幅在10KHz处开始下降,到100KHz时相对强度为-7dB(约为原来强度的1/6)。而射频反射信号的振幅一直到500MHz(测试示波器的极限)都是平坦且无显着的下降,且这样的侦测带宽远远超过现有的任何扫描探针式显微镜的操作带宽。

[0087] 再者,本实施例的该第一反馈控制器90可以同时根据直流穿隧电流 $I_t$ 的误差量与射频反射信号R<sub>Fr</sub>的误差量 $\Delta\Gamma$ 两个部份来产生控制探针10作动的反馈信号,且在实做上可以有好几种组合,例如单独采用穿隧电流 $I_t$ 的误差量、单独采用射频反射信号R<sub>Fr</sub>的误差量 $\Delta\Gamma$ 或者两者兼用。且由于射频信号RF的带宽较高,所以在反馈控制上有其优势。

[0088] 此外,值得一提的是,如图23所示,当探针10与待测样品20间产生穿隧效应时,除了在探针10与待测样品20间具有一个等效的穿隧电阻 $R_t$ 外,实际上在探针10与待测样品20间也存在一个穿隧能障电容 $C_t$ 。而且为了让穿隧电阻 $R_t$ 得以形成,射频扫描共振电路31的

探针10与待测样品20间必需足够接近,本实施例可通过在待测样品20上施加一偏压 $V_b$ ,并令探针10接地以侦测穿隧电流 $I_t$ 来达成。且在射频扫描共振电路31上产生的穿隧电流 $I_t$ 将经由Bias-T电路37的高频扼流线圈RFC输出至电流-电压转换放大器39。因此,若待测样品20是一导电性很好的材料,则穿隧电阻 $R_t$ 会是影响射频反射信号强度的主要变量,此时穿隧能障电容 $C_t$ 的值一般在af (10-18F) 以下等级,对射频扫描共振电路31几乎没有影响。而上述实施例即是在这样的一个条件下对待测样品20进行扫描。

[0089] 相反地,若待测样品20是一偏介电质材料,绝缘性佳,则即使探针10很接近待测样品20表面,两者间的穿隧电阻 $R_t$ 仍然很大,使得穿隧电阻 $R_t$ 对射频反射信号强度的影响小,此时,穿隧能障电容 $C_t$ 将随着探针10与待测样品20表面距离的变化而变化。因此,如图10和图11所示,本实施例的射频信号测量系统4中还可包含一设在射频补偿电路41的可调移相器VPhase与组合器44的一输入端间的第一方向耦合器42。而该相位差侦测器72则可侦测由该第一方向耦合器42耦合可调移相器VPhase输出的参考信号Ref与该第一分歧信号间的相位差,且该相位差反应了穿隧能障的电抗效应,也就是说待测样品20的介电性质,所以该显示回授电路70也可根据相位差侦测器72测得的相位差变化,对应描绘出待测样品20的表面样貌。因此,本实施例也可通过侦测射频反射信号 $R_{Fr}$ 的相位差变化而测得待测样品20表面的电抗效应,并且可以得到更高的空间与时间分辨率。

[0090] 而且,如图24所示,是另一种在探针10与待测样品20间产生偏压的方式,也就是说让待测样品20接地,并由电流-电压转换放大器39提供一偏压 $V_b$ 经由Bias-T电路37的高频扼流线圈RFC加在射频扫描共振电路31上,以让整个射频扫描共振电路31浮在偏压 $V_b$ 上。且若是采用这种偏压方式,因为要量测流经穿隧电阻 $R_t$ 的穿隧电流 $I_t$ 的量,为避免流过电阻 $R_p$  ( $R_p \ll R_t$ ) 的电流远大于流过穿隧电阻 $R_t$ 的电流,所以必需让电阻 $R_p$ 串联一个阻隔电容 $C_b$ 来阻挡电流流经电阻 $R_p$ 。因为若阻隔电容 $C_b$ 的电容值很大(数十nF级以上),对于数百MHz操作频率的射频信号而言相当于短路,但对于直流电流则相当于断路,借此,让穿隧电流 $I_t$ 能够完全流经穿隧电阻 $R_t$ 。

[0091] 参阅图25,本发明射频反射式扫描穿隧显微镜3的一第二实施例,其与该第一实施例的电路相同,而与该第一实施例的不同处在于该射频反射式扫描穿隧显微镜3还包含一屏蔽壳体5(如图26所示),该屏蔽壳体5将该探针10和该射频扫描共振电路31包覆于其中,并包括一供该探针10的一前端100裸露的缺口,以保护该射频扫描共振电路31不受一外部相对低频的电子(流)场,所产生的一外来电流干扰,该外部电子(流)场可为一电子枪产生的多个入射电子,二次电子,欧杰电子,或为受光激发的多个光电子,或是一电化学反应所产生的一法拉第电流。更佳地,同时参阅图27,该屏蔽壳体5还可包覆该Bias-T电路37及该电流-电压转换放大器39,使该探针10、该射频扫描共振电路31、该Bias-T电路37及该电流-电压转换放大器39能得到一良好的屏蔽。

[0092] 本实施例的该射频反射式扫描穿隧显微镜3除了新增该定射频扫描模式外,也有保留现有的穿隧显微镜的该定电流扫描模式。当该探针10与该待测样品20的一量测环境处于该外部电子(流)场内(或是该探针10在一如图28的液相环境下所产生的该法拉第电流场),伴随该外部电子(流)场来的该外来电流(图未示)皆会加进该穿隧电流 $I_t$ 而成一加总电流 $I$ ,并通过该电流-电压转换放大器39放大,而干扰既有的电流回馈机制,造成无法扫描成像的问题。

[0093] 而若将本实施例的该射频反射式扫描穿隧显微镜3操作于该射频扫描模式下,由于该屏蔽壳体5的遮蔽,使该射频反射信号R<sub>Fr</sub>不会受该外部电子(流)场的干扰,如图29所示,可看出当有该外来电流加入时,侦测到的该加总电流I由40nA增加到80nA,此时的射频反射信号R<sub>Fr</sub>没有变化,因此该探针10的高度Z也不会有所变化,所以,若使用该射频反射信号来控制该探针10的高度Z,即能达到该射频反射式扫描穿隧显微镜3不受该外来电流的干扰的功效。

[0094] 在此更进一步地将本实施例该射频反射式扫描穿隧显微镜3分别以该定电流扫描模式和该定射频扫描模式下的回馈方法来探讨该外来电流与该探针10高度Z的关系。

[0095] 参阅图30及图31,将该外部电子(流)场所产生的外来电流调变为方波,进而影响该加总电流I的电流波形如图所示,可看出图30的该定射频扫描模式回馈方式下的探针10的高度Z仅有因为热漂移而有些微地改变,而与该外来电流并无显著地相关;而图31的该定电流扫描模式回馈方式下的探针10的高度Z明显地正比于该加总电流I方波的积分,由此而知该定电流扫描模式回馈方式下的探针10的高度Z受该外来电流的影响远比该定射频扫描模式回馈方式下的探针10的高度Z来的大。

[0096] 进而将该外来电子(流)场所产生的外来电流改为一X光激发源所激发的光电流,以实验于该定射频扫描模式回馈方式下的该加总电流I与该探针10的关系,当该X光激发源开启的一瞬间,该加总电流I即呈一阶梯式的变化,如图32所示,但该射频反射信号R<sub>Fr</sub>和该探针10的高度Z并无相对应的改变;相同地,当该X光激发源以交互开与关做调变,如图33所示,则该加总电流I则随该X光激发源的开与关调变有明显地变化,但该射频反射信号R<sub>Fr</sub>和该探针10的高度Z也无相对应的改变,也就是说,在该定射频扫描模式回馈方式下的该射频反射式扫描穿隧显微镜3的该射频反射信号R<sub>Fr</sub>和该探针10的高度Z并不会随该外来电流而有所改变。

[0097] 为证明本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3的有效性,从图34和图35可清楚地比较出不论是将该射频反射式扫描穿隧显微镜3操作于一无外来电流且为该定电流扫描模式或一有外来电流且为该定射频扫描模式,观察到的待测样品20(于一呈阶梯状的金云母片)的表面形貌皆有一致的对应关系。

[0098] 更进一步地将本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3操作在该定射频扫描模式,并分别将该探针10与该待测样品20处于一无外来电流或有一12Hz调变的外来电流的量测环境,以比较该待测样品20于所述量测环境下的表面扫描影像,可清楚地看到无该外来电流的表面扫描影像(图36)和有该外来电流的表面扫描影像(图37)两者的影像呈现效果是相同的。再将本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3改操作于该定电流扫描模式并进行表面扫描影像的扫描,如图38,待扫描到三分之一位置时,即加入一外来电流,可观察出该待测样品20的一表面扫描影像于加入该外来电流时即受到严重的影响。也就是说,若将该射频反射式扫描穿隧显微镜3操作在定电流扫描模式,则该射频反射式扫描穿隧显微镜3易受该外来电流的影响,也就是说,只要将该射频反射式扫描穿隧显微镜3操作在定射频扫描模式不论是否有该外来电流的干扰,都不会影响本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3的作业。

[0099] 因此,本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3能在预期有外来电流的情况下,直接使用该射频扫描模式的一射频反射能量强度来使该探针10靠近该待测样品20至该穿隧效

应发生的区域而能使该射频反射式扫描穿隧显微镜3在有外来电流的情况下也能将该待测样品20的表面样貌清楚地描绘;但本发明该射频反射式扫描穿隧显微镜3的操作也可先在没有外来电流的情况下先以该定电流扫描模式让该探针10靠近该待测样品20至一穿隧效应发生的区域,再将该射频反射式扫描穿隧显微镜3更改为以该定射频扫描模式来运作,此时的探针10的高度Z就不会因为该外来电流而有所影响,且能将该待测样品20的表面样貌清楚地描绘。

[0100] 综上所述可知,本发明具有以下优点:

[0101] 1. 本发明除了利用射频反射信号来量测探针10与待测样品20间的穿隧电阻 $R_t$ 效应,也具有量测射频反射信号的相位差以反应待测样品20表面的电抗效应的能力。

[0102] 2. 通过该屏蔽壳体5的保护,使操作在该射频扫描模式下的该射频反射式扫描穿隧显微镜3能不受该外部电子(流)场的外来电流影响,而能达到与该定电流扫描模式下且无外部电子(流)场的干扰所取得的待测样品20表面形貌的同等的效果。

[0103] 3. 将该优化单元89置于该反射信号补偿电路41前,如此可提升其信噪比,所以,确实达到本发明的目的及功效。

[0104] 以上所述者,仅为本发明的实施例而已,当不能以此限定本发明实施的范围,即凡依本发明权利要求书及说明书内容所作的简单的等效变化与修饰,皆仍属本发明的范围。

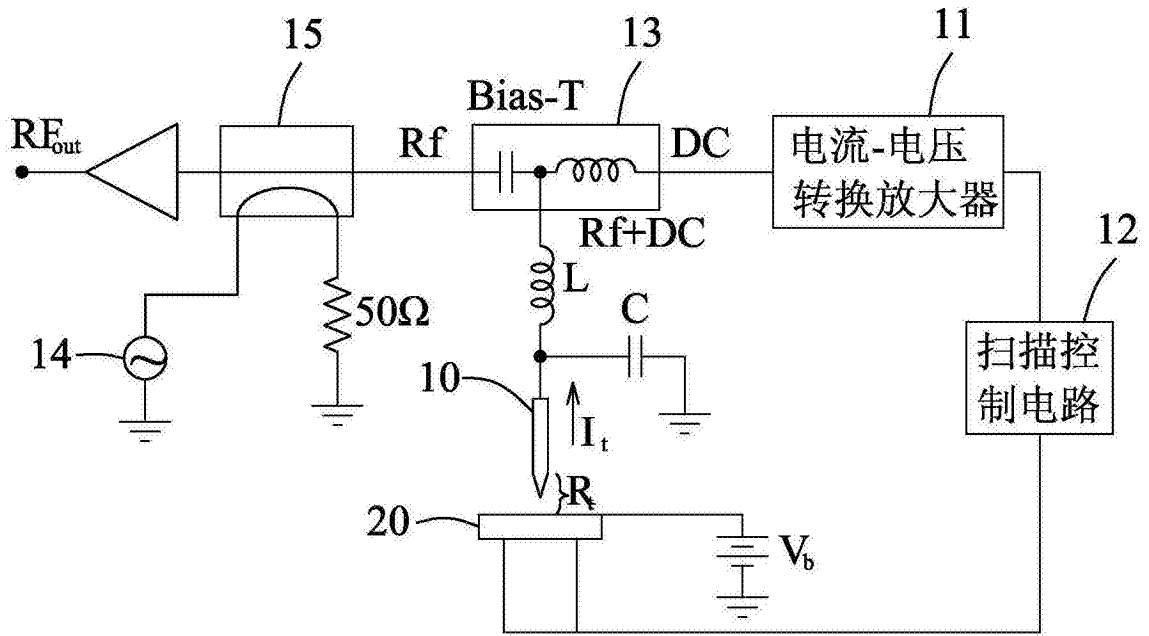


图1

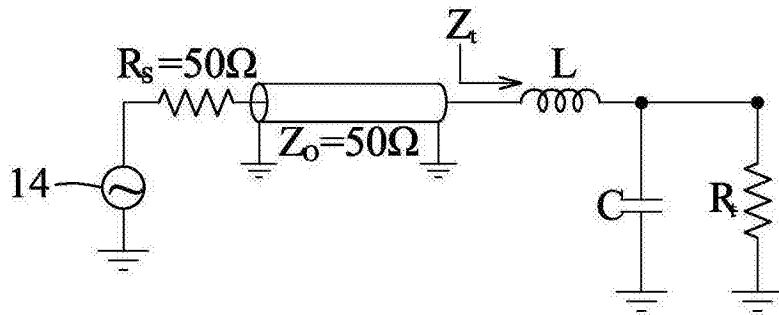


图2

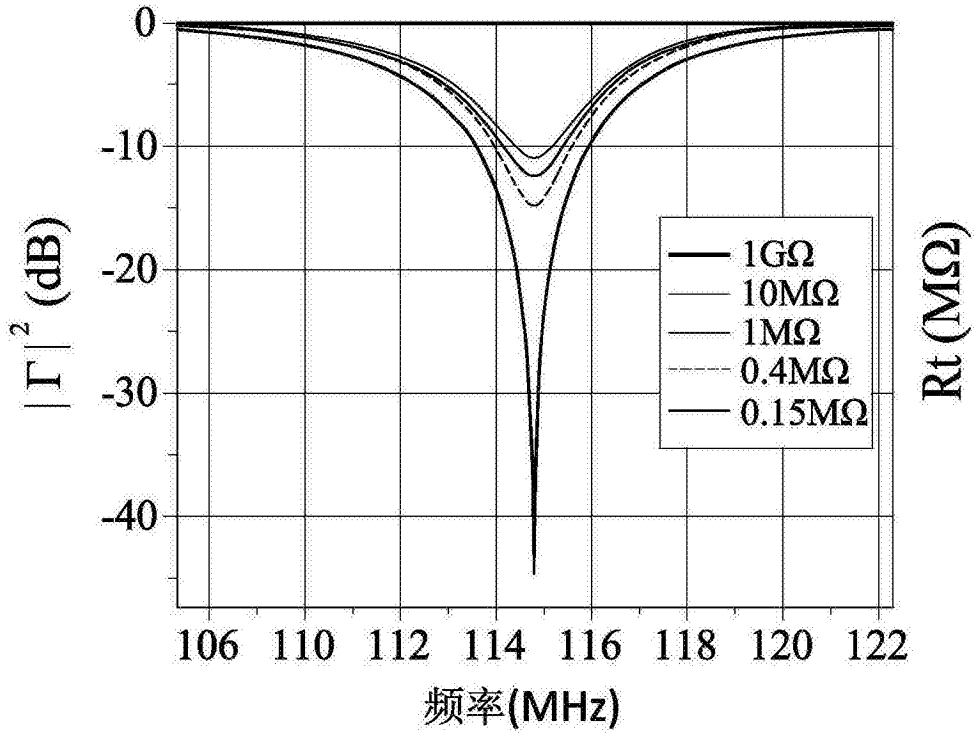


图3

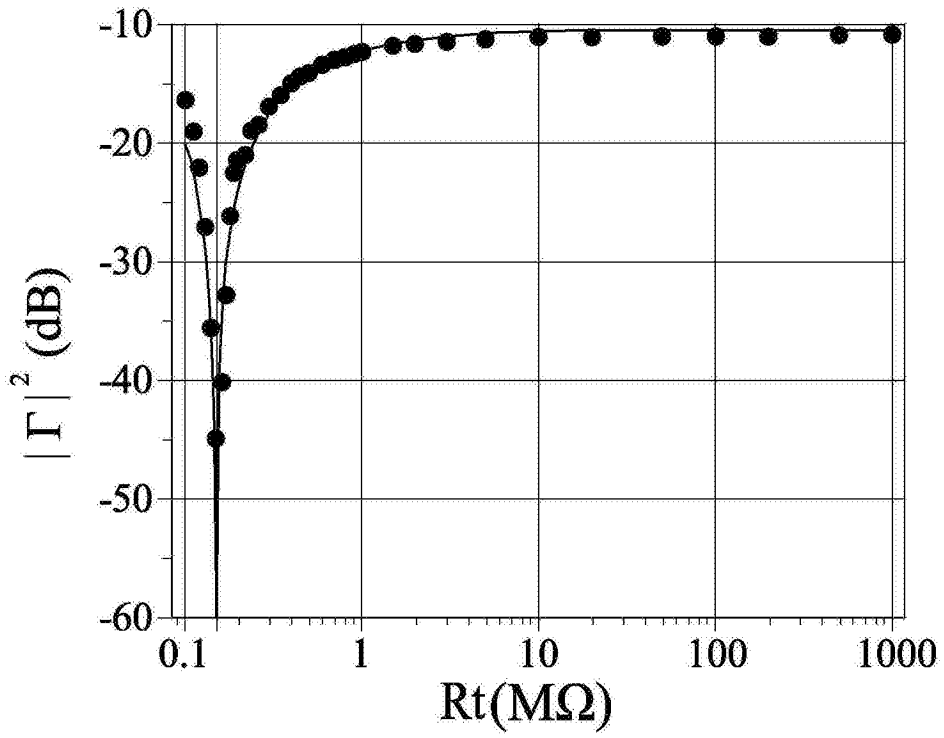


图4

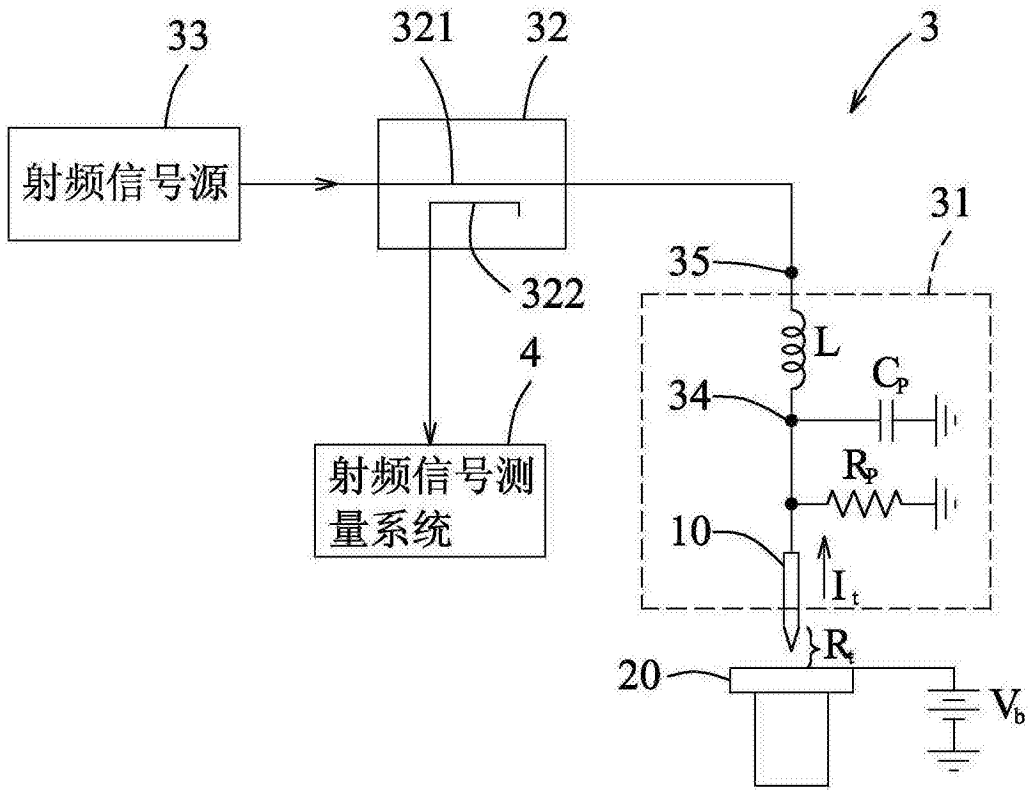


图5

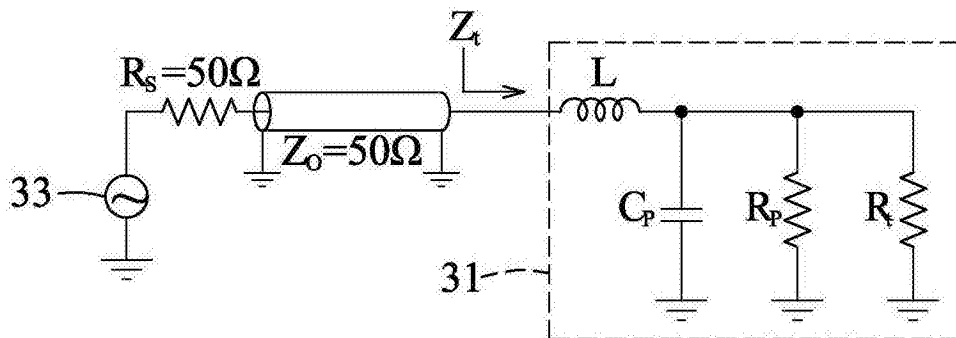


图6

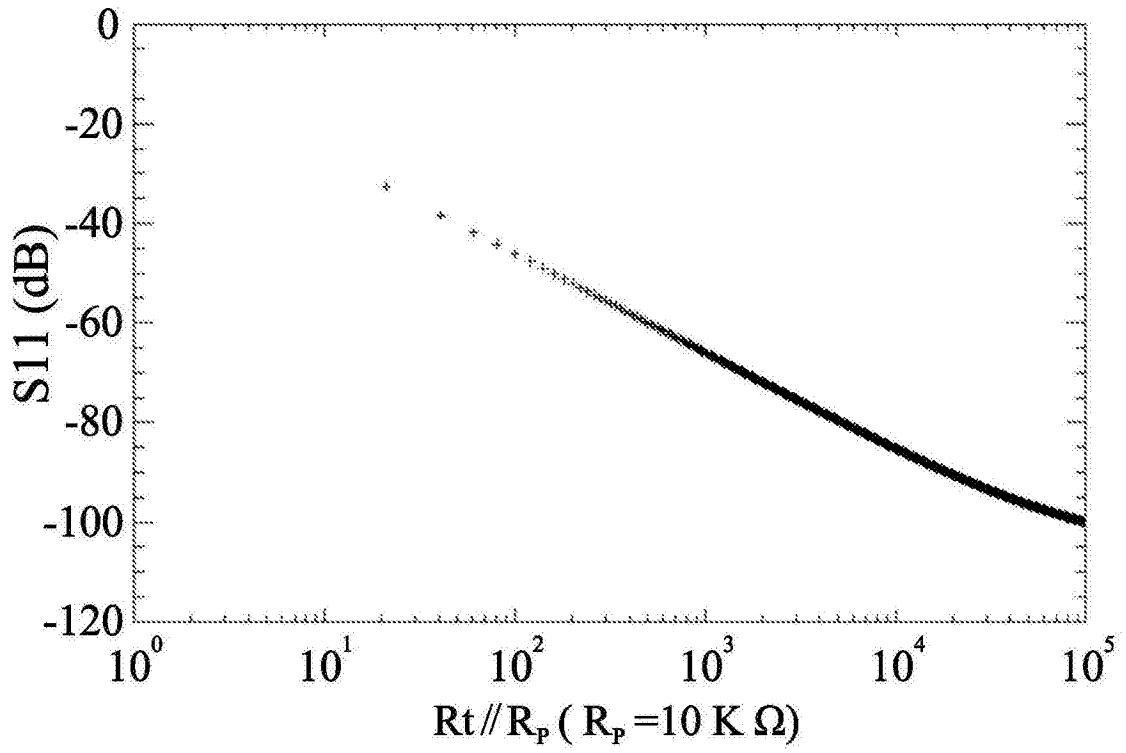


图7

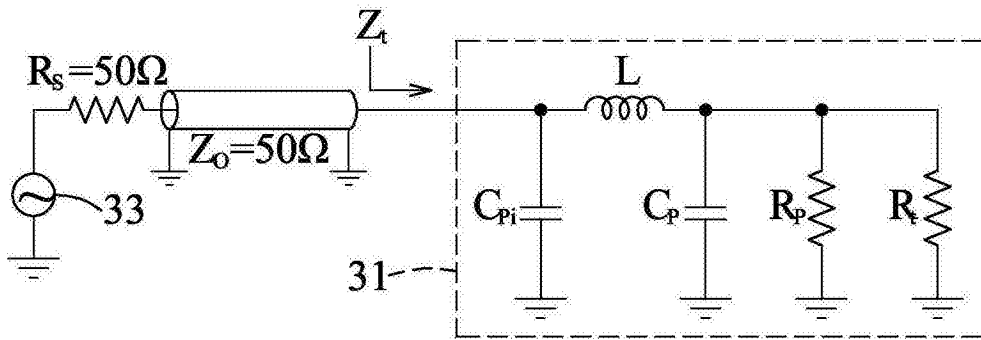


图8

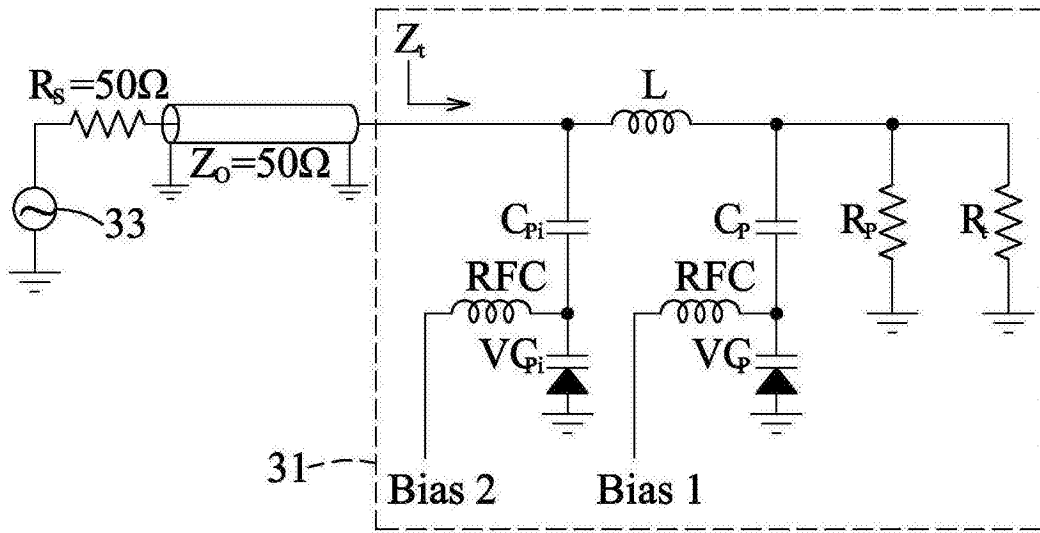


图9

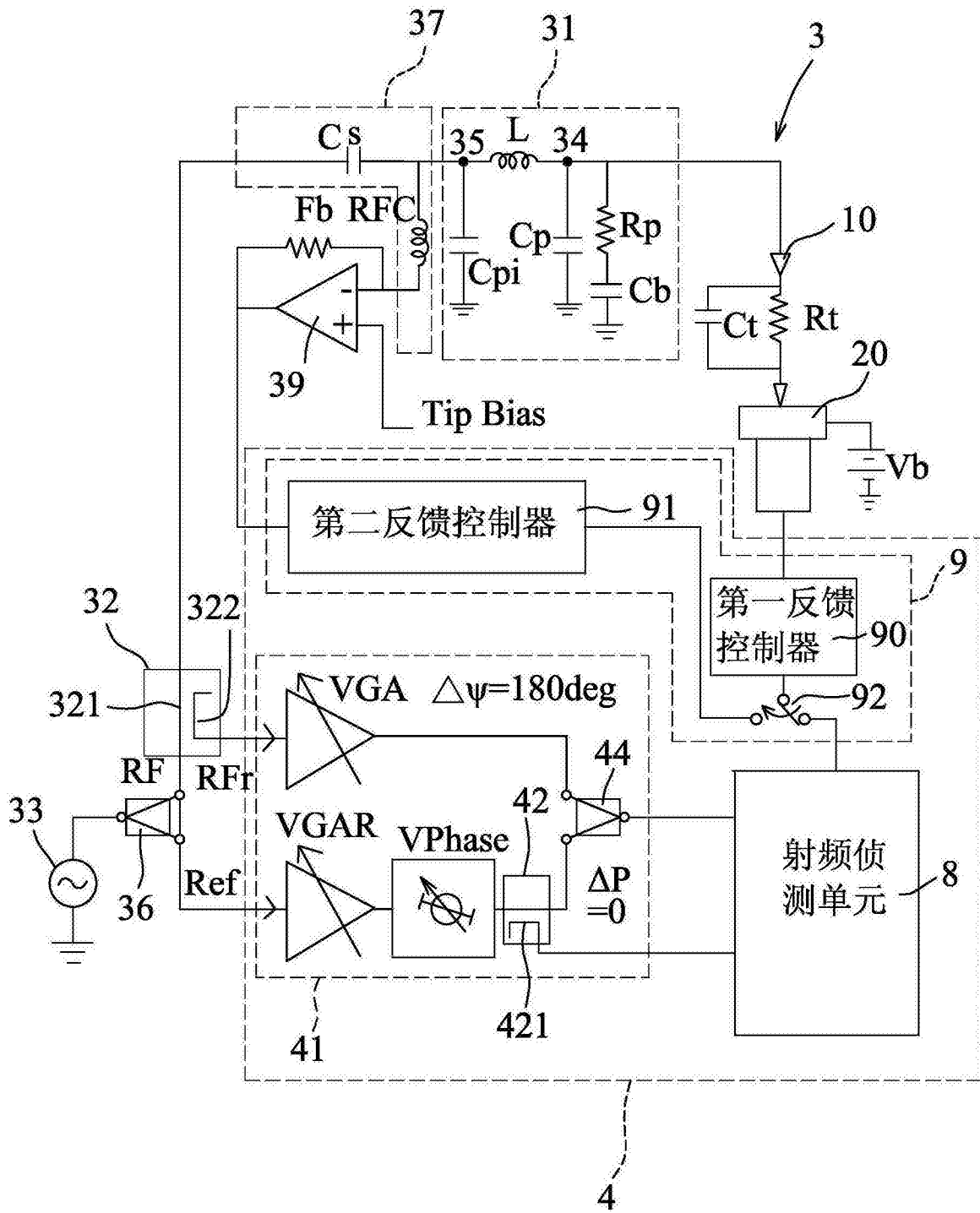


图10

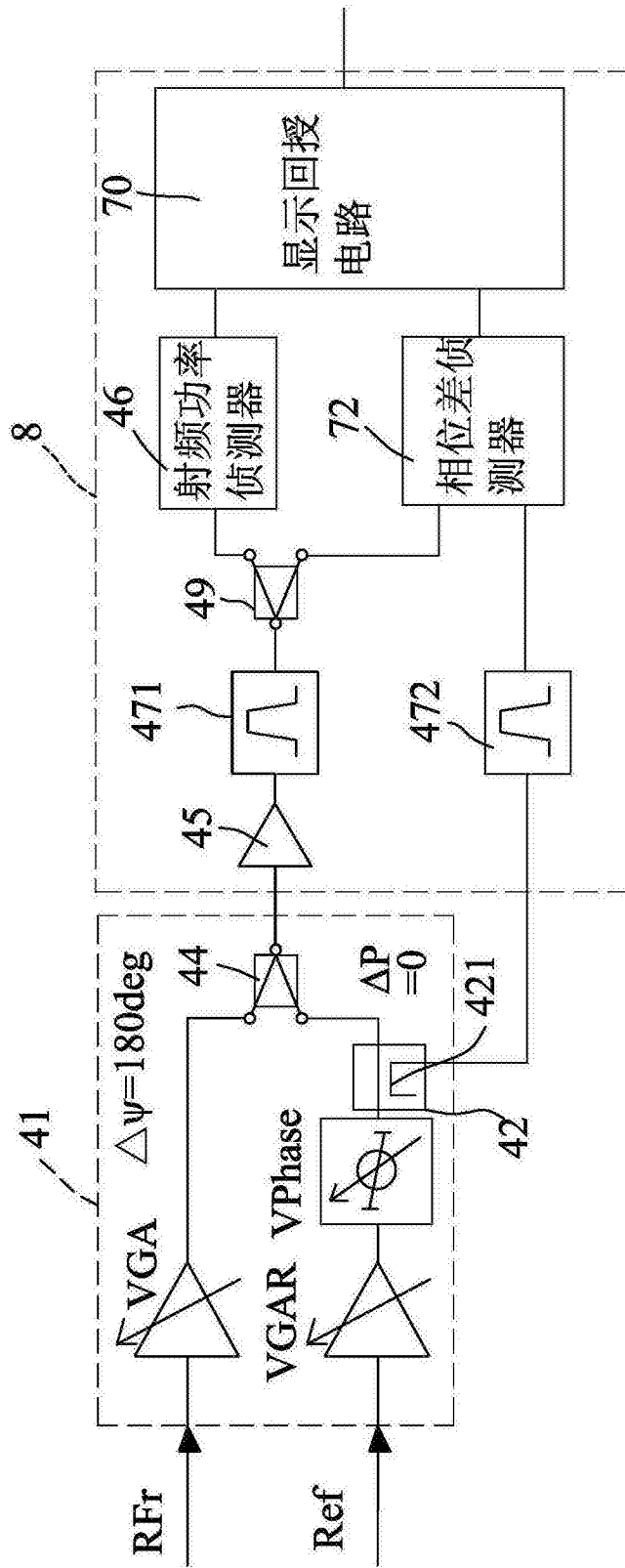


图11



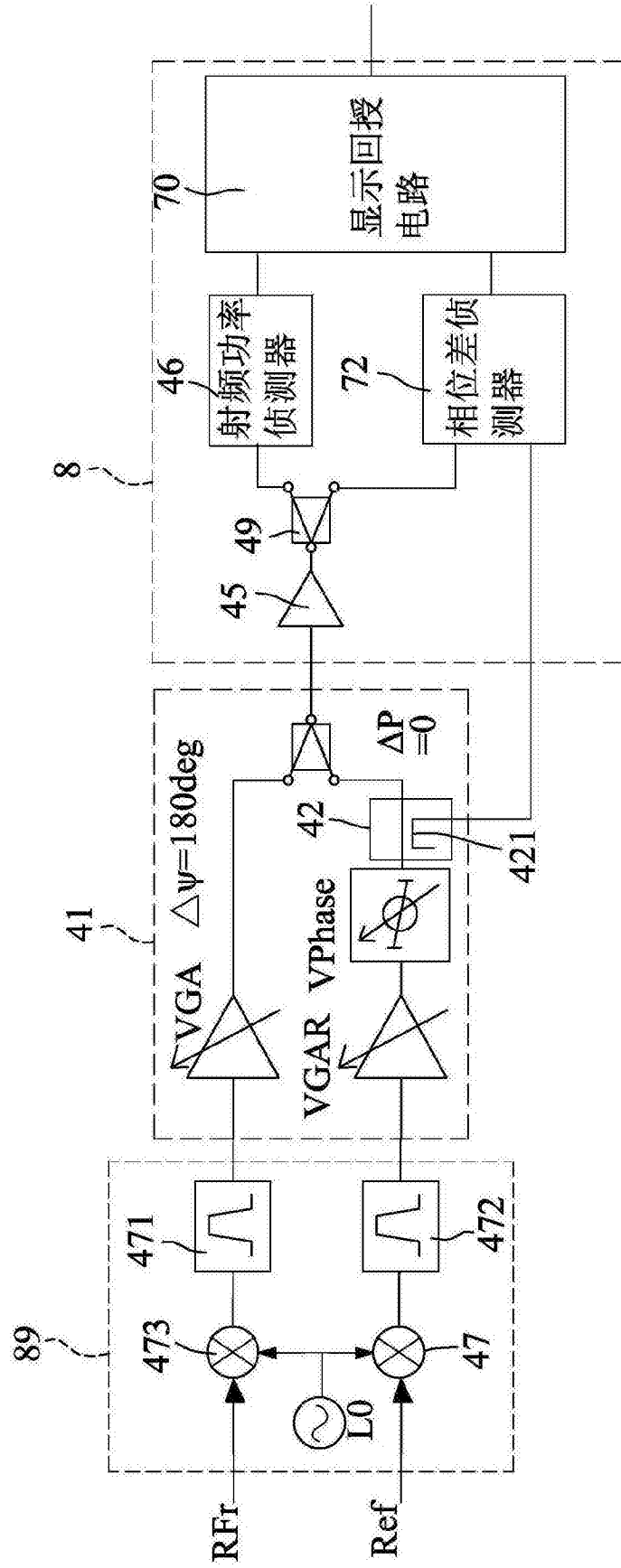


图13

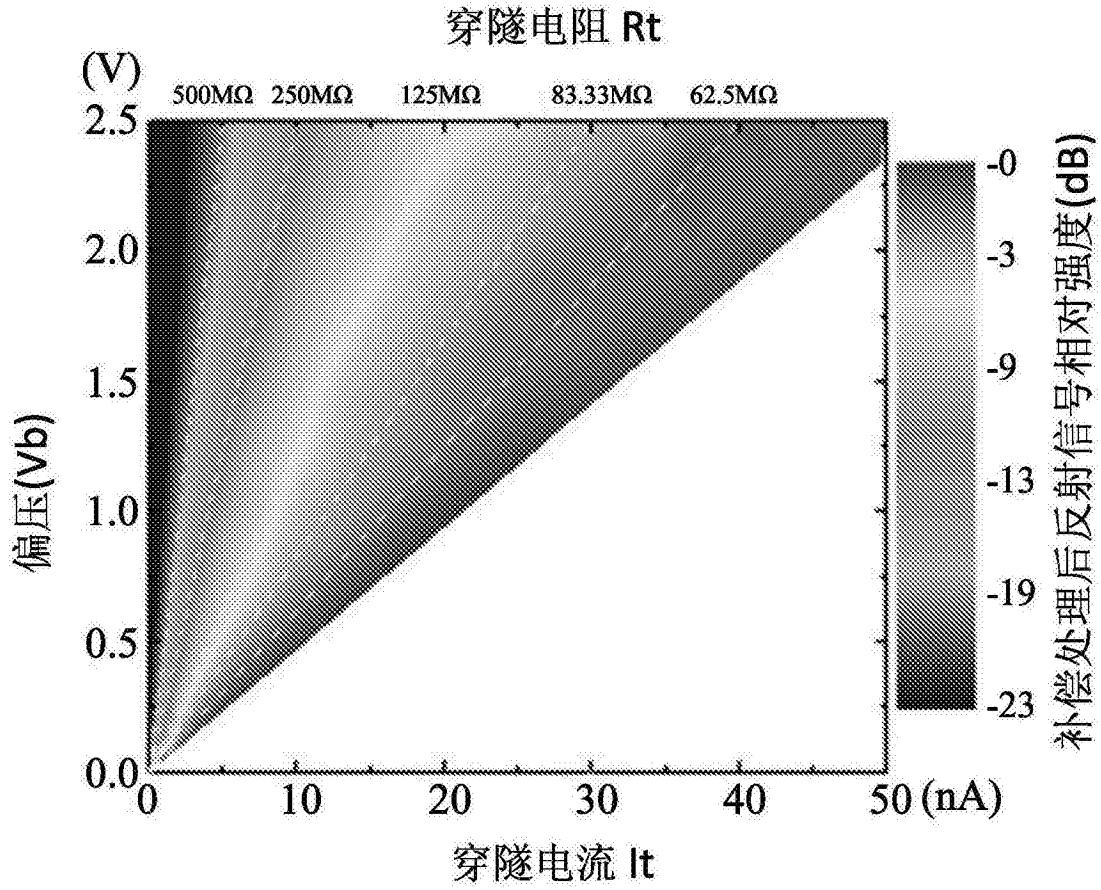


图14

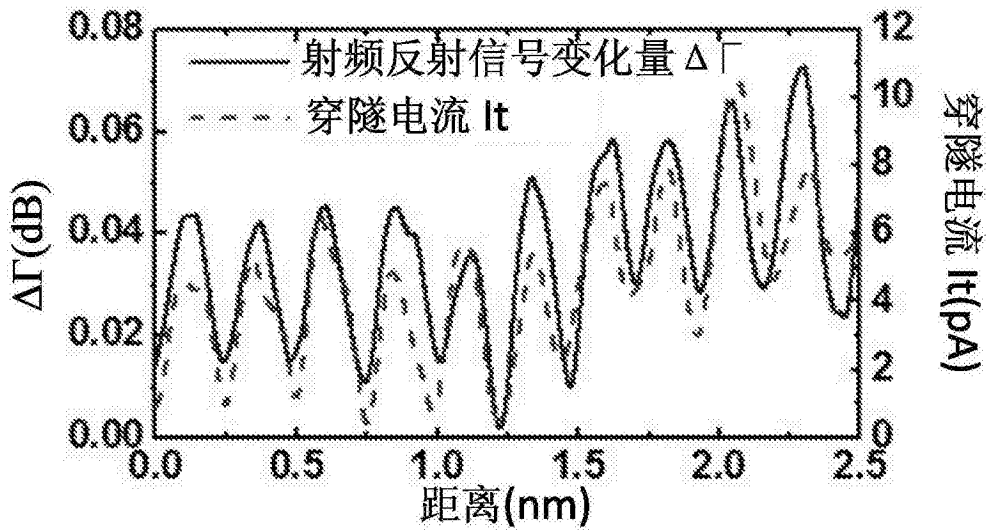


图15

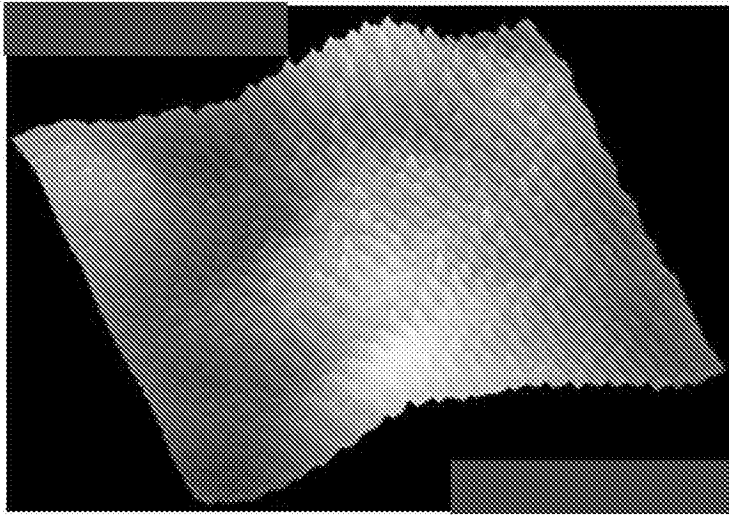


图16

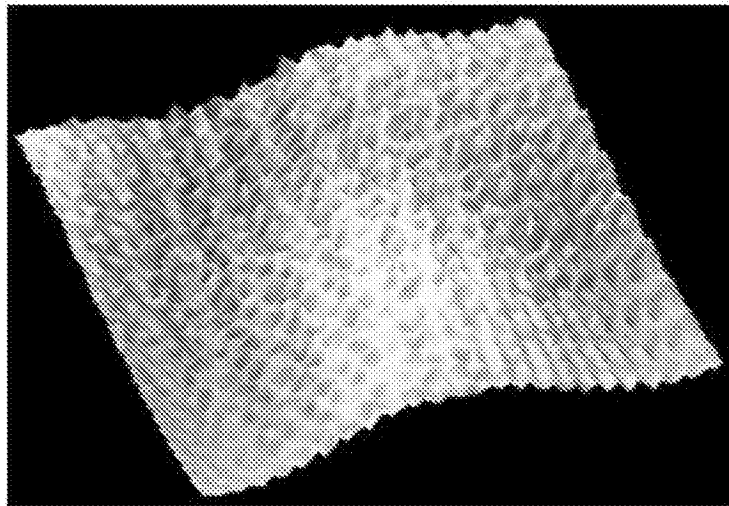


图17

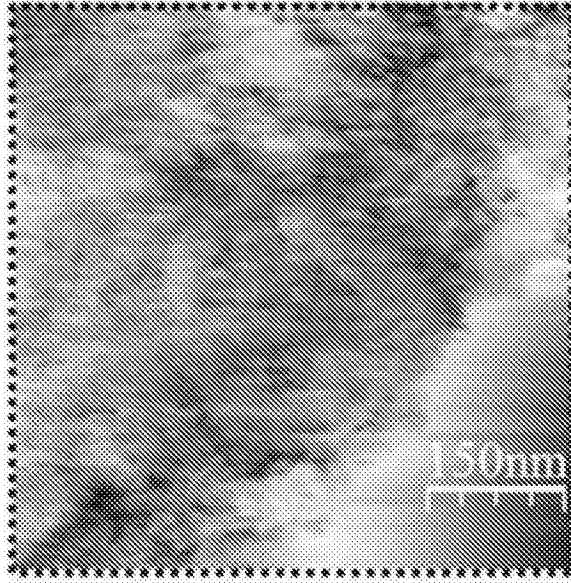


图18

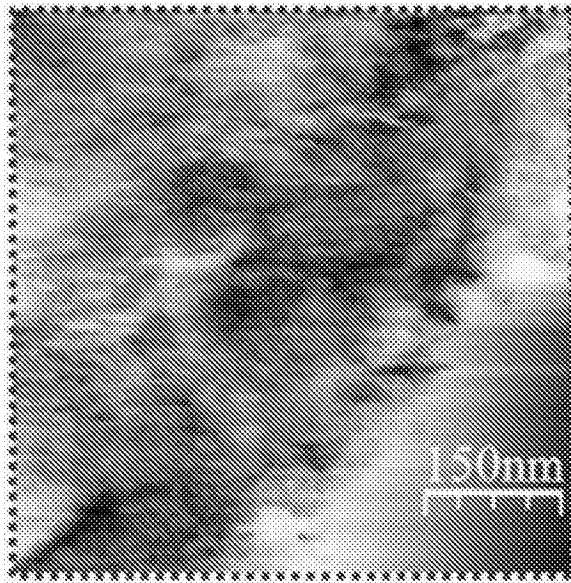


图19

100MHz驱动信号

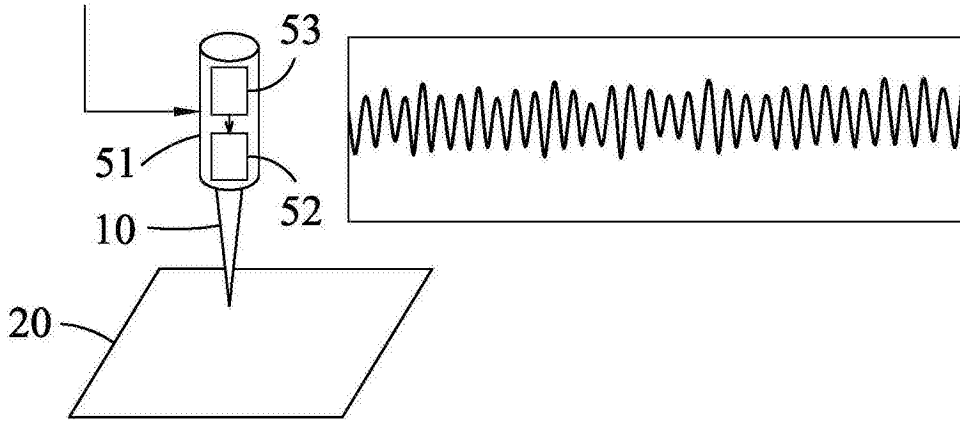


图20

100MHz驱动信号

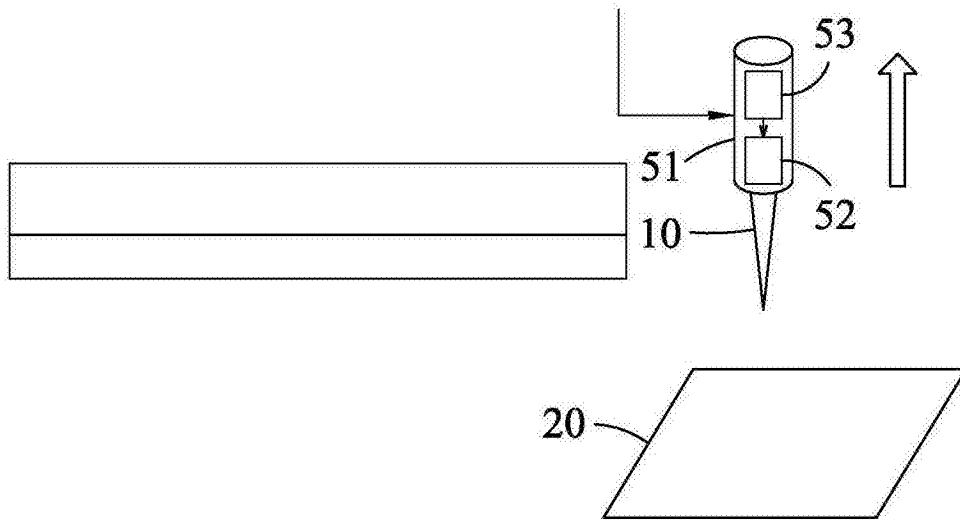


图21

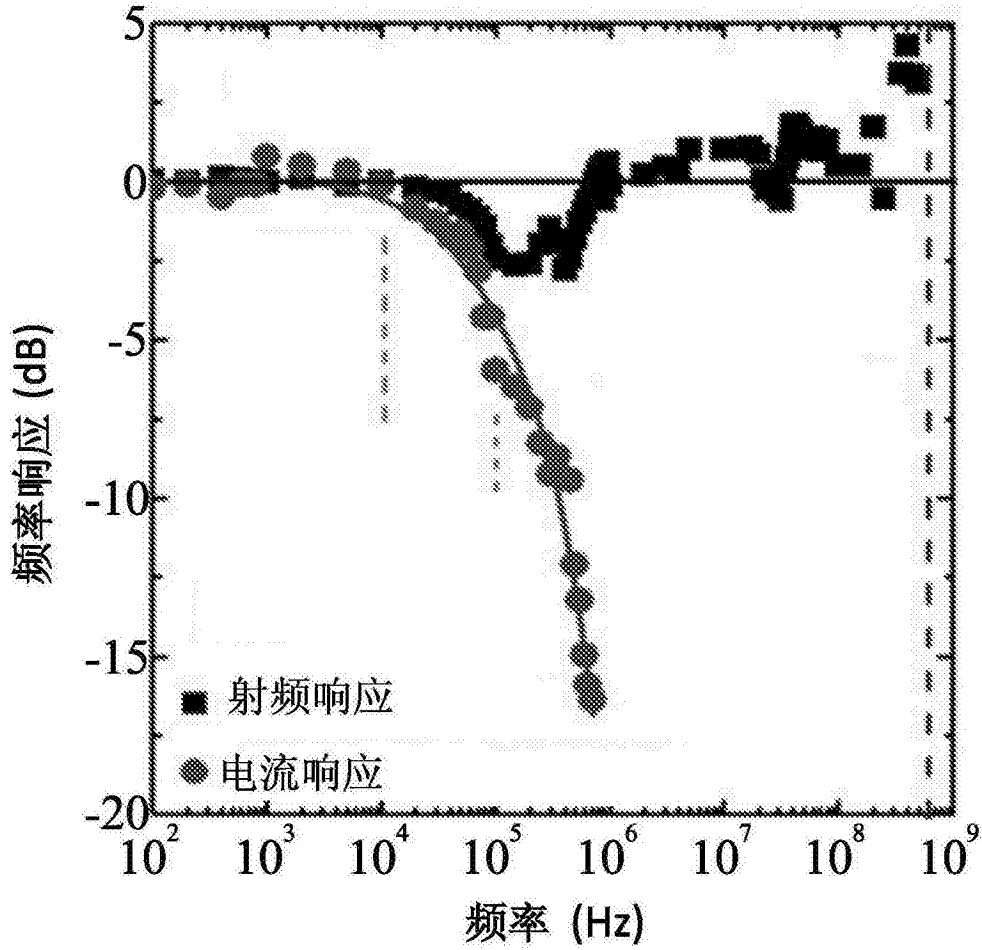


图22

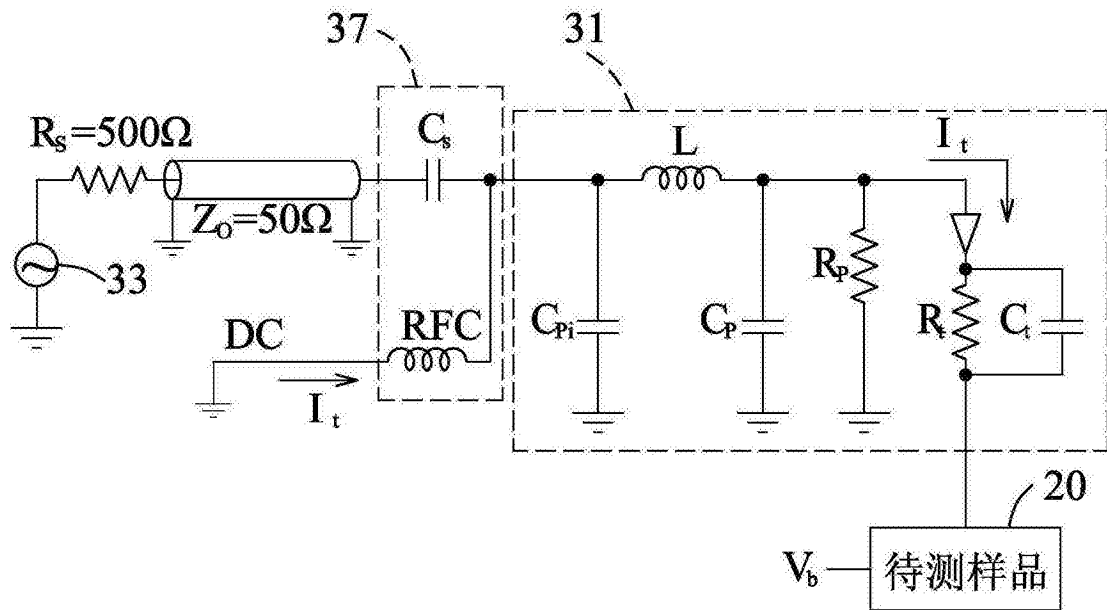


图23

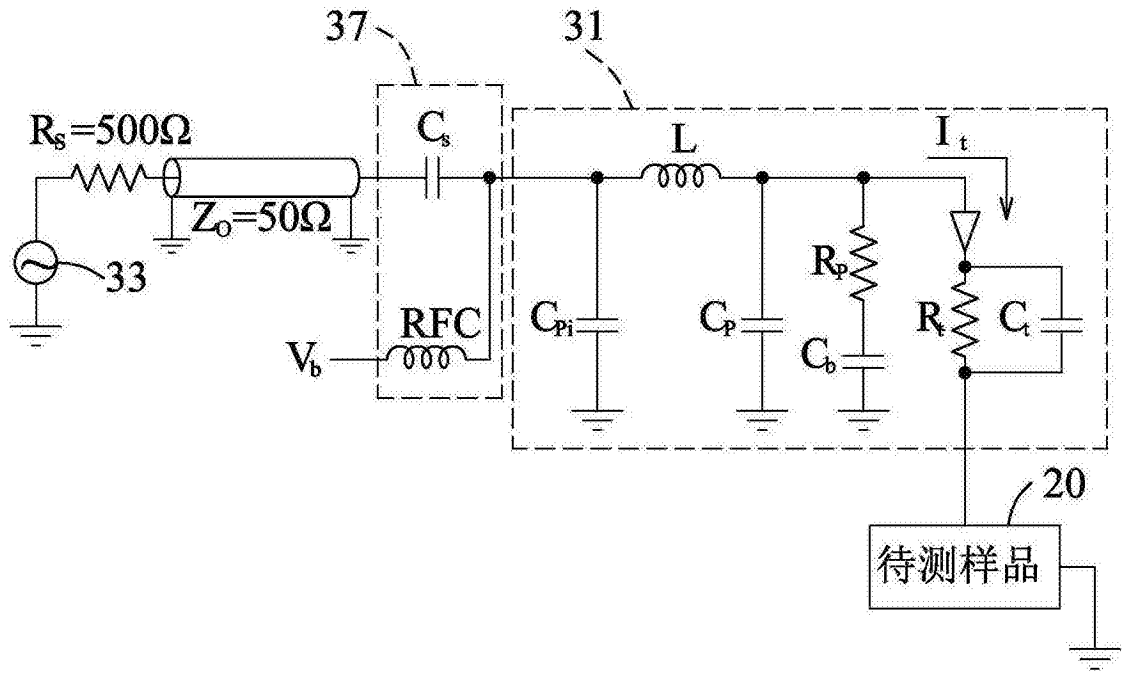


图24

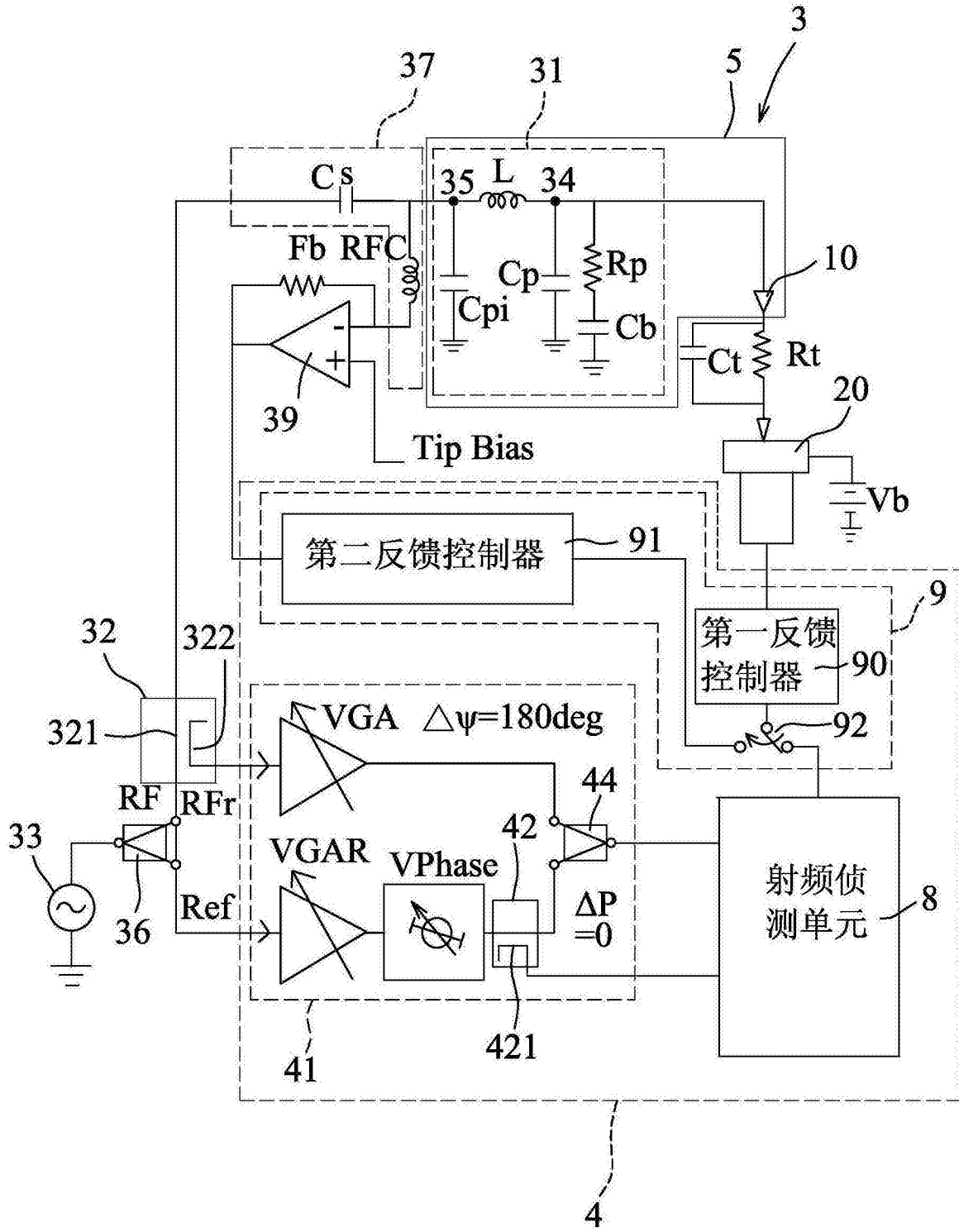


图25

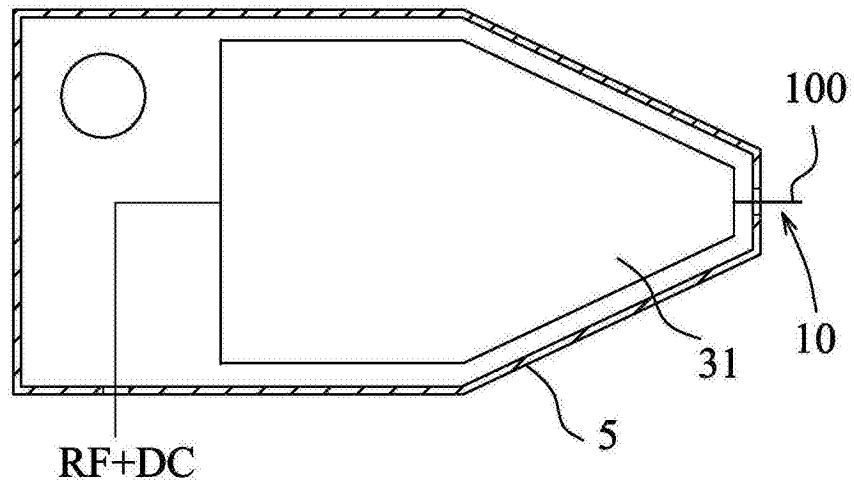


图26

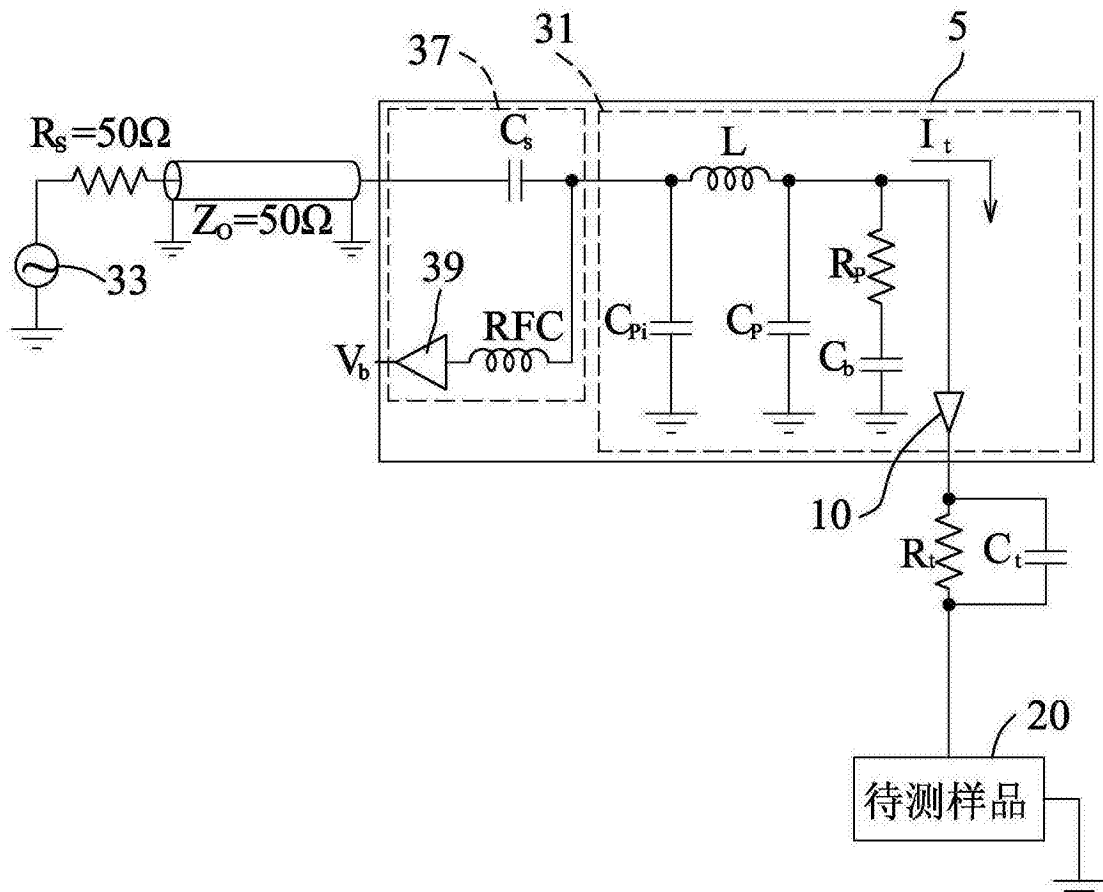


图27

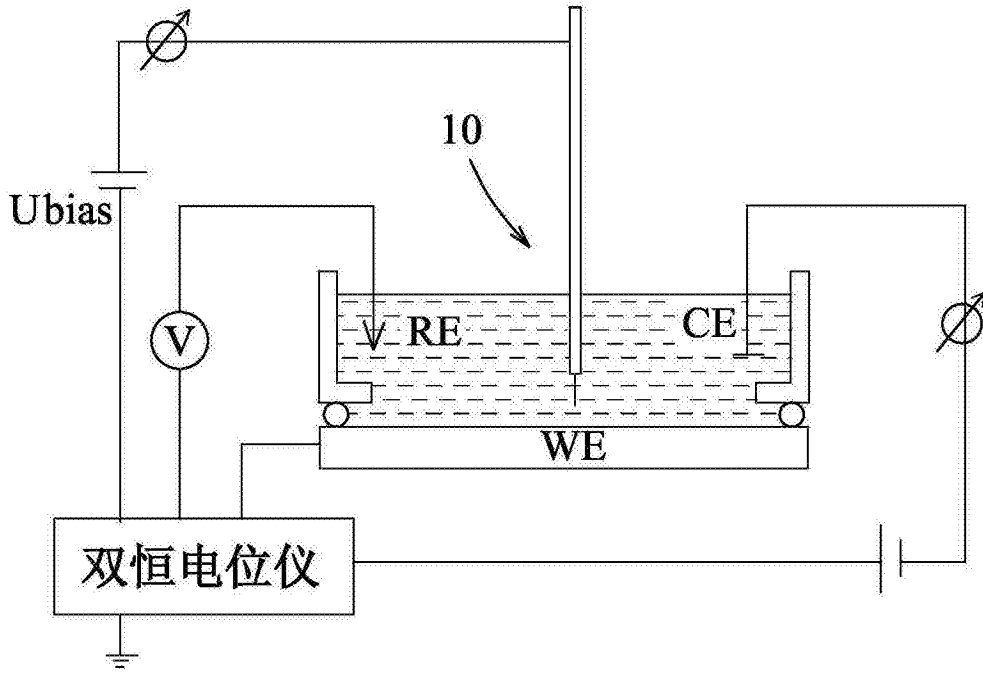


图28

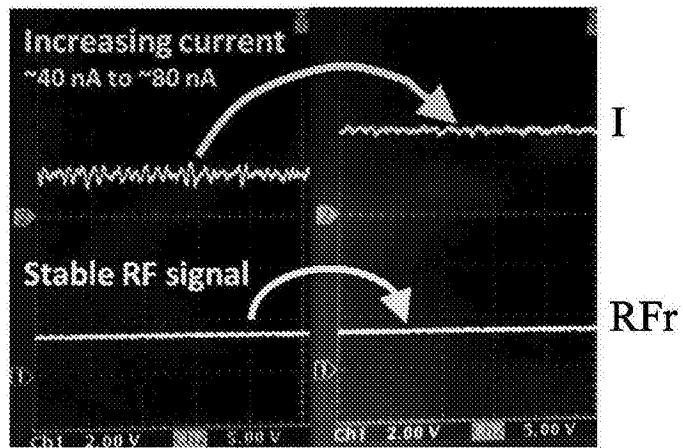


图29

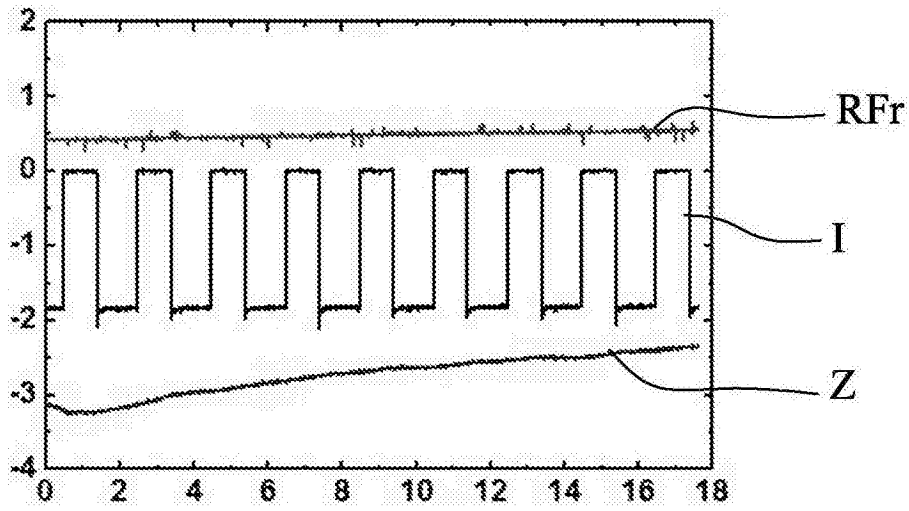


图30

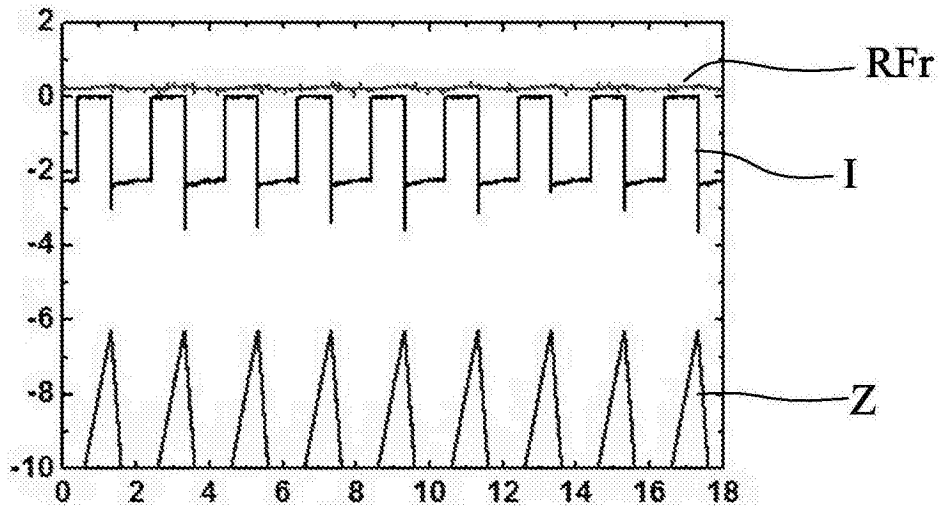


图31

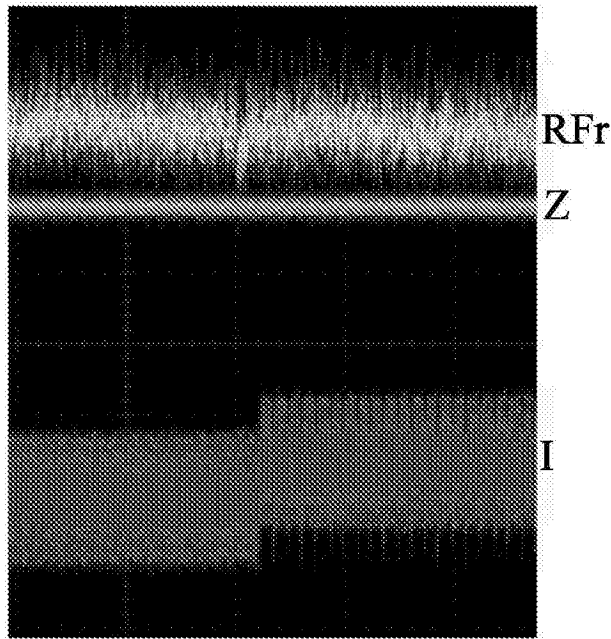


图32

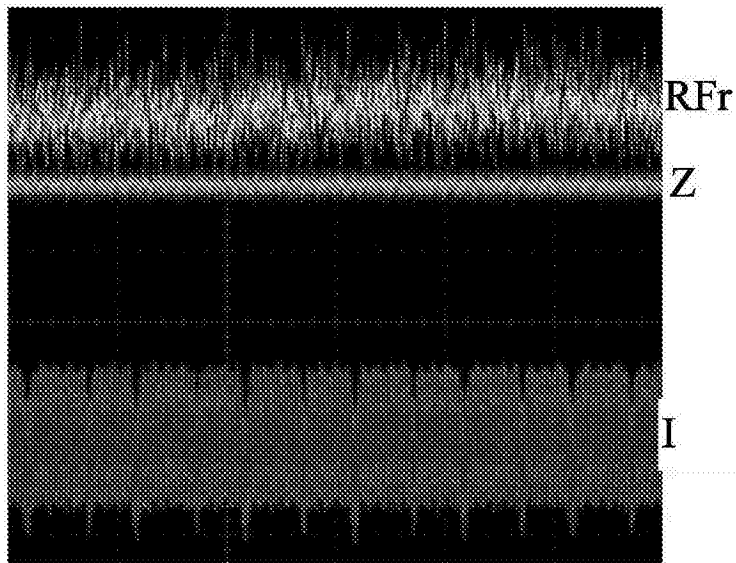


图33

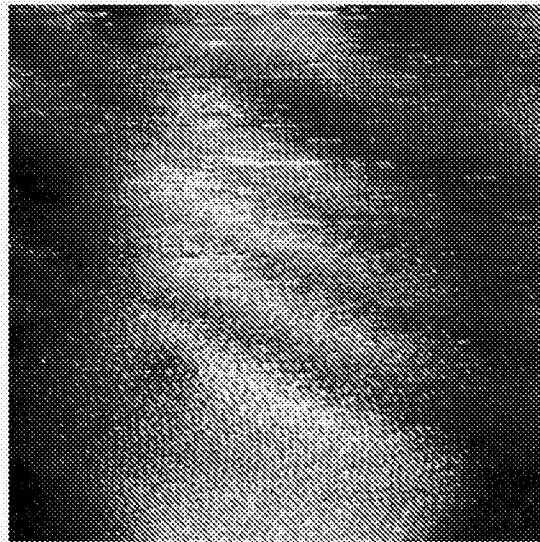


图34

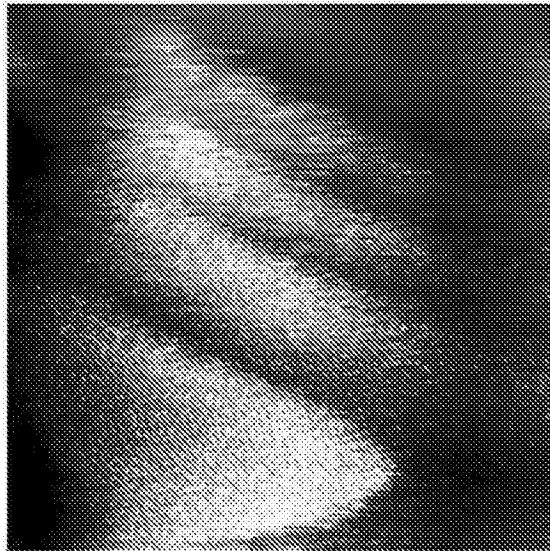


图35

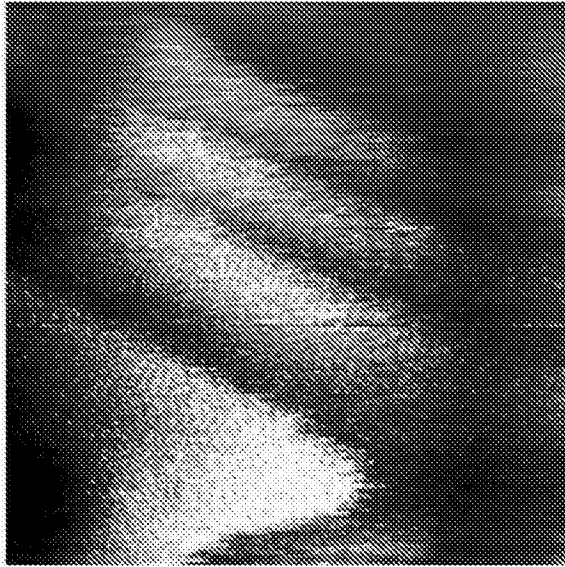


图36

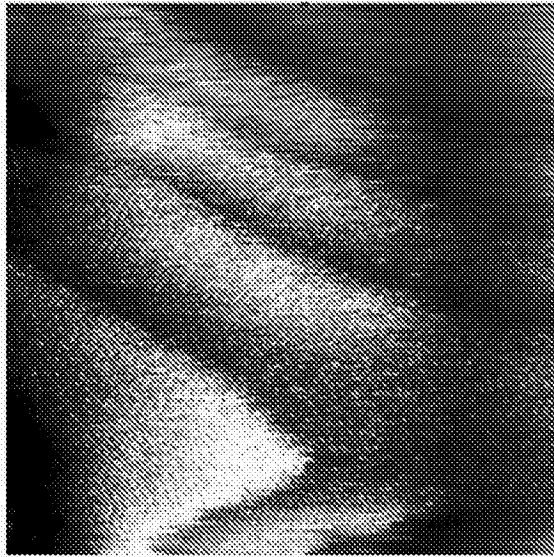


图37

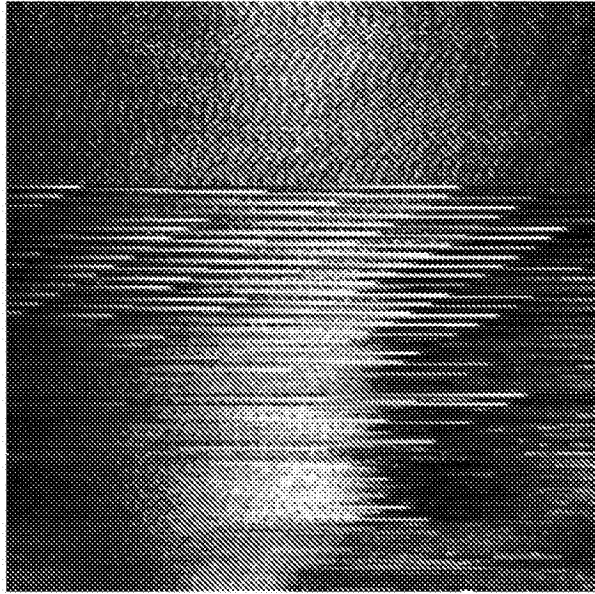


图38