



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103946889 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 23

(21) 申请号 201280052321. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 10. 11

G06T 5/50 (2006. 01)

(30) 优先权数据

G06T 7/00 (2006. 01)

61/547, 090 2011. 10. 14 US

H01J 37/28 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 04. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/059689 2012. 10. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/055876 EN 2013. 04. 18

(71) 申请人 因格瑞恩股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 G. 卡皮奥 T. 卡瓦诺 B. 纽尔

M. 苏里尔

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 黄剑飞

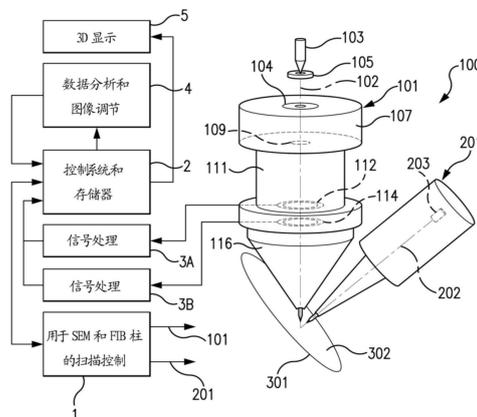
权利要求书5页 说明书20页 附图11页

(54) 发明名称

用于生成样品的多维图像的双图像方法和系统

(57) 摘要

本发明部分涉及一种用于生成样品的多维图像的方法, 其将不同图像捕获模态与数据分析能力结合起来, 用于识别和集成通过每个相应的模态捕获的更高精度图像特征, 以便产生具有更高精度和一致性的被调和 (reconciled) 图像数据。包括一种能够被用于执行该方法的系统。



1. 一种用于生成样品的多维图像的方法,包括:

采用第一图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第一二维基板图像,其中至少一种材料在所述表面区域处的位置被捕获;

采用不同于第一图像捕获模态的第二图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第二二维基板图像,其中与所述第一图像捕获模态相比,针对至少一种材料在所述表面区域处的位置,所述第二图像捕获模态提供了更高的精度;

基于所述第二二维基板图像,空间对齐所述第一二维基板图像;

基于在所述第二二维基板图像中的至少一种材料在所述表面区域处的位置,生成第一校正的二维基板图像。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一校正的二维基板图像包括由与采用第一模态被测量时相比就识别该第一材料而言具有更高精度的第二模态确定的第一材料含量和由与第二模态相比就识别第一二维图像中的孔隙度而言具有更高精度的第一模态确定的样品的孔隙度含量。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述生成包括:

识别与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置;以及

校正与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置,以便生成所述第一校正的二维基板图像。

4. 根据权利要求3所述的方法,还包括:

a) 在捕获第一和第二二维基板图像之后去除所述样品在所述表面区域的层,以便暴露所述样品的不同表面区域;

b) 采用所述第一图像捕获模态捕获在所述不同表面区域处的第一二维基板图像;

c) 采用所述第二图像捕获模态捕获在所述不同表面区域处的第二二维基板图像;

d) 多次重复步骤a)、b)以及c);

e) 基于所述第二二维基板图像空间对齐所述第一二维基板图像;

f) 对每个不同表面区域,识别与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置;

g) 对每个不同表面区域,校正与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置,以便生成第二校正的二维基板图像;

h) 采用所校正的二维基板图像生成三维基板体积。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述生成包括:基于通过与背散射电子基板图像比较而被校正的表面电子二维基板图像确定所述基板的孔隙度。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一图像捕获模态包括通过带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过检测由所述样品发射的二次(表面)电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为与所述第一二维基板图像对应的第一集合的图像数据,以及

其中所述第二图像捕获模态包括:

i) 通过所述带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过检测由所述样品发射的背散

射电子记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为与所述第二二维基板图像对应的第二集合的图像数据,或者

ii) 通过带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过采用能量色散谱仪检测由所述样品发射的 x 射线记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为第二集合的图像数据。

7. 一种创建三维体积的方法,包括:

捕获多个表面电子二维基板图像;

捕获多个背散射电子二维基板图像;

确定所述多个背散射电子基板的图像的对齐,用于生成三维体积;

使用所述多个背散射电子基板的图像的对齐,根据所述表面电子二维基板图像生成三维基板体积。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述捕获步骤采用包括表面电子检测器和背散射电子检测器的电子显微镜。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述电子显微镜是能够采用初级带电粒子束扫描基板的扫描电子显微镜 (SEM),其中所述基板发射可分开检测的表面电子和背散射电子。

10. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:在捕获第一表面电子二维基板图像和第一背散射电子二维基板图像之后以及在捕获第二表面电子二维基板图像和第二背散射电子二维基板图像之前,去除所述基板的层。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中在捕获第二表面电子二维基板图像和第二背散射电子二维基板图像之后重复所述去除层的步骤,并且在每个随后的表面电子和背散射电子图像集合捕获之后重复所述去除步骤直到至少在倒数第二个图像集合捕获之后为止。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述去除包括通过聚焦离子束进行干刻蚀、溅射或其任何组合。

13. 根据权利要求 11 所述的方法,还包括:

基于通过与多个背散射电子基板图像比较而被校正的一系列表面电子二维基板图像确定所述基板的孔隙度。

14. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基板包括至少一块岩石或矿物。

15. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基板为页岩、泥岩、粉砂岩、粘土岩、瓷状岩、白云岩或其组合。

16. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基板包括页岩。

17. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:

根据所述背散射电子三维基板图像确定所述基板的有机夹杂物含量。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中有机夹杂物包括油母岩。

19. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括以下至少一个:

在屏幕上显示所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子三维基板图像,打印所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子三维基板图像,以及在存储器件中存储所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子基板三维图像。

20. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述体积根据具有大约 1 纳米到大约 30 纳米的边长的三维像素生成。

21. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所去除的层的厚度为大约 1 纳米到大约 30 纳

米。

22. 一种创建三维体积的方法,包括:

捕获多个表面电子二维基板图像;

捕获多个背散射电子二维基板图像;

确定所述多个背散射电子基板的图像的对齐,用于生成三维体积;

使用所述多个表面电子二维基板图像的对齐,根据所述背散射电子基板的图像生成三维基板体积。

23. 一种生成样品的三维数字图像的方法,包括步骤:

a) 通过由电子源生成的初级电子束扫描样品的表面,其中所述样品包括油母岩和矿物,以及 (i) 基于检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像,以及 (ii) 基于在所述扫描期间检测所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像,其中所述第一和第二二维图像提供了与所扫描表面相关联的双集合图像数据;

b) 采用对准所述样品的离子束从所述样品去除一层,以便提供所述样品上的不同被暴露表面;

c) 采用所述初级电子束扫描所述样品的不同被暴露表面,并重复步骤 a) (i) 和 a) (ii),以便提供与所述不同被暴露表面相关联的双集合图像数据;

d) 多次重复所述步骤 b) 和所述步骤 c);

e) 通过按照从样品获得顺序相同的顺序放置各个第一和第二二维图像而叠放根据步骤 a) 和步骤 d) 获得的多个所述双集合图像数据;

f) 参照所述第二二维图像对齐所述第一二维图像;

g) 分析所述多个双集合图像数据的所述第一和第二二维图像,包括将所述像素分配给孔隙空间或油母岩,以便形成被分析的第一和第二二维图像;

h) 在所述双集合图像数据中,识别在被分析的第一二维图像中被分配给油母岩而被分析的第二二维图像中未被分配给油母岩的像素;以及

i) 将在步骤 h) 中所识别的像素重新分配给与所述双集合图像数据相关联的被分析的第一二维图像中的孔隙空间。

24. 一种用于生成样品的三维数字图像的方法,包括步骤:

a) 通过由电子源生成的初级电子束扫描样品的表面,其中所述样品包括空隙、油母岩和矿物,以及 (i) 基于检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像,以及 (ii) 基于在所述扫描期间检测所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像,其中所述第一和第二二维图像提供了与所扫描表面相关联的双集合图像数据;

b) 采用对准所述样品的离子束从所述样品去除一层,以便提供所述样品上的不同被暴露表面;

c) 采用所述初级电子束扫描所述样品的不同被暴露表面,并重复步骤 a) (i) 和 a) (ii),以便提供与所述不同被暴露表面相关联的双集合图像数据;

d) 多次重复所述步骤 b) 和所述步骤 c);

e) 通过按照从样品获得顺序相同的顺序放置各个第一和第二二维图像而叠放根据步骤 a) 和步骤 d) 获得的多个所述双集合图像数据;

f) 参照所述第二二维图像对齐所述第一二维图像;

g) 基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像,包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成基础被分析的第一二维图像;

h) 第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第一掩膜;

i) 第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第二掩膜;

j) 采用第一掩膜和第二掩膜变更所述基础被分析的第一二维图像,包括在所述基础被分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间以及在所述基础被分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中在步骤 b) 中的去除层包括沿着几乎垂直于所述样品的前次被暴露的表面的方向跨过所述样品进行离子铣削,以便去除从 1 纳米到大约 5 纳米的几乎一致厚度的一层。

26. 根据权利要求 24 所述的方法,其中所述样品包括至少一种岩石或矿物。

27. 根据权利要求 24 所述的方法,其中所述样品为页岩、泥岩、粉砂岩、粘土岩、瓷状岩、白云岩或其组合。

28. 根据权利要求 24 所述的方法,还包括步骤 k),对由步骤 j) 产生的样品的被调和图像,计算总的空隙空间百分比以及总的油母岩百分比。

29. 一种用于生成样品的三维数字图像的系统,包括:

a) 带电粒子显微镜,包括

扫描电子束柱,包括用于生成初级电子束的电子源

离子束柱,用于跨过样品生成聚焦离子束以便沿着样品的厚度方向依次去除其一薄层,并暴露该样品的不同表面以便用于由初级电子束进行扫描;

第一带电粒子检测器,用于在样品被所述初级电子束扫描时检测所述样品的表面电子;

第二带电粒子检测器,用于检测由所述被扫描样品所发射的背散射电子,

b) 第一信号处理系统,用于基于由所述第一带电粒子检测器检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像,以及第二信号处理系统,用于基于在所述扫描期间由所述第二带电粒子检测器检测的由所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像,其中所述第一和第二二维图像提供了与所述不同暴露表面相关联的双集合图像数据;

c) 计算机,包括至少一个处理器,可操作用于执行计算机程序,该计算机程序能够执行

计算以便创建所述样品的三维数字表征,其中所述计算包括:

通过按照从样品获得顺序相同的顺序对齐放置各个第一和第二二维图像而叠放通过第一和第二处理系统获得的多个所述双集合图像数据;

基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像,包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成基础被分析的第一二维图像;

第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第一掩膜;

第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第二掩膜;以及

采用第一掩膜和第二掩膜变更所述被基础分析的第一二维图像,包括在所述被基础分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间以及在所述被基础分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。

## 用于生成样品的多维图像的双图像方法和系统

[0001] 本申请基于 35U. S. C. § 119(e) 要求在 2011 年 10 月 14 日提交的美国临时专利申请 No. 61/547, 090 的利益, 该申请通过引用整体包含在本申请中。

### 技术领域

[0002] 本申请发明涉及一种用于生成样品的多位图像的方法。本发明还涉及一种用于生成样品的多位图像的系统。

### 背景技术

[0003] 通过系列 FIB( 聚焦离子束 ) 分段的应用的三维数据获取和体积可视进来已经出现为一种潜在方法来获得、询问和显示各种基板材料的多维图像。例如, 在美国专利 US6, 855, 936 和 US7, 750, 293B2 中, 描述了某种系统, 其能够被用于 FIB-SEM( 扫描电子显微镜 ) 三维成像方法。FIB 系统能够像纳米级解剖刀一样从样品上非常薄的材料切片, 同时 SEM 捕获在每个切片处的样品结构的图像。可能限制基于 FIB-SEM 的三维成像方法的更广泛用途的因素包括在实现快速和精确图像数据分析使得挑战和用于采用这些设备所捕获的图像的图像体积生成方法。

[0004] 在数字岩石物理学领域, 用于生成岩石样品的计算机层析成像 (CT) 图像的设备, 诸如钻孔切割, 已经可以获得并且被用于分析岩石样品。这种 CT 图像生成设备已经被用于产生岩石样品的二维灰度级图像。二维图像可以被堆叠为三维体积。这种灰度级图像已经被用作例如分析部分以便获得对被成像岩石样品的岩石物理 (petrophysical) 参数的评估, 这些参数例如为孔隙度、渗透性、剪切和体积模量以及地层电阻率因数。

[0005] 本调查者已经认识到, 比较有益的事, 生成岩石或其他材料的超高分辨率多维图像, 结合用于图像对齐和校正的功能强大的自动分析能力, 以便能够对岩石或其他样品进行碳氢化合物沉积物的精确一致的纳米级分析。这种开发能实现诸如在针对单个二维切片和作为整体的三维体积的地质学物相含量以及分布方面对岩石样品的快速和精确了解, 并且不需要对样品的实验室分析或减少对作为方法的部分的人类或人工分析。本调查者还认识到, 需要一种独特的数字图像捕获和分析方法, 其能够在短时间内提供对非普通的或“致密的”细颗粒地层 (formation) 岩石的精确了解。与已经利用数字岩石物理学被分析的更典型的砂岩或其他更多孔隙的岩石不同, 致密的地层可能具有极低的渗透率。

### 发明内容

[0006] 本发明的特征是为了提供了一种用于生成样品的多维图像的方法, 其包括采用具有不同精度的不同图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的多个二维基板图像, 并且使用所述不同的所捕获图像生成被调节图像。

[0007] 本发明的另一个特征是提供一种创建三维体积的方法, 其通过同时捕获双集合的表面电子二维基板图像和背散射电子二维基板图像, 以及使用多背散射电子基板图像的对齐根据所述表面电子二维基板图像生成三维基板体积。

[0008] 本发明的一个额外的特征是提供一种生成样品的三维体积的方法,包括:通过由电子源生成的初级电子束扫描包含多物相的样品的表面,基于在所述扫描期间所检测的表面电子和所述样品发射的背散射电子来记录独立的图像数据以及将所述图像数据存储为与所扫描的表面相关联的双集合图像数据,从所述样品去除一薄片并将图像捕获重复多次,并且随后利用在扫描器件基于所检测的由样品发射的背散射电子在所述图像中被识别的不同物相的识别,基于所检测表面电子校正所述图像中的至少一个物相。

[0009] 本发明还有一个特征是提供一种用于生成样品的三维体积的方法,包括:扫描包括油母岩、孔隙度以及矿物的样品的表面,其中在基于被检测表面电子已经捕获的被分析二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配为孔隙空间以及在被基础分析二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配为油母岩。

[0010] 本发明的另一个特征是为了提供一种用于实现所述的方法的系统。

[0011] 在所后的描述中将分开地给出本发明的附加特征和优点,并且这些附加特征和优点根据本说明而更清楚或者通过实际本发明而了解到这些特征和优点。本发明的目的和其他优点可以通过在本说明和附后的权利要求书中特别之处的元件和组合实现和获得。

[0012] 为了使下这些和其他优点,并且根据本发明的目的,如在此实施和宽泛描述的那样,本发明部分涉及一种用于生成样品的三维图像的方法,其中该方法包括采用第一图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第一二维基板图像,其中至少一种材料在所述表面区域处的位置被捕获。采用不同于第一图像捕获模态的第二图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第二二维基板图像。与所述第一图像捕获模态相比,针对至少一种材料在所述表面区域处的位置,所述第二图像捕获模态能提供更高的精度。基于所述第二二维基板图像,空间对齐所述第一二维基板图像,并且随后能够至少部分基于在所述第二二维基板图像中的至少一种材料在所述表面区域处的位置,生成第一校正的二维基板图像。作为一种选择,所述第一校正的二维基板图像包括由与采用第一模态被测量时相比就识别该第一材料而言具有更高精度的第二模态确定的第一材料含量和由与第二模态相比就识别第一二维图像中的孔隙度而言具有更高精度的第一模态确定的所述样品的孔隙度含量。作为另一种选择,通过采用至少一个数字掩膜变更所述第一二维基板图像来提供所述校正的二维基板图像,其中使用通过参考一个或多个在所述第二二维基板图像中被识别的有机物含量的位置形成的至少一个掩膜,来校正通过所述第一模态为所述第一二维图像确定的样品孔隙度和有机物含量至少之一。

[0013] 本发明还部分涉及到一种用于创建三维体积的方法,其中该方法包括捕获多个表面电子二维基板图像和多个背散射电子二维基板图像。确定所述多个背散射电子基板的图像的对齐,用于生成三维体积。使用所述多个背散射电子基板的图像的对齐,根据所述表面电子二维基板图像生成三维基板体积。

[0014] 本发明还部分涉及到一种生成样品的三维数字图像的方法,其中该方法具有一些步骤,这些步骤包括:a) 通过由电子源生成的初级电子束扫描样品的表面,其中所述样品包括油母岩、孔隙度和矿物,以及(i) 基于检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像,以及(ii) 基于在所述扫描期间检测所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每

一个的灰度等级值的第二二维图像。所述第一和第二二维图像提供了与所扫描表面相关联的双集合图像数据。在步骤 b) 中,采用对准所述样品的离子束从所述样品去除一层,以便提供所述样品上的不同被暴露表面。在步骤 c) 中,采用所述初级电子束扫描所述样品的不同被暴露表面,并重复步骤 a) (i) 和 a) (ii),以便提供与所述不同被暴露表面相关联的双集合图像数据。在步骤 d) 中,多次重复所述步骤 b) 和所述步骤 c)。在步骤 e) 中,通过按照从样品获得顺序相同的顺序放置各个第一和第二二维图像而叠放根据步骤 a) 和步骤 d) 获得的多个所述双集合图像数据。在步骤 f) 中,参照所述第二二维图像对齐所述第一二维图像。在步骤 g) 中,通过将所述像素分配给孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成被分析的第一和第二二维图像,来分析所述多个双集合图像数据的所述第一和第二二维图像。在步骤 h) 中,在所述双集合图像数据中,识别在被分析的第一二维图像中被分配给油母岩而在被分析的第二二维图像中未被分配给油母岩的像素。在步骤 i) 中,将在步骤 h) 中所识别的像素重新分配给与所述双集合图像数据相关联的被分析的第一二维图像中的孔隙空间。

[0015] 本发明还部分涉及到一种用于生成样品的三维数字图像的方法,其中该方法具有一些步骤,这些步骤包括此处给出的步骤 a)-f) 以及附加步骤 g)-j),其中生成双掩膜,并且该双掩膜被用于校正第一二维图像。在该方法的步骤 g) 中,基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像,包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成被基础分析的第一二维图像。在步骤 h) 中,第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第一掩膜。在步骤 i) 中,第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第二掩膜。在步骤 j) 中,采用第一掩膜和第二掩膜变更所述被基础分析的第一二维图像。在所述被基础分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间,以及在所述被基础分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。

[0016] 本发明还部分涉及到一种用于生成样品的三维数字图像的系统,该系统包括:带电粒子显微镜、第一和第二信号处理系统以及计算机。

[0017] 带电粒子显微镜,包括:扫描电子束柱,包括用于生成初级电子束的电子源;离子束柱,用于生成跨过样品的聚焦离子束以便沿着样品的厚度方向依次去除其一薄层,并暴露该样品的不同表面以便用于由初级电子束进行扫描;第一带电粒子检测器,用于在样品被所述初级电子束扫描时检测所述样品的表面电子;第二带电粒子检测器,用于检测由所述被扫描样品所发射的背散射电子。第一信号处理系统可操作用于基于由所述第一带电粒子检测器检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为第一二维图像,该第一二维图像包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值。第二信号处理系统可操作用于基于在所述扫描期间由所述第二带电粒子检测器检测的由所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为第二二维图像,该第二二维图像包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值。所述第一和第二二维图像提供了与所述不同暴露表面相关联的双集合图像数据。所述计算机包括至少一个处理器,可操作用于执行计算机程序,该计算机程序能够执行计算以便创建所述样品的三维数字表征。

[0018] 所述计算包括:i) 通过按照从样品获得顺序相同的顺序对齐地放置各个第一和

第二二维图像而叠放通过第一和第二处理系统获得的多个所述双集合图像数据 ;ii) 基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像,包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成被基础分析的第一二维图像 ;iii) 第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第一掩膜 ;iv) 第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像,包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素,以便限定第二掩膜 ;以及 v) 采用第一掩膜和第二掩膜变更所述被基础分析的第一二维图像,包括在所述被基础分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间以及在所述被基础分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。

[0019] 将理解到,前述总体描述和后面详细描述都仅仅是示例性和解释性的,并且仅仅是为了提供一种所要求保护的本发明的进一步解释。

[0020] 所包含并构成本申请的一部分的附图与本说明一起阐述了本发明的一些实施例,并用来解释本发明的原理。附图没有必要按照比例绘制。在各个视图中,附图中相同的标记指代相同的元件。

#### 附图说明

[0021] 图 1 是根据本发明的实例的系统的示意图。

[0022] 图 2 是表示由对着样品表面的初级电子束生成的二次电子和背散射电子示意图。

[0023] 图 3A 和 3B 显示了根据本发明的实例分别采用对所述样品的相同切片的电子背散射扫描(在此也被称之为“能量选择背散射”扫描)(“ESB”扫描)或背散射电子扫描(“BSE”扫描)以及表面电子扫描(在此也被称之为二次电子(“SE2”)扫描)在岩石样品表面上捕获的二维灰度级图像。

[0024] 图 4A 和 4B 显示了根据本发明实例的分别用于图 3A 和 3B 中的切片的 ESB 和 SE2 的油母岩物相的分割。

[0025] 图 5A 和 5B 显示了根据本发明的实例的根据包括双信号处理技术生成的被分割的捕获图像,其中图 5A 中显示了根据 ESB 数据进行的油母岩分割而图 5B 中显示根据 SE2 的空隙分割。

[0026] 图 6 是显示根据本发明实例的方法中的各个步骤的方块示意图。

[0027] 图 7A 显示了根据本发明实例的 SE2 图像而图 7D 显示了 ESB 图像,它们都是针对样品的相同表面区域获得图像,并且空间对齐。图 7B 和 7C 是图 7A 上被标记的区域放大后并具有对应形状的图像。图 7E 和 7F 是图 7D 上被标记的区域放大后并具有对应形状的图像。

[0028] 图 8A-8F 包括与图 7A-7C 对应的图 8A-8C 和显示了在对图像执行基础分割之后的图像的图 8D-8F。根据本发明的实例,在 SE2 数据中被错标(mislabel)为油母岩(灰色)的一些孔隙空间(黑色)采用图 8A、8B、8D 以及 8E 中的指向左上方向的箭头来表示,并且被错标为矿物(白色)的一些油母岩(灰色)采用图 8A、8C 以及 8D 中的水平指向左方的箭头来表示。

[0029] 图 9A-9B 包括与图 7D 对应的图 9A,并且图 9B 显示了被创建用来在其中信号从内部正被读出孔隙的位置将油母岩重新标记为孔隙的掩膜。根据本发明的实例,图 9A 的 ESB

被分割以便选择所有的值以及仅有高于在 SE2 中代表真实油母岩的那些值的值,这些在图 9B 中采用“sea”区域表示。

[0030] 图 10A-10B 与图 7D 对应的图 10A, 并且图 10B 显示了被创建用来在被充填 (charge) 油母岩的位置将矿物重新标记为油母岩的掩膜。根据本发明的实例, 图 10A 的 ESB 被分割以便选择所有的值以及仅有低于在 SE2 中代表真实矿物的那些值的值, 这些通过在图 10B 中添加的阴影来表示。

[0031] 图 11A-11I 包括三套图像, 其显示了根据 ESB 图像创建的两个掩膜对所获得分割产生的效果。根据本发明的实例, 图 11A-11C 中给出的 SE2 数据对应于图 8A-8C, 图 11D-11F 对应于图 8D-8F, 以及在图 11G-11I 中显示了通过这两个掩膜修改的基础分割, 并且这些箭头表示了之前在图 8A-8F 中所表示的同样的被错标的物相。

[0032] 图 12A-12C 分别是根据本发明的实例的在图 11B、11E 以及 11H 中所示的箭头附近的孔隙空间的三个放大视图, 其中图 12A 中显示了 SE2 数据集合, 图 12B 中显示了基础分割, 而在图 12C 中显示了经过两个掩膜校正后的基础分割。

[0033] 图 13 包括表 1, 其显示了使用根据本发明实例的方法和包括人工分析图像内容的比较方法来确定页岩样品的 FIB-SEM 被扫描切片的油母岩和孔隙度含量的结果。

## 具体实施方式

[0034] 本发明部分涉及一种用于生成样品的多位图像的方法, 其将不同图像捕获模态与能够识别和集成由每个模态各自所捕获的较高精度的图像特征的数据分析结合起来, 以便产生与根据任意一种模态单独获得的可能的图像数据相比具有更高精度和一致性的被调和 (reconciled) 图像数据。例如, 本发明的方法在生成其中包含有不同物相的样品的数字图像方面特别有用, 所述不同物相不能由单一高分辨率图像捕获模态获得处于相同精度级别的图像。认识到该问题, 因此本发明的方法包括使用不同的图像捕获模态来同时捕获用于样品的同一表面的双集合图像数据。不同的图像捕获模态形成双信号生成、获取、分析以及数字图像显示系统的部分。作为一种选择, 至少一种模态与另一种或其他图像捕获模态相比能够提供用于至少一种图像特征的更高识别精度。采用为给定特征提供更高识别精度的对应模态, 可以根据不同特征的识别结果生成校正图像。例如, 岩石样品可以具有一种或多种固体材料 (例如, 无机材料、有机材料或这些物相的组合) 和可能的孔隙空间。例如, 当在扫描电子显微镜或其他非常高分辨率图像捕获设备下观察多相材料是, 例如 SEM 的表面电子或二次电子检测器能够生成在给定切片层级处的一些信号, 这些信号提供了能够以较高精度显示孔隙空间的二维灰度级图像。这些扫描还可以捕获来自在属于该样品的随后或更深切片中的位置处的孔隙空间内的固体材料的信号, 其能够创建用于该图像的识别误差。如果不用本发明方法校正, 来自更深切片的被错误识别的固体材料在二维图像中会误导地显示为作为穿过其被检测到孔隙的在相同二维切片中的占用空间。而且, 岩石的有些有机物含量, 诸如油母岩, 也会在 SEM 扫描期间冲进 (charge into) 矿物相中, 并且被误识别为二维图像中的矿物, 因此, 单独依赖于捕获的表面电子成像会导致不正确地确定样品切片的孔隙空间和固体材料。当多个二维图像被叠放成单一的三维体积时, 如果不用本发明校正, 这些识别误差就会被复合起来。本发明能够以较高自动化的例程提供这样的校正模型, 该例程与依赖于人工分析和处理图像相比更精确、快速以及可重复。

[0035] 作为一种选择,本发明的方法能够确定含有有机物含量的岩石中的物相分布含量,其中可以生成一种被校正的二维基板图像,其包括由具有针对有机物含量具有更高精度的模态确定的感兴趣的有机物含量,并且通过针对使用所述第二二维基板图像被对齐的二维图像中的孔隙度具有更高精度的不同模态确定任何孔隙度含量。作为另一个选择,本发明的方法提供第二图喜爱那个捕获膜拜,其能够在相同切片层级以较高精度级别识别至少一种固体材料,并且这些更精确的识别能够被用来校正第一图像中的其实际上为孔隙空间的至少一种固体材料的错误识别以及作为不同种类的固体材料的固体材料的错误识别。

[0036] 本发明的方法可以被应用来生成和校正无效的二维图像。该方法还可被用于生成和校正根据样品的连续切片获得多个二维图像,并且以叠放对齐的被校正图像提供了该样品的被扫描部分的高精度三维体积仿真。

[0037] 如上所述,本发明的方法能够在相对短的时间周期内以高度自动方式执行。本发明方法能够避免手动地一次一个切片地校正切片。如在此所包含的实例中所示的那样,人工处理非常耗时,不可重复并且不精确。而且,采用人工标记校正,结果高度依赖于进行人工校正的个人。本发明的方法降低了产生这种误差以及对仿真图像结果带来负面影响的机会。

[0038] 作为一种选择,本发明的方法涉及创建样品的体积的三维显示,其中所述的不同图像捕获模态包括一种用于捕获多个表面电子二维基板图像的模态以及一种能够包括用于捕获用于校正所述表面电子二维基板图像的多个背散射电子二维基板图像的模态的不同模态。在确定基于所述多个背散射电子基板图像对齐了两组图像之后,在确定基于所述多个背散射电子基板图像对齐了两组图像之后,根据包含参照所述背散射电子基板图像对被错误识别的特征进行的校正的所述表面电子二维基板图像生成由被校正图像构成的三维基板体积。作为选择,所述不同模态可以包括捕获多个能量色散谱仪(EDS)基板图像。

[0039] 作为一种选择,提供了一种用于测量岩石或矿物样本中的孔隙度和有机物含量的方法,其能够以高度自动的方式将一片接一片的(slice-by-slice)三维图像数据获取能力与有力的图像分析能力集成起来。为了确定岩石样品中的孔隙度和油母岩或其他有机物含量分数,装备有多种信号检测模态的带电粒子显微能够被用于生成该样品的三维数据作为双集合图像数据。该双集合图像数据可以在对样品中的不同特征进行成像方面提供不同精度级别,其中在本发明方法中可以对双集合图像数据进行对齐、分析、合并或集成,以便产生该样品的具有高精度和一致性(consistency)的单一图像。例如,能够采用本发明分析的岩石和矿物材料并不必收到限制。该岩石例如可以是页岩、泥岩、粉砂岩、粘土岩、瓷状岩、白云岩或其组合。为了阐述而非限制目的,在此处提供了某些描述中引述了页岩。本发明可以应用到例如非普通的或“致密的”细颗粒地层(formation)岩石和矿物。致密地层材料具有极低的渗透性,诸如小于0.1毫达西(milliDarcy)的绝对渗透率,或者甚至没有流动路径的多孔网络。该岩石可以包括矿物材料,诸如结晶固体材料或矿物。作为一种选择,有机物含量可以包括油母岩(Kerogen)。油母岩是诸如沉积岩的某些岩石中的有机化学化合物的混合物,其构成了一部分有机物质。油母岩通常不溶于常规有机溶剂,因为其组成化合物具有非常大的分子量(例如高达1000道尔顿(Dalton))。在加热时,某些类型的油母岩会释放出原油或天然气。在本发明的一种选择中,岩石可以被FIB-SEM设备逐个切片地扫描,其同时生成多个信号,所述多个信号可以被处理并形成单独集合的灰度级图像,这

些灰度级图像产生不同结果用于识别岩石或其他被扫描样品的切片的矿物（例如微粒）、有机物含量（例如油母岩）以及任何孔隙空间含量。

[0040] 作为一种选择,为了确定诸如岩石样品的样品中的不同物相的位置和百分比,装备有多种检测模态的聚焦离子束-扫描电子显微镜(FIB-SEM)可被用于在样品的不同切片上以非常高的分辨率产生二维(2D)图像。带电粒子束系统100显示在图1中以便图释FIB-SEM系统,该系统可用于该选择。带电粒子束系统100包括扫描电子束柱101和聚焦离子束柱201。如图1所示,电子束柱101的光轴102以及聚焦离子束柱201的光轴202基本上在由样品301的平面302所限定的平面内相交。在该附图中,聚焦离子束柱201的光轴202几乎垂直于样品301的该平面衍生并且因此在该实例中该离子束正较低撞击在该表面上。在该配置中,沿着SEM柱101的光轴102传播(traveling)的电子束撞击在样品301的表面302上的角度可以是通常所使用的值,诸如大约30°到大约40°,或者是其他合适的值。在扫描电子束柱101中,初级电子束可以由诸如肖特基(Schottky)场发射器的电子源103和阳极104生成。所发射的电子也可以穿过布置在电子源103和阳极104之间的引出(extractor)电极105。被加速的电子束随后穿过在阳极104的底部的孔(bore)并基本上被准直仪系统107校准以及随后通过孔径光阑(aperture stop)109和电子束柱101的内部空间111。就这一点所描述的系统包括在诸如美国专利US7,770,293B2中的系统所示的组件,就电子光学系统以及离子光学系统的设计的这些以及其他特征而言,该专利通过引用包含在本发明中。用于二次或表面电子的检测器112以及用于背散射电子独立检测器114布置在内部空间111中,被加速的电子束穿过该内部空间111。顺着电子束的方向,随后可以提供物镜116,其可以是磁透镜和静电透镜的组合,其可以具有诸如在上述所包含的专利中的特征。聚焦离子束柱201可以包括离子源203和诸如在上述所包含专利中描述的组件,其能够生成离子束,该离子束也可以撞击在样品301的表面302上。

[0041] 在图1的左侧,显示了系统100的一些控制元件1-5。扫描控制器1能够生成被施加到电子束柱101上的扫描信号,并且相同或独立的扫描控制器(未示出)能够生成被施加到FIB柱201上的扫描信号。扫描控制器1的信号也可以被施加到数据存储器2并且能够触发该数据存储器2。该数据存储器2可以具有足够的容量以便存储多个被同时捕获的双图像数据集合。由于所述初级电子束而由样品301发射的二次和背散射电子被扫描电子束柱101的物镜116的组件沿着电子束柱101的光轴方向被加速,并可以被检测器112和14所检测到。由检测器112和114所检测独立信号可以被各自的处理单元3A和3B放大或者增强,并与来自扫描控制器1的所分派的信息一起被存储在数据存储器2中。可以使用聚焦离子束柱201从所述样品302中取出一些薄切片。通过使用扫描控制器使得所述聚焦离子束,例如沿着与由电子束柱111的光轴和离子束柱112的光轴构成的平面垂直的方向偏转(deflect),可以从样品302取出薄片。同时,通过使用被扫描电子束以及分别采用检测器112和114检测二次和背散射电子生成图像数据。由电子束柱在一个切片被取出的时间内生成的图像数据限定了一个图像集合,并且每个检测器112和114捕获用于各个图像数据集合的信号。通过重复地去除一个切片接着一个切片以及连续生成图像数据,在存储器2中记录和存储多个双集合图像数据。对扫描电子显微镜(SEM)而言,扫描仪通常从扫描仪输出代表灰度级值的二维矩阵值。在进一步步骤中,存储在存储器2中的所述多个图像数据集合在数据分析和图像调节单元4中被评估。关于该分析和图像调节,可以参见此

处的图 3-13。在进行了所述分析和图像调节之后,可以将结果存储在存储器 2 中,并且可以获得足够的信息来生成在显示器 5 上的高分辨率的 3D 图像显示结果,该显示包括可以获得根据通常和已知显示方法的显。

[0042] 如上所述,该选择的特征为提供对用于二次或表面电子和背散射电子的同步检测能力,所述表面电子和背散射电子用于产生双信号,该双信号基于每个检测模式用于捕获和生成双结合图像数据。例如,二次电子检测器可以用于检测由于电子束和在样品的表面或其附近的原子相互作用而导致的信号。如图 2 所示,在束斑处撞击在样品表面上的初级电子束(“PE”)的初级电子由于非弹性的系那个湖作用会释放二次电子,其可以被称为“SE1”。初级电子还可以穿透进入样品,在非常靠近所述样品的表满的所谓的相互作用体积内承受多次弹性相互作用,并在距离所述束斑的一定距离处从所述样品出来成为背散射电子,其可以被称为“BSE”或“ESB”。而且,在背散射电子从样品出来时,二次电子也可以从样品被释放,其可以从距离束斑的一定距离处从样品出来,并且这些二次电子可以被称之为“SE2”。背散射电子可以例如撞击在 SEM 透镜的外侧以便释放额外的二次电子,这些二次电子有时被称为“SE3”(图 2 中未示出)。关于 BSE 以及 SE1、SE2 和 SE3 类型的二次电子的概念是通常所知晓的。相对二次电子而言,BSE 通常具有更高的能级以及其他区别,并且可以开发这些差别来独立地检测他们。作为一种选项,在本发明的方法中的二次电子的检测涉及检测“SE2”二次电子。在该选项中,可以基于对 BSE 和 SE2 电子的检测获得双集合图像数据。在非常靠近样品的表面的相互作用体积中出现的背散射处理和机制可能由于不同材料而不同并且可能取决于例如材料的构成和结构。如上所述,在本发明中提供了同时检测二次和背散射电子以便能够对样品的每个切片捕获双集合图像数据。

[0043] 而且,如上所述,在对样品的给定切片捕获到双集合图像之后,FIB-SEM 的聚焦离子束可用于从样品的表面取出一个薄层,并能够在新暴露的表面上捕获另一个双集合图像数据。采用 FIB 取出的薄层可以为例如从大约 1 纳米到大约 30 纳米,或者从从大约 1 纳米到大约 20 纳米,或者从大约 1 纳米到大约 15 纳米,或者从大约 1 纳米到大约 10 纳米,或者从大约 1 纳米到大约 5 纳米,或者从大约 2 纳米到大约 4 纳米,或者其他值。能够适应用于所述方法的 FIB-SEM 系统可商业上获得,例如来自 Carl Zeiss SMT AG(德国奥伯科亨(Oberkochen, Germany))的作为模型被称之为 AURIGA® CROSSBEAM® FIB-SEM 工作站。作为一种替代选项,所述表面电子和背散射电子检测器之一可以由诸如能量色散谱仪(“EDS”)的检测器来替代,该检测器用于检测由样品发射的 X-射线信号,并且除了基于表面电子的图像数据或基于背散射电子的图像数据还将图像数据存储为一个替代集合的图像数据。

[0044] 可以在这些方法中顺序获得多个图像并随后通过将把这些图像叠放并对齐在合适的位置而将这些图像组合起来,以便创建初步三维(3)体积。由 SEM 扫描仪产生的扫描图像输出可以是 3D 数值(numerical)对象,包括被成像样品的多个 2D 切片或片段。每个 2D 切片可以包括网格值,其中每个值对应于在该网格平面内限定的一个空间小区域,每个这样的空间小区域被称为“像素”并对其赋予一个代表图像强度(或例如通过 CT 扫描程序所确定的材料的密度)的数字。

[0045] 叠放和对齐的二维图像所采用的处理不是微不足道的(trivial)。可以例如采用适应于用于本发明中的数据可视和分析软件来叠放和对齐灰度级图像。例如可以通过按照

从样品中获得所述图像的顺序来顺序放置所述切片的图像来进行这种叠放。对齐可以依赖于这样的处理技术,该处理技术在同一堆叠中识别一块切片相对于下一切片的正确横向(lateral)位置。作为一个选项,基于表面电子检测获得二维基板图像可以通过参照采用背散射电子检测获得二维基板图像对齐。例如,在采用背散射电子检测获得的二维基板图像中的油母岩的位置可能具有高精度,并且能够被用于对齐在扫描样品上根据背散射电子检测获得的二维基板图像以及还有同时根据表面电子检测获得所捕获的二维基板图像。所述背散射电子数据通常很少含有诸如页岩的岩石样品的假象(artifact),并且那些二维图像能够被用于更方便地对齐切片并且创建三维体积。例如,由于油母岩位置在岩石样品上被捕获的背散射电子基板图像中能被更精确显示,并且比在表面电子基板图像中更精确,因此背散射电子基板图像中的油母岩的位置能够被用于对齐采用FIB-SEM系统同时所捕获的相对表面电子基板图像。通过根据背散射电子数据确定的对齐,表面电子数据能够被一致地操纵。油母岩被识别的位置可以用于横向(X-Y方向)对齐该样品的已经通过表面电子检测同时获得二维基板图像。如果图像的三维体积将基于连续扫描和在每个切片处捕获双集合图像数据而生成,则对于在生成用于样品的被连续扫描的切片的二维图像的叠放时使用纳米级或其他更小的切片厚度的每个切片,也可以基于在根据背散射电子检测所捕获的二维基板图像中识别的油母岩的位置进行对齐。使用较小的切片厚度,透过根据背散射电子检测所获得图像的相连接切片的所述油母岩位置可以被识别和用于参考点来对齐包括采用表面电子检测获得图像的切片的堆叠和分离堆叠。在通过背散射电子检测获得图像中的油母岩位置可以被用于彼此横向对齐同时捕获的图像以及相邻切片的图像。可以这这对用于样品的一叠连续获得的双集合图像数据一个一个切片地进行所述对齐处理。使用本对齐方法,表面电子图像无需在其他情况下会需要的额外处理就可以对齐。作为另一种选项,为了对齐目的,可以在正被成像的样品的表面创建按一些物理配准(registration)或信用(fiduciary)标记,例如诸如在美国专利US7,750,293B2中描述的那样。

[0046] 为此,“分割(segmentation)”表示一种将数字图像分多个分段(多个像素集合)。图像分割通常被用于在图像总定位对象和边界(线、曲线等等)。在分割例如多孔岩石时,可被用于分配孔隙空间和一种或多种非孔隙物相区域和其他边界。图像分割是将一个标签(label)分派给图像中的一些像素使得具有相同标签的像素共享某种可视特性的处理。图像分割的结果是结合起来覆盖整个图像的一些分段的集合或从该图像中抽取的轮廓(contour)的集合。就一些特征或所计算的特性而言,诸如就颜色、强度或纹理而言,一个区域内的每个像素都可能相似。相邻区域在一些特征方面有不同。在数字图像处理领域已经开发和使用了一些用于图像分割的通用算法和技术。例如,可以将岩石样品的数字图像分割成其组成分类(compositional classes)。术语“组成分类”可以涵盖例如开口孔隙、矿物、可选其他类型材料或其组合。单一组成分类的成员相对于其他组成分类而言应该具有相同的组分和相同的通常结构,使得其对岩石的特征有相似程度的影响。如在本领域所知,在将X-射线衰减图像(使用X射线显微断层照相术实例)分割成相似矿物学组成分类时可能不明确,因为不同岩石矿物可能具有相同的X-射线衰减。如果关于样品的矿物成分的现有信息限定了每个像素的可能数量,则对分割有极大的帮助。还如已知的,如果没有现有信息,也可以使用X-射线衍射来确定矿物学(mineralogy)。如果两种组成分类具有相同或几乎相同的X-射线衰减,可能有必要使用结构性量度(metrics)来区分它们,如本领域技

术人员所理解的那样。灰度级是非限制性实例。可以将这些和其他分割方法和技术应用或适应用于本发明的的方法和系统。

[0047] 作为实例,在对齐之后,可以分析双集合图像数据以便将二维灰度级图像中的限速分配或分割成不同物相(例如,许多岩石样品中的孔隙空间、油母岩或矿物),以便形成被基础分析的二维图像。被归于 2D 切片的每个像素的值通常为整数,其可以例如在 0-255 之间改变,其中 0 为例如纯黑而 255 为纯白。这种整数通常被称为“灰度级”值。在给定实例中,例如,0-255 可以与数码字的 8 个数字位相关联,代表每个像素中的灰度级值。在其他实施方式中,其他灰度级范围可以与更长或更短的数码字相关联,并且 the range of 0-255 的范围并不意图限制本发明的范围。作为一个选项,为了模仿使用这种用于岩石样品的数值对象(灰度级)的处理,分配像素包括通过确定图像中的像素是否满足基于分别为孔隙空间、油母岩或矿物而预先选择的灰度级值的预选阈值规定而将该像素分配为孔隙空间、油母岩或矿物。例如可以处理数值对象使得岩石样品中的被分配为空白空间(孔隙空间)的所有像素都采用共同的数字值来代表,例如采用 0 来代表,并且与岩石矿物或油母岩相关联的所有像素采用不同的(较高的)数字值来代表,例如采用更接近 255 的值或值范围用于矿物,并且采用在用于矿物的值和孔隙的值之间的中间值或范围值用于油母岩。能够被用所述分配的例程例如可以是适应与本发明的数据可视化和分析软件。

[0048] 对于诸如页岩的岩石,例如,可能在图像的特征方面更复杂。图像也可能包含获取处理的在实际样品中不存在的假象。因此,在不采用本发明的情况下创建样品的三维图像堆叠面临技术挑战。例如,如果仅仅根据在 FIB-SEM 中使用的表面电子检测器来获取图像以创建根据其可以量化孔隙度和油母岩或其他有机物含量的三维体积,那么单单使用表面电子检测器数据创建的图像,与例如根据背散射电子检测器数据创建的图像相比,可以提供关于孔隙空间(孔隙度)的更锐利的边缘。不过,已经发现,与使用例如背散射电子数据的不同模态数据时相比,在表面电子数据中通常有更多假象,这些假象使得三维对齐以及油母岩或其他有机物含量的量化更困难。为了精确确定孔隙度,随后需要额外的处理步骤来应对可能在表面电子数据中出现的数字假象。不过,如所指出的,使用有经验的特定人员图像解释者的人工校正通常比较耗时,并且需要进行目视判读(visual interpretation)和个人判断。而本发明则能够消除依赖于人工判读图像的这些问题。

[0049] 作为一个选项,在本发明的方法中,可以根据所述背散射电子数据确定油母岩的百分比(fraction)以及根据表面电子数据确定孔隙度百分比,所述表面电子数据利用所述背散射电子图像堆叠被对齐,所述表面电子数据利用所述背散射电子图像堆叠被对齐,用于在 FIB-SEM 上的双集合数据的和被同时指出的所捕获的二维图像。在图 3A-3B、4A-4B 以及 5A-5B 显示了不同结果的视图,这些结果可以采用 FIB-SEM 设备基于对同一样品表面的表面电子扫描和背散射电子扫描而获得。图 3A 和 3B 显示了利用自 Carl Zeiss NTS GmbH 获得的 AURIGA® CROSSBEAM® FIB-SEM 工作站分别采用对所述样品的相同切片的电子背散射扫描(“ESB”扫描)以及表面电子扫描(二次电子(SE2)扫描)在岩石样品表面(即页岩表面)上同时捕获的二维灰度级图像。图 4A 和 4B 分别显示了图 3A 和 3B 中的切片的独立的 ESB 和 SE2 的分割图像。在数据分析的这个阶段,图 3A 的 ESB 扫描的计算结果为孔隙度 1.8%、油母岩 22.1%以及绝对渗透率 0nD,而对图 3B 的 SE2 扫描的计算结果为孔隙度 5.6%、油母岩 16.6%以及绝对渗透率 36/0/15nD(x、y、z 轴)。因此,ESB 和 SE2

扫描的结果并不一致。这些结果显示了 ESB 和 SE2 扫描在区分页岩或其他岩石中的孔隙和油母岩的能力方面具有显著差异。

[0050] 图 5A 和 5B 显示了根据包括双信号处理技术的本方法的所分割的捕获图像,其中图 5A 中显示了根据 ESB 数据进行的油母岩分割而图 5B 中显示根据 SE2 的孔隙分割。作为一种选项,只根据源于背散射电子 (ESB) 数据 (图 5A) 的油母岩分割就能够确定样品切片中的油母岩含量,而值根据源于表面电子 (SE2) 数据 (图 5B) 的孔隙分割就能够确定孔隙度,该表面电子 (SE2) 数据利用背散射电子图形堆叠被对齐。如果使用该选项,针对样品的相同切片所获得的这两类图像的计算和合并结果为,孔隙度为 5.6%,因为根据表面电子数据确定孔隙度具有更高的分辨率;油母岩为 22.1%,因为根据数据确定油母岩具有更高分辨率,而绝对渗透率为  $36/0/15\text{nD}(x,y,z)$  轴)。样品的绝对渗透率通过数值仿真来确定。对于给定的被扫描样品,对在 FIB-SEM 上获得双数据结合的同时捕获的二维图像采用本发明,可以更精确确定岩石的油母岩、孔隙度以及其他物相的体积百分比。该方法还可以应用到其他类型的样品上,并且不限于岩石或矿石。通过该方法可以减少分割和数据处理时间。本发明还有一个益处是,与使用人工分析的方法相比,更快、更一致以及更精确。

[0051] 例如,当孔隙空间变大以及信号从源于随后切片所有的位置的孔隙空间内的固体材料捕获时,FIB-SEM 图像 (SE2) 会变得益发难以分割。用于分割计算机层析成像 (CT) 数据集的未校正分割通常将这种材料在其本应被标注为孔隙度时被标注为油母岩 (或在错误情况下,标注为已经冲填 (charge) 或定向 (orient) 在平行于被研磨表面的附近的材料的矿物)。例如,油母岩在 FIB-SEM 设备的扫描期间冲填时会被错标注为矿物。如果不采用本发明,会需要一次一个切片地对这些错误识别进行手动人工校正。如所指出的,人工处理是非常耗时、不可重复以及不精确的。其结果可能高度依赖于进行人工校正的个人。

[0052] 作为另一个选项,本发明的方法能够采用至少一个掩膜校正被捕获为表面电子二维基板图像的图像,所述至少一个掩膜根据针对每个切片被同时捕获的背散射电子二维基板图像发展而来。在这种选项中,在表面电子二维基板图像中利用第一掩膜将像素从油母岩重新分配为孔隙空间。而且或可替代地,在表面电子二维基板图像中利用第二掩膜将像素从矿物重新分配为油母岩。诸如在油母岩灰度级范围内出现源自更深切片的在孔隙内的材料的情况下,为了校正表面电子二维基板图像中被错误识别为油母岩的孔隙,可以采用对同时所获取的背散射电子数据集进行检查一遍揭示所述表面电子二维基板图像中孔隙被错误标注为油母岩的区域。例如,与表面电子数据同时获取并与其对齐的背散射电子数据显示,在表面电子数据中的其中孔隙已经被错误标注为油母岩区域中,所述背散射电子数据的灰度级值显著高于被正确标注为油母岩的区域。这表明这些具有更高灰度级值的区域将会被预期为真实油母岩。例如,采用第一掩膜,实际孔隙被赋予高灰度级值 (例如大约 190 到 240),因为在背散射 SEM 图像中其相对于真实油母岩显示为白色。对于第二掩膜,已经冲填和错误标注为矿物的油母岩可以被赋予相对于矿物相的低灰度级值,因为在背散射 SEM 图像中油母岩相对于矿物相显示为更低暗的灰度 (例如大约 0-115)。表面电子数据中的在阴影中显示得更暗的以及在背散射电子数据中灰度级值显著高于真实油母岩的表面区域可以通过比较在表面电子数据中被识别的油母岩和在背散射电子数据中被识别的油母岩而被识别。例如,背散射电子数据集可以揭示 (reveal) 在表面电子二维基板图像中已经被错误识别为油母岩的孔隙区域的灰度级值高于在背散射电子二维基板图像中被

正确标注为油母岩的区域。该差别可以被利用来校正正在表面电子二维基板图像中被错误标注为油母岩的孔隙度,同时不会对真实油母岩的位置留下影像。为了校正正在表面电子二维基板图像的其中在扫描期间被冲填为矿物的灰度级值的位置中被错误识别为矿物的油母岩(例如在图像中,被冲填的油母岩显得比正常更浅),被用来校正孔隙度的相同的背散射电子数据集可以被用于进行这些校正。例如,在表面电子数据集中可能有一些被分割的矿物相应该被识别为油母岩而没有被识别为油母岩,因为这些区域的灰度级值在被赋予油母岩的灰度级范围纸上。在表面电子数据中的被错误标注为矿物的这些区域被发现其在背散射电子数据集中灰度级值显著低于被正确标注为矿物的区域。在所述表面电子数据集中的区域明显显得比在背散射电子数据集中的实际矿物区域更暗。例如,背散射电子数据集可以揭示表面电子二维基板图像中被错误识别为矿物的油母岩,其灰度级值低于在背散射电子二维基板图像中被正确标注为矿物的区域。这种差别可以被利用来校正正在表面电子二维基板图像中被错误标注为矿物的油母岩,同时不会对矿物产生影响。

[0053] 在图 6 的方块示意图中,显示了本方法的主要处理步骤,其使用双掩膜来校正双集合图像数据。在步骤 101 中,采用此处所示的 FIB-SEM 扫描样品的表面。在步骤 102 中,采用诸如在此所指出的多个检测器所捕获的 SEM 图像的双集合图像数据信号被记录(例如,在电子光柱的电子束沿着与其光轴垂直的两个方向扫描以及检测二次和背散射电子过程中)。在连续步骤 103 中,该双集合图形数据被存储在图像存储器中。在图像数据集合在步骤 103 中被记录期间,可以在步骤 104 中从样品去除切片,诸如通过采用聚焦离子束对样品进行干刻蚀或溅射。这些步骤 101-104 被重复所需要的次数,该重复采用回归箭头 104A 代表,直到在存储器中存储了所期望的多个双集合图像数据为止。在步骤 103 中记录了双集合图像数据的所需次数之后,在步骤 105 中堆叠双结合图像数据,并随后在步骤 106 中进行对齐。在步骤 107 中,分析(例如分割)这些图像以便在这些图像初步将物相位置分配给,诸如例如用于某些岩石样品的孔隙、油母岩以及矿物。在步骤 108 和 109 中,发展一些掩膜用于校正已经被错误分配为油母岩的孔隙空间以及已经被错误分配为矿物的油母岩。在步骤 110 中,使用所述掩膜对图像集合之一进行变更或校正。在已经执行了上述步骤之后,可以获得用于生成高分辨率 3D 图像的足够的信息并根据通常和已知显示方法显示。

[0054] 参照图 7-13 提供了本发明的方法的校正数字图像的双掩膜方法的实例。在该图释中,采用源自 Carl Zeiss SMT AG(德国奥伯科亨)的 AURIGA® CROSSBEAM® FIB-SEM 工作站对页岩岩石进行扫描。可以使用不同扫描模态的其他组合,包括其中在别处指出的任何模态。在本实例中,采用与 FIB-SEM 设备仪器使用的 SE2 检测器和 ESB 检测器同时获取双信号。基于所述样品的所检测表面电子记录图像数据,并且该图像数据被存储为二维图像,该二维图像包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值。在扫描期间基于由样品所发射的被检测背散射电子记录独立的图像数据集合,并且该图像数据集合被存储为二维图像,该二维图像包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值。这些二维图像提供了与所扫描样品相关联的双集合图像数据。居于双表面电子背散射电子检测获得的所述二维图像每个都可以以先前提到的方式被堆叠和对齐。随后可以分析双集合图像数据以便将二维灰度级图像中的像素分配给孔隙空间、油母岩或矿物,以便形成被基础分析的二维图像。商业数据可视和分析软件可以被修改用于执行所述分析,诸如被计算机处理的分割例程。分割例程例如可以是数据可视和分析软件的工具和模块,被

改编以便执行此处所述的分析。

[0055] 作为一个选项,提供了一些例程,其使用 ESB 数据作为第二图像集合来增强在作为初始图像集合的 SE2 数据中被标注为孔隙和油母岩物相的精度。根据 ESB 数据创建两个掩膜用于两种用途。作为一种用途,在其中源自更深切片的在孔隙内的材料显露在油母岩灰度级范围内的位置将油母岩重新标注为孔隙。对与 SE2 数据同时获取并与其对齐的 ESB 的接近检查可以揭示,在孔隙已经被错误标注为油母岩区域中,ESB 数据的灰度级值显著高于被正确标注为油母岩的区域。如所指明的,该差别被利用来校正被错误标注为油母岩的孔隙度,同时不会对真实油母岩留下影响。作为另一种用途,在其中在诸如通过 FIB-SEM 设备进行的扫描期间油母岩已经冲填到灰度级范围内的位置将矿物重新标注为油母岩。如所指明的,被用于校正孔隙度的相同 ESB 数据集合可以被用于校正油母岩,其中应该是油母岩的所分割的矿物相在 ESB 数据集合中的灰度级值显著低于被正确标注为矿物的区域。在所述表面电子数据中被错误标注为矿物的油母岩被校正,同时不会对真实矿物留下影响。

[0056] 例如,图 7A 显示了 SE2 图像而图 7D 显示了 ESB 图像,它们针对样品的相同表面区域获取并被空间对齐。图 7B 和 7C 是在图 7A 中被标记的具有对应形状的放大的区域的图像。图 7E 和 7F 是在图 7D 中被标记的具有对应形状的放大的区域的图像。使用数据可视和分析软件来分割 SE2 数据集合以便生成基础分割。ESB 数据集合还可以被分割以便产生两个掩膜,其将被用于更改根据所述 SE2 数据集合产生的基础分割。

[0057] 图 8A-8F 包括与图 7A-7C 对应的 8A-8C,图 8D-8F 显示了对图像执行基础分割之后的图像。某些孔隙空间(黑色)已经被错误标注为油母岩(灰色),因为 SE2 数据获取自孔隙空间内部(例如参见图 8A、8B、8D 以及 8E 中以某一角度指向左上方向的箭头),以及某些油母岩(灰色)已经被错误标注为矿物(白色),因为其在扫描期间已经冲填(例如参见沿着水平方向指向图 8A、8C、8D 以及 8F 的左方的箭头)。

[0058] 图 9A 和 9B 为一种方法的实例,用于创建第一掩膜以便在信号正从孔隙内测读取的位置将油母岩重新标注为孔隙。图 9A 对应于图 7D,而图 9B 显示了所创建掩膜的实例。图 9A 中所示的 ESB 被分析以便选择具有灰度级值以及仅有高于在 SE2 图像中代表真实油母岩的那些灰度级值的灰度级值的所有像素,这些在图 9B 中采用“sea”区域表示。在其中信号正从孔隙内获取的位置的灰度级值比在其中出现真实油母岩的位置中的灰度级值高,因此能够将这些区域重新标注为孔隙而不用重新标注那些是真实油母岩的区域。例如,仅有其灰度级值超过用于真实油母岩的预选灰度级阈值的像素在定义第一掩膜时被选择。

[0059] 图 10A-10B 包括与图 7D 对应的图 10A,并且图 10B 显示了第二掩膜的实例,其响应于 FIB-SEM 扫描程序被创建,以便在其中油母岩已经冲填为不同于真实油母岩的灰度级值的位置中将矿物重新标注为油母岩。创建所述第一和第二掩膜的顺序不受限制。图 10A 中的 ESB 数据被分析以便选择所有灰度级值和仅仅低于在 SE2 图像中代表真实矿物的灰度级值,这通过图 10B 中添加的阴影来表示。例如,可以通过仅仅选择其灰度级值低于用于矿物的预选灰度级阈值的像素进行对多个双结合图像数据的 ESB 二维图像的分析以便定义第二掩膜。由于与 SE2 数据集合相比,冲填(charging)与 ESB 数据集中的问题(issue)不一样多,因此能够选择 ESB 数据集合中的油母岩的被冲填区域,该区域在 SE2 数据集合中不能被分割为油母岩。不过,由于数据集合的边缘可能稍微有些模糊(fuzzy)并且分辨率较低,源自 ESB 数据集合的油母岩物相可以使用但是不是最优方案。例如,诸如使用所述的数

据可视和分析软件从 SE2 数据集合中分割边缘,同时 ESB 数据可以仅仅被用于填充这些边缘内部的被冲填区域。

[0060] 图 11A-11I 包括三套图像,其显示了根据 ESB 图像创建的两个掩膜对所获得分割产生的效果。图 11A-11C 中的 SE2 数据集合对应于图 8A-8C 的 SE2 数据集合,而图 11D-11F 中的数据集合对应于图 8D-8F 中的数据集合。所述倾斜和水平箭头表示如之前图 8A-8F 中所讨论的相同区域。在图 11H 中,在倾斜箭头附近的孔隙空间内的油母岩已经被适当地重新标注为孔隙,并且在图 11I 中,在水平箭头附近的矿物已经被重新标注为油母岩。基于 SE2 图像数据的被基础分析的二维图像因此被第一掩膜和第二掩膜更改和校正。在基于 SE2 数据的被基础分析的二维图像中使用第一掩膜将一些像素从油母岩重新分配为孔隙空间。而在基于 SE2 数据的被基础分析的二维图像中使用第二掩膜将一些像素从矿物重新分配为油母岩。

[0061] 图 12A-12C 分别是在图 11B、11E 以及 11H 中所示的箭头附近的孔隙空间的三个放大视图,其中图 12A 中显示了 SE2 数据集合,图 12B 中显示了基础分割,而在图 12C 中显示了经过两个掩膜校正后的基础分割。

[0062] 图 13 中所示的表 1 显示了其中使用有经验的分析人士来人工分析图像以便分割 FIB 数据集合的比较方法和所述本发明方法之间在总的孔隙度和油母岩体积百分比方面所获得结果的比较。油母岩的值根据样品的属性而增加或下降。如该结果所示,在某些情况下,人工方法严重低估了样品的总孔隙度并且在所有情况下至少有一定程度的低估。

[0063] 尽管为了简化阐述的目的,其仅仅显示了对样品的单一切片所捕获和校正的图像,但是应该理解到,所述的 FIB-SEM 工作站能够被用于通过对准样品的离子束从样品上去除连续层,以便提供在样品上的不同的被暴露表面,并且所述不同的被暴露切片可以被扫描,并且可以针对每个切片捕获双集合图像数据用于此处所示的对齐、分析以及校正。可以采用所获得被校正的图像的堆叠来创建 3D 体积。本申请的系统可以包括至少一个设备来显示、打印或存储扫描结果、被处理图像、被校正图像或其他结果。例如,最终导致的 3D 体积可以被显示(例如显示在 LED 显示器、LCD 显示器、CRT 显示器、HD 显示器、等离子屏幕或其他显示器上)、被存储在存储器中、采用打印机(例如逐个切片地)被打印、或其这些方式的任何组合。

[0064] 在本方法中提供的对图像数据集合进行的所述分析和校正能够以高自动方式进行。程序模块可以被编程到数据可视和分析软件中,例如用于执行该操作。程序产品可以存储于非瞬态计算机可读介质上,其在被执行时能够使得计算机架构执行至少所述的叠放、对齐以及图像校正步骤。计算机可读介质可以包括嵌入一个或多个便携式存储制品(例如记忆棒、闪存、DVD、光盘、磁盘、磁带等)、诸如存储器和/或其他存储系统的计算设备的一个或多个数据存储部分中的程序,和/或作为在 LAN 或英特网网络上运行的数据信号的程序(例如在程序产品的有线/无线电子分布过程中)。就这种程度而言,程序产品的部署可以包括以下一种或多种:(1) 从计算机可读介质在诸如计算机的计算设备上安装程序代码、(2) 将一个或多个计算设备添加到计算机架构上以及(3) 合并和/或修改计算机架构中的一个或多个现有系统以便使得计算机架构能够执行本发明的处理。程序代码能够作为一种或多种类型的程序产品被嵌入,诸如应用/软件程序、分软件/函数库、操作系统、用于特殊计算的基本 I/O 系统/驱动器和/或 I/O 设备等。

[0065] 本方法的技术优点是更精确的分割以及在所有所获得的 2D 和 3D 图像产品中更高的精度。分割本身可重复并且在多个用户之间具有更高的一致性。分割更不可能丢失例如岩石样品中的孔隙度和油母岩, 并因为减少和避免了对人工标注材料的需要, 具有更强的可重复性。因此能够增强所计算属性的结果质量。分割处理比人工方法更短并因此更有效。本发明的经济效益为在更短时间周期内高质量和更高的一致性结果。使用相同的人力资源可以完成更多样品的检测。在给定时间内使用相同人力资源能够完成更多项目, 因为本发明的方法能够降低分割 FIB 数据集所需的时间同时减少对人工标注样品图像的物相的需要。

[0066] 本发明还包括采用任何顺序和 / 或任何组合的下述方面 / 实施例 / 特征 :

[0067] 1. 本发明涉及一种用于生成样品的多维图像的方法, 包括 :

[0068] 采用第一图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第一二维基板图像, 其中至少一种材料在所述表面区域处的位置被捕获 ;

[0069] 采用不同于第一图像捕获模态的第二图像捕获模态捕获所述样品的表面区域的第二二维基板图像, 其中与所述第一图像捕获模态相比, 针对至少一种材料在所述表面区域处的位置, 所述第二图像捕获模态提供了更高的精度 ;

[0070] 基于所述第二二维基板图像, 空间对齐所述第一二维基板图像 ;

[0071] 基于在所述第二二维基板图像中的至少一种材料在所述表面区域处的位置, 生成第一校正的二维基板图像。

[0072] 2. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法, 其中所述第一校正的二维基板图像包括由与采用第一模态被测量时相比就识别该第一材料而言具有更高精度的第二模态确定的第一材料含量和由与第二模态相比就识别第一二维图像中的孔隙度而言具有更高精度的第一模态确定的样品的孔隙度含量。

[0073] 3. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法, 其中所述生成包括 :

[0074] 识别与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置 ; 以及

[0075] 校正与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置, 以便生成所述第一校正的二维基板图像。

[0076] 4. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法, 还包括 :

[0077] a) 在捕获第一和第二二维基板图像之后去除所述样品在所述表面区域的层, 以便暴露所述样品的不同表面区域 ;

[0078] b) 采用所述第一图像捕获模态捕获在所述不同表面区域处的第一二维基板图像 ;

[0079] c) 采用所述第二图像捕获模态捕获在所述不同表面区域处的第二二维基板图像 ;

[0080] d) 多次重复步骤 a)、b) 以及 c) ;

[0081] e) 基于所述第二二维基板图像空间对齐所述第一二维基板图像 ;

[0082] f) 对每个不同表面区域, 识别与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置 ;

[0083] g) 对每个不同表面区域, 校正与所述至少一种材料在所述第二二维基板图像中的

位置对应的所述至少一种材料在所述第一二维基板图像中的位置,以便生成第二校正的二维基板图像;

[0084] h) 采用所校正的二维基板图像生成三维基板体积。

[0085] 5. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述生成包括:基于通过与背散射电子基板图像比较而被校正的表面电子二维基板图像确定所述基板的孔隙度。

[0086] 6. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述第一图像捕获模态包括通过带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过检测由所述样品发射的二次(表面)电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为与所述第一二维基板图像对应的第一集合的图像数据,以及

[0087] 其中所述第二图像捕获模态包括:

[0088] i) 通过所述带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过检测由所述样品发射的背散射电子记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为与所述第二二维基板图像对应的第二集合的图像数据,或者

[0089] ii) 通过带电粒子束扫描所述样品的表面区域和通过采用能量色散谱仪检测由所述样品发射的 x 射线记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为第二集合的图像数据。

[0090] 7. 一种创建三维体积的方法,包括:

[0091] 捕获多个表面电子二维基板图像;

[0092] 捕获多个背散射电子二维基板图像;

[0093] 确定所述多个背散射电子基板的图像的对齐,用于生成三维体积;

[0094] 使用所述多个背散射电子基板的图像的对齐,根据所述表面电子二维基板图像生成三维基板体积。

[0095] 8. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述捕获步骤采用包括表面电子检测器和背散射电子检测器的电子显微镜。

[0096] 9. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述电子显微镜是能够采用初级带电粒子束扫描基板的扫描电子显微镜(SEM),其中所述基板发射可分开检测的表面电子和背散射电子。

[0097] 10. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,还包括:

[0098] 在捕获第一表面电子二维基板图像和第一背散射电子二维基板图像之后以及在捕获第二表面电子二维基板图像和第二背散射电子二维基板图像之前,去除所述基板的层。

[0099] 11. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中在捕获第二表面电子二维基板图像和第二背散射电子二维基板图像之后重复所述去除层的步骤,并且在每个随后的表面电子和背散射电子图像集合捕获之后重复所述去除步骤直到至少在倒数第二个图像集合捕获之后为止。

[0100] 12. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述去除包括通过聚焦离子束进行干刻蚀、溅射或其任何组合。

[0101] 13. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,还包括:

[0102] 基于通过与多个背散射电子基板图像比较而被校正的一系列表面电子二维基板

图像确定所述基板的孔隙度。

[0103] 14. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述基板包括至少一块岩石或矿物。

[0104] 15. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述基板为页岩、泥岩、粉砂岩、粘土岩、瓷状岩、白云岩或其组合。

[0105] 16. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述基板包括页岩。

[0106] 17. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,还包括:

[0107] 根据所述背散射电子三维基板图像确定所述基板的有机夹杂物含量。

[0108] 18. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中有机夹杂物包括油母岩。

[0109] 19. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,还包括以下至少一个:

[0110] 在屏幕上显示所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子三维基板图像,打印所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子三维基板图像,以及在存储器件中存储所述表面电子基板三维图像和所述背散射电子基板三维图像。

[0111] 20. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所述体积根据具有大约 1 纳米到大约 30 纳米的边长的三维像素生成。

[0112] 21. 根据前述或随后实施例/特征/方面所述的方法,其中所去除的层的厚度为大约 1 纳米到大约 30 纳米。

[0113] 22. 一种创建三维体积的方法,包括:

[0114] 捕获多个表面电子二维基板图像;

[0115] 捕获多个背散射电子二维基板图像;

[0116] 确定所述多个背散射电子基板的图像的对齐,用于生成三维体积;

[0117] 使用所述多个表面电子二维基板图像的对齐,根据所述背散射电子基板的图像生成三维基板体积。

[0118] 23. 一种生成样品的三维数字图像的方法,包括步骤:

[0119] a) 通过由电子源生成的初级电子束扫描样品的表面,其中所述样品包括油母岩和矿物,以及 (i) 基于检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像,以及 (ii) 基于在所述扫描期间检测所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像,其中所述第一和第二二维图像提供了与所扫描表面相关联的双集合图像数据;

[0120] b) 采用对准所述样品的离子束从所述样品去除一层,以便提供所述样品上的不同被暴露表面;

[0121] c) 采用所述初级电子束扫描所述样品的不同被暴露表面,并重复步骤 a) (i) 和 a) (ii),以便提供与所述不同被暴露表面相关联的双集合图像数据;

[0122] d) 多次重复所述步骤 b) 和所述步骤 c);

[0123] e) 通过按照从样品获得顺序相同的顺序放置各个第一和第二二维图像而叠放根据步骤 a) 和步骤 d) 获得的多个所述双集合图像数据;

- [0124] f) 参照所述第二二维图像对齐所述第一二维图像；
- [0125] g) 分析所述多个双集合图像数据的所述第一和第二二维图像，包括将所述像素分配给孔隙空间或油母岩，以便形成被分析的第一和第二二维图像；
- [0126] h) 在所述双集合图像数据中，识别在被分析的第一二维图像中被分配给油母岩而被分析的第二二维图像中未被分配给油母岩的像素；以及
- [0127] i) 将在步骤 h) 中所识别的像素重新分配给与所述双集合图像数据相关联的被分析的第一二维图像中的孔隙空间。
- [0128] 24. 一种用于生成样品的三维数字图像的方法，包括步骤：
- [0129] a) 通过由电子源生成的初级电子束扫描样品的表面，其中所述样品包括空隙、油母岩和矿物，以及 (i) 基于检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像，以及 (ii) 基于在所述扫描期间检测所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像，其中所述第一和第二二维图像提供了与所扫描表面相关联的双集合图像数据；
- [0130] b) 采用对准所述样品的离子束从所述样品去除一层，以便提供所述样品上的不同被暴露表面；
- [0131] c) 采用所述初级电子束扫描所述样品的不同被暴露表面，并重复步骤 a) (i) 和 a) (ii)，以便提供与所述不同被暴露表面相关联的双集合图像数据；
- [0132] d) 多次重复所述步骤 b) 和所述步骤 c)；
- [0133] e) 通过按照从样品获得顺序相同的顺序放置各个第一和第二二维图像而叠放根据步骤 a) 和步骤 d) 获得的多个所述双集合图像数据；
- [0134] f) 参照所述第二二维图像对齐所述第一二维图像；
- [0135] g) 基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像，包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物，以便形成基础被分析的第一二维图像；
- [0136] h) 第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像，包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素，以便限定第一掩膜；
- [0137] i) 第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像，包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素，以便限定第二掩膜；
- [0138] j) 采用第一掩膜和第二掩膜变更所述基础被分析的第一二维图像，包括在所述基础被分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间以及在所述基础被分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。
- [0139] 25. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法，其中在步骤 b) 中的去除层包括沿着几乎垂直于所述样品的前次被暴露的表面的方向跨过所述样品进行离子铣削，以便去除从 1 纳米到大约 5 纳米的几乎一致厚度的一层。
- [0140] 26. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法，其中所述样品包括至少一种岩石或矿物。
- [0141] 27. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法，其中所述样品为页岩、泥岩、粉砂岩、粘土岩、瓷状岩、白云岩或其组合。

[0142] 28. 根据前述或随后实施例 / 特征 / 方面所述的方法, 还包括步骤 k), 对由步骤 j) 产生的样品的被调和图像, 计算总的空隙空间百分比以及总的油母岩百分比。

[0143] 29. 一种用于生成样品的三维数字图像的系统, 包括:

[0144] a) 带电粒子显微镜, 包括

[0145] 扫描电子束柱, 包括用于生成初级电子束的电子源

[0146] 离子束柱, 用于跨过样品生成聚焦离子束以便沿着样品的厚度方向依次去除其一薄层, 并暴露该样品的不同表面以便用于由初级电子束进行扫描;

[0147] 第一带电粒子检测器, 用于在样品被所述初级电子束扫描时检测所述样品的表面电子;

[0148] 第二带电粒子检测器, 用于检测由所述被扫描样品所发射的背散射电子,

[0149] b) 第一信号处理系统, 用于基于由所述第一带电粒子检测器检测所述样品的表面电子来记录第一图像数据以及将所述第一图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第一二维图像, 以及第二信号处理系统, 用于基于在所述扫描期间由所述第二带电粒子检测器检测的由所述样品发射的背散射电子来记录第二图像数据以及将所述第二图像数据存储为包括被分配给该图像中的多个像素的每一个的灰度等级值的第二二维图像, 其中所述第一和第二二维图像提供了与所述不同暴露表面相关联的双集合图像数据;

[0150] c) 计算机, 包括至少一个处理器, 可操作用于执行计算机程序, 该计算机程序能够执行计算以便创建所述样品的三维数字表征, 其中所述计算包括:

[0151] 通过按照从样品获得顺序相同的顺序对齐放置各个第一和第二二维图像而叠放通过第一和第二处理系统获得的多个所述双集合图像数据;

[0152] 基础分析所述多个双集合图像数据的所述第一二维图像, 包括将所述像素分割为孔隙空间、油母岩或矿物, 以便形成基础被分析的第一二维图像;

[0153] 第一分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像, 包括仅仅选择灰度等级值超过用于油母岩的预选灰度等级阈值的像素, 以便限定第一掩膜;

[0154] 第二分析所述多个双集合图像数据的所述第二二维图像, 包括仅仅选择灰度等级值低于用于矿物的预选灰度等级阈值的像素, 以便限定第二掩膜; 以及

[0155] 采用第一掩膜和第二掩膜变更所述基础被分析的第一二维图像, 包括在所述基础被分析的第一二维图像中使用第一掩膜将像素从油母岩重新分配到孔隙空间以及在所述基础被分析的第一二维图像中使用第二掩膜将像素从矿物重新分配到油母岩。

[0156] 本发明可以包括上述和 / 或下面以句子和 / 或段落给出的这些各种特征或实施例的任何组合。此处所披露的特征的任何组合都被认为是本发明的部分, 并且并不意图对可组合的特征进行限制。

[0157] 申请人特别将所有引用的文件的整个内容包含在本公开中。而且, 当数量、浓度或其他值和参数以某一范围、优选范围或上限优选值或下限优选值的列表形式给出时, 这将被认为具体披露了由成对的任何上范围限值或优选值与任何下范围限值或优选值形成的所有范围, 而不管这些范围是否被独立披露过。如果在此提到了一个范围的数字值, 除非有相反的表述, 该范围意图包括其端点以及该范围内的所有证书和小数。并不意图将本发明的范围限定到在定义范围时所叙述的具体值。

[0158] 本领域的技术人员将清楚,在不偏离本发明的精神或范围的情况下,可对这些实施例进行各种修改和改变。因此,只要本发明的其他修改和改变都在服后的权利要求和其等同物的范围内,本发明意图涵盖本发明的这些其他修改和改变。

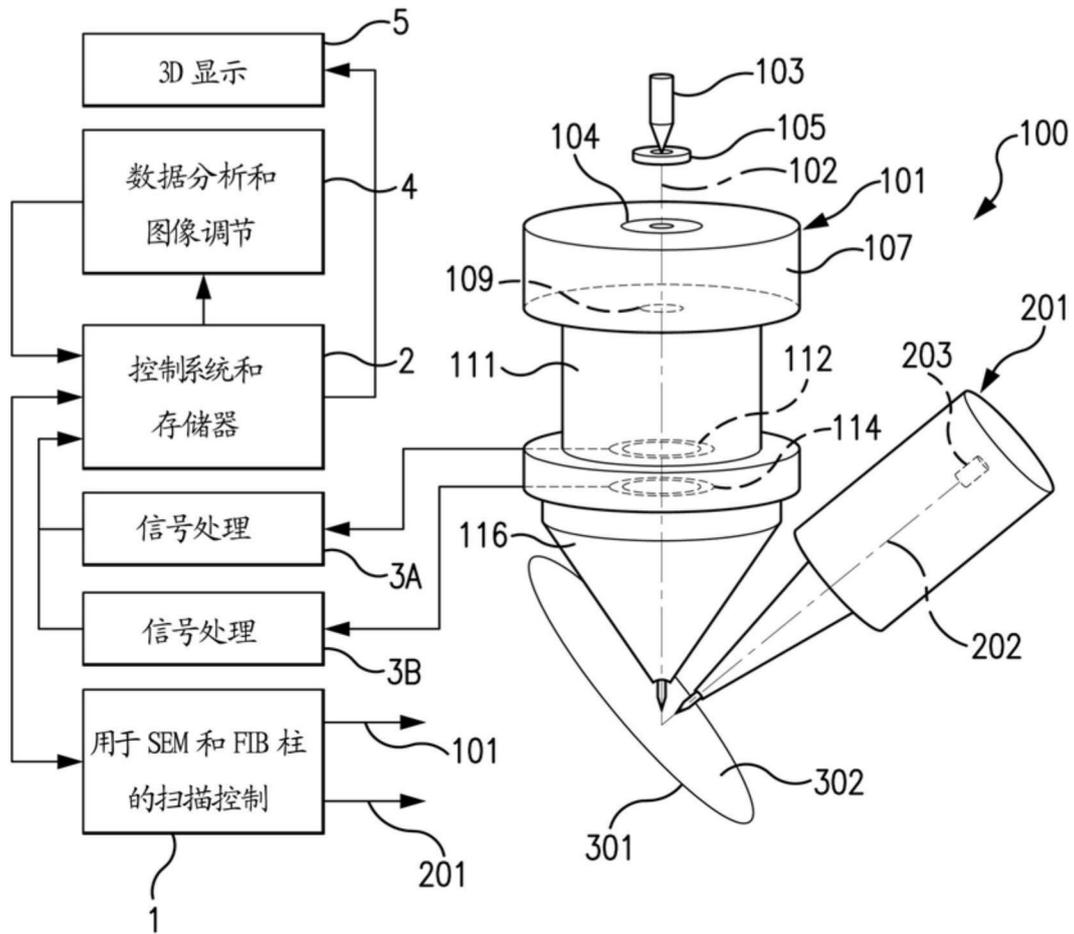


图 1

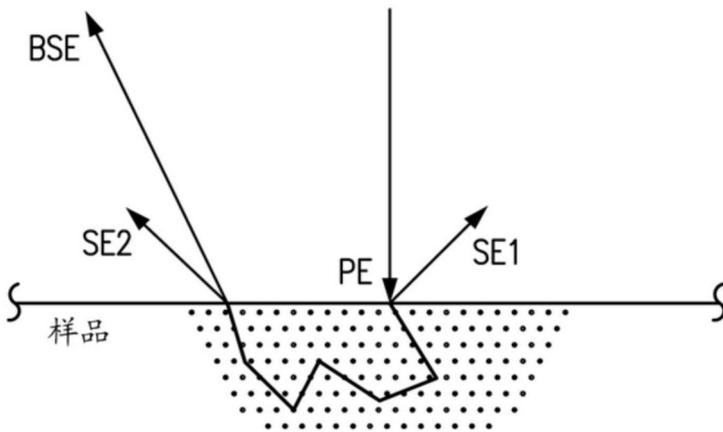


图 2

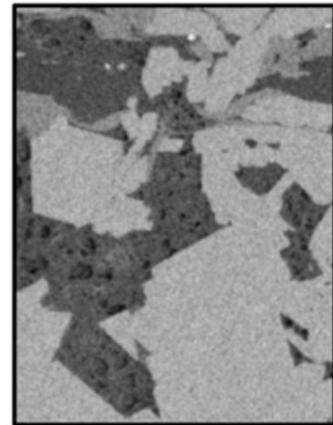


图 3A

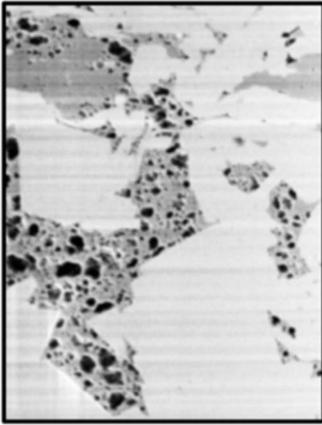


图 3B

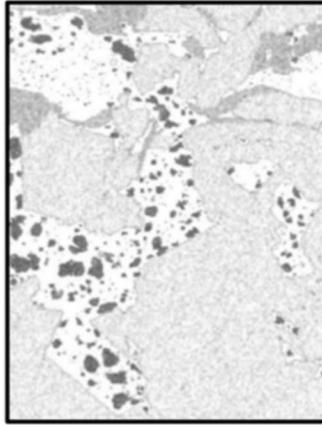


图 4A

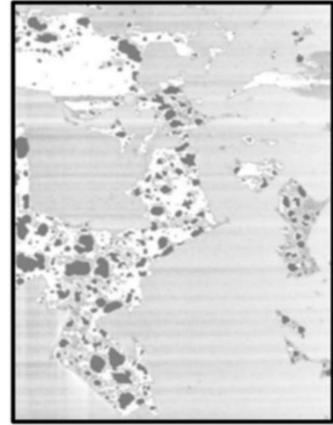


图 4B

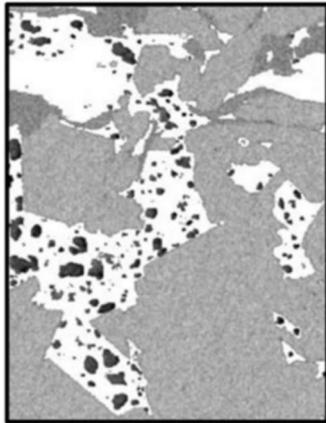


图 5A

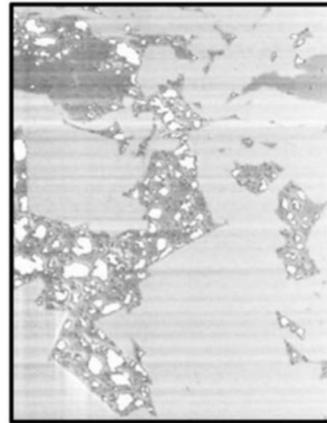


图 5B

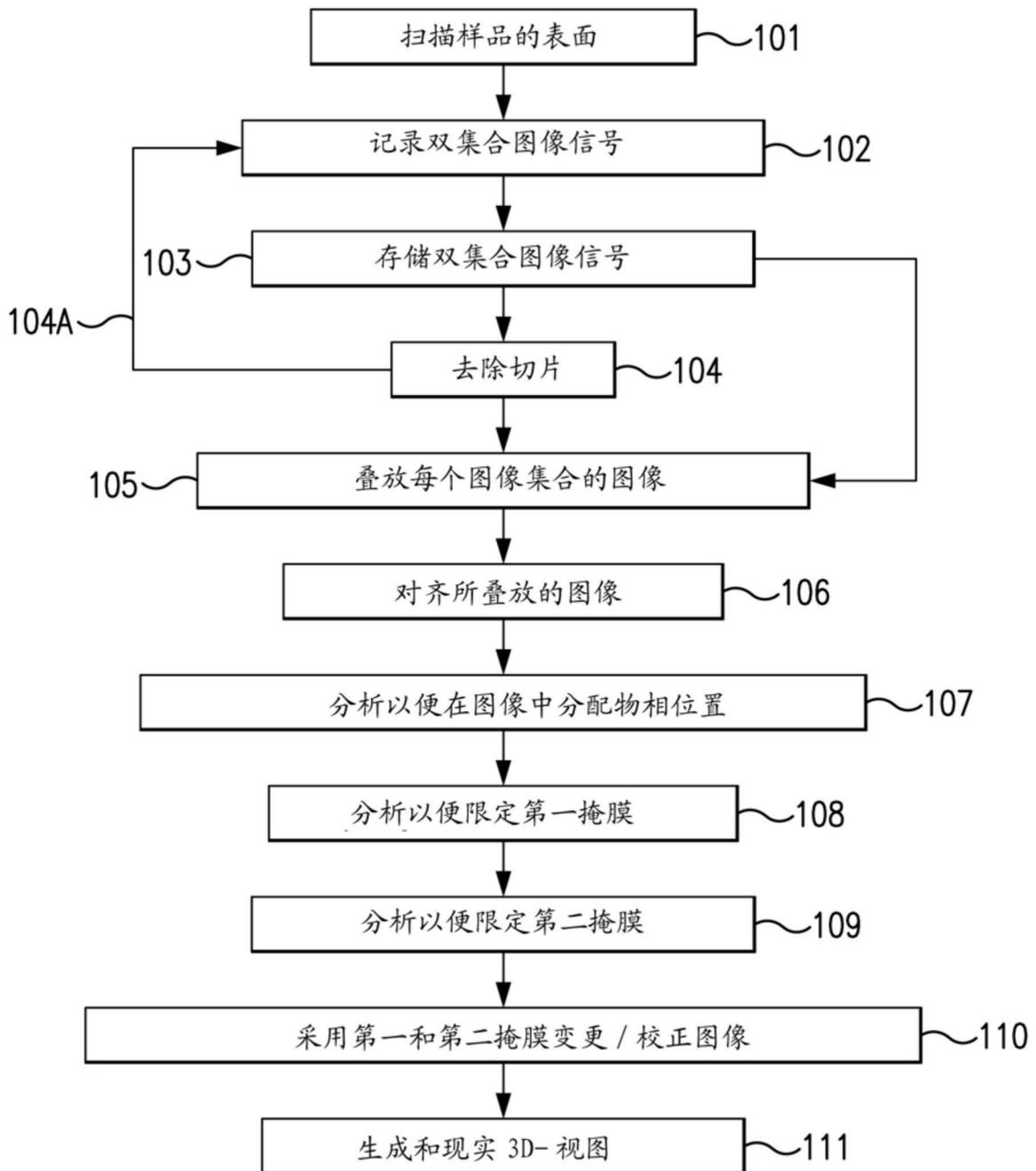


图 6

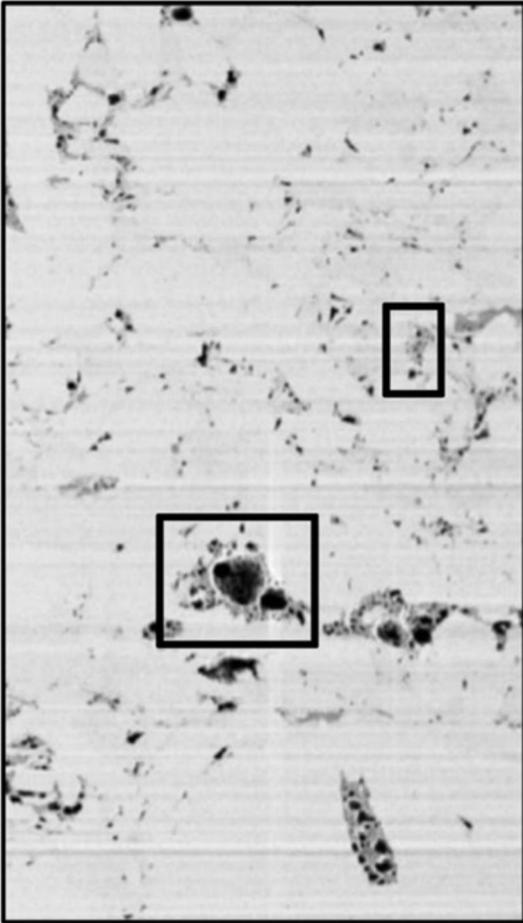


图 7A

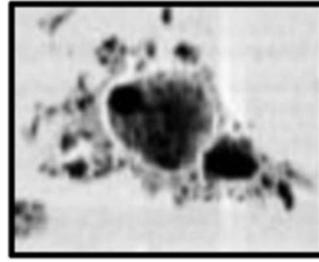


图 7B

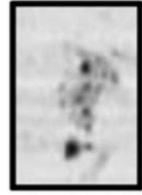


图 7C

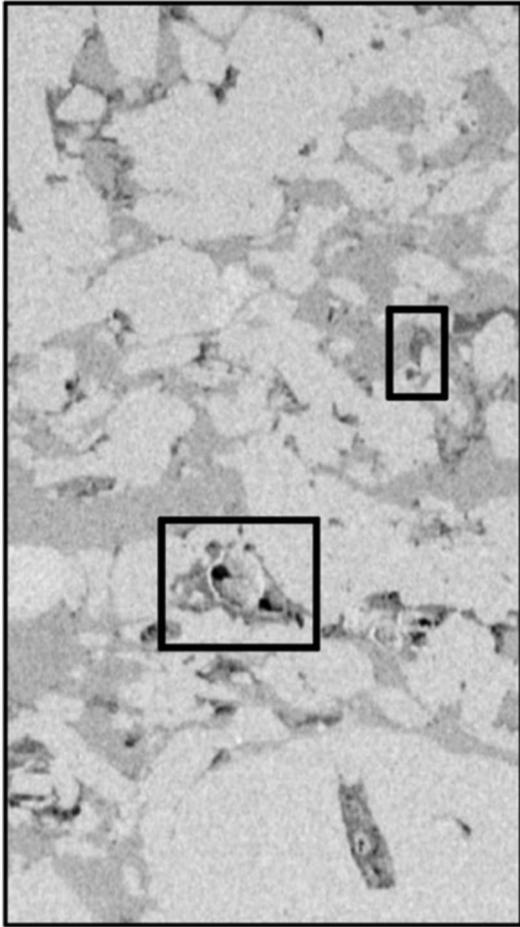


图 7D

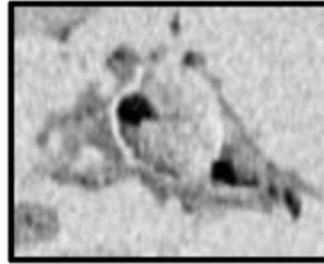


图 7E

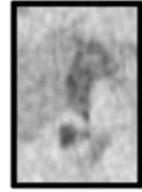


图 7F

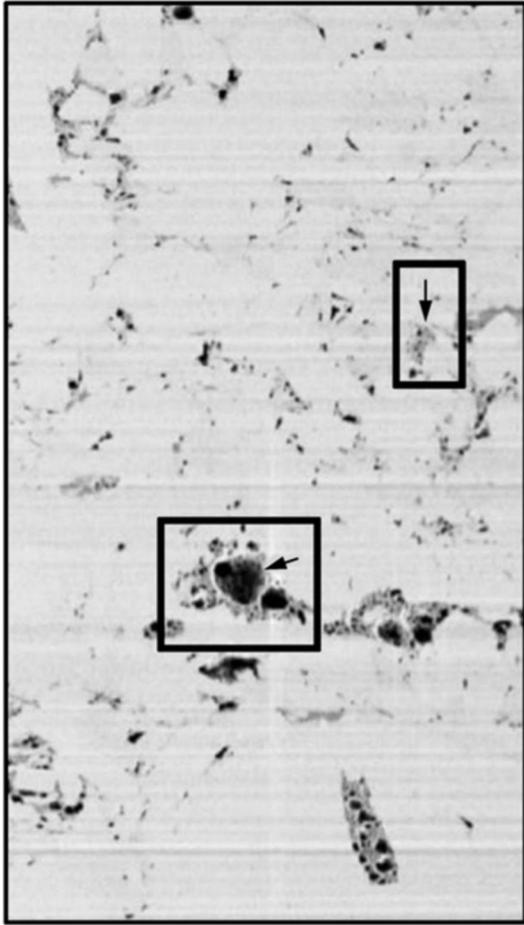


图 8A

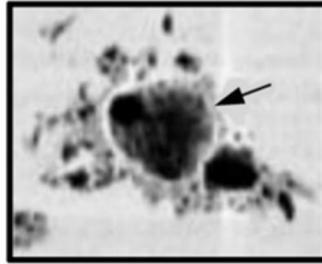


图 8B

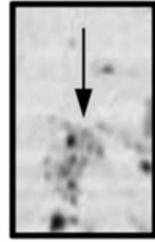


图 8C

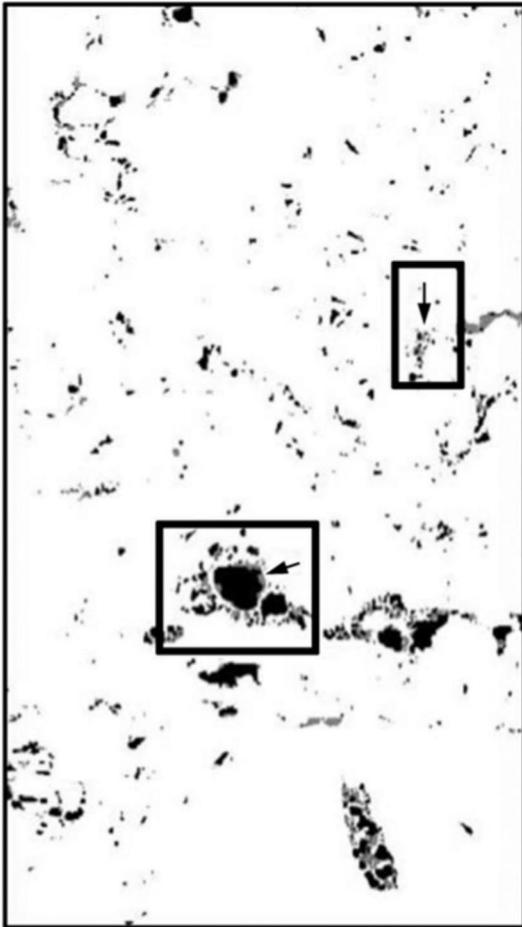


图 8D

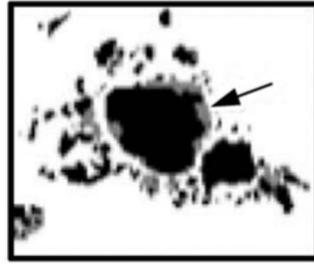


图 8E

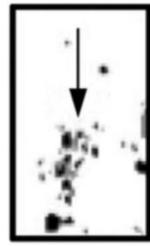


图 8F

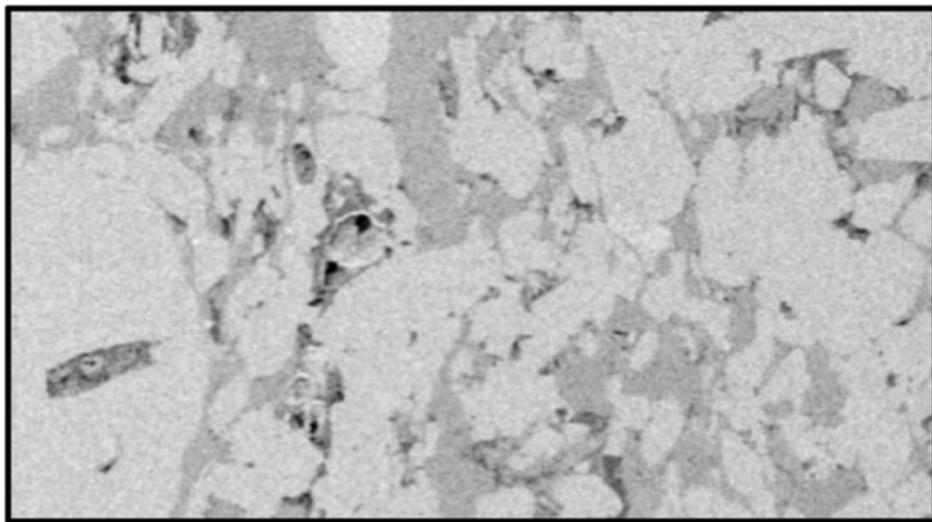


图 9A

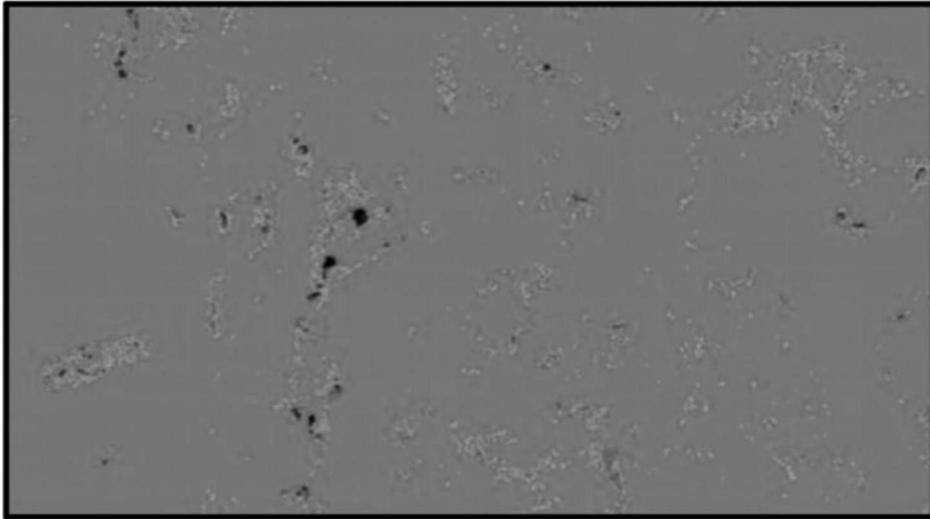


图 9B

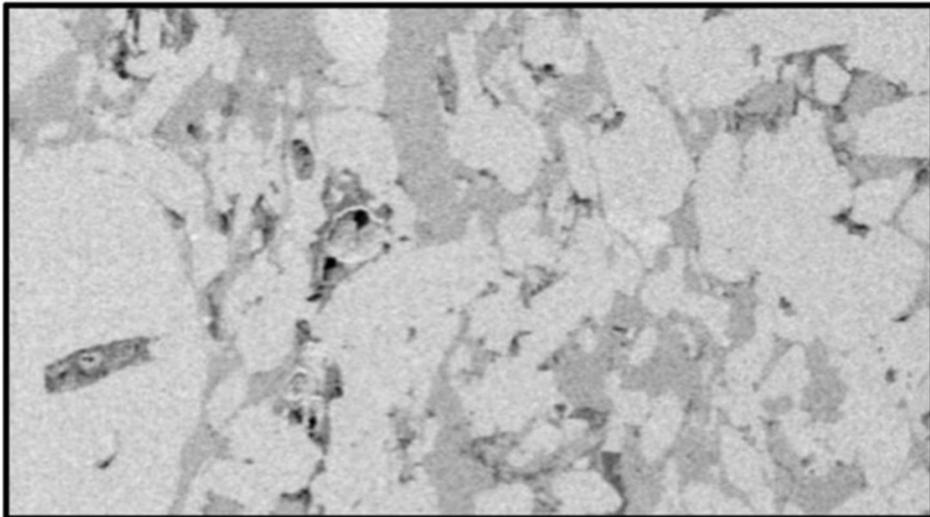


图 10A

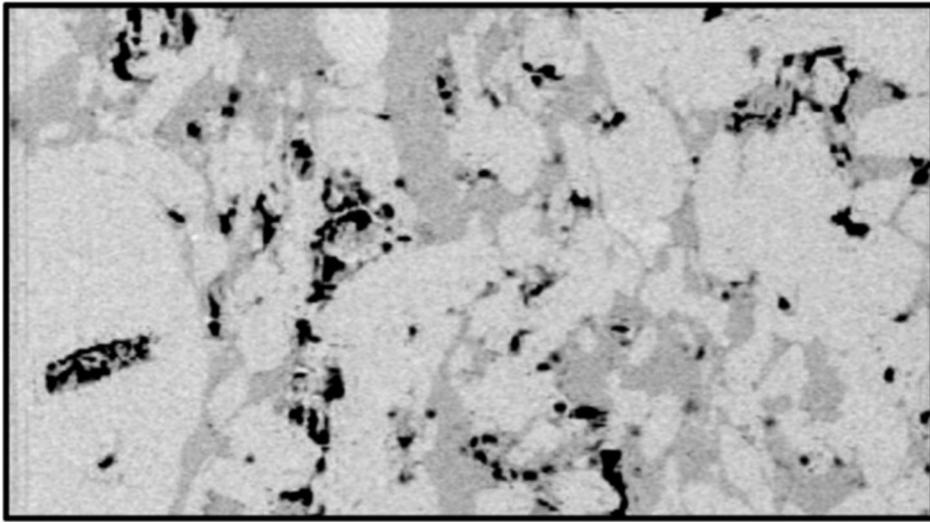


图 10B

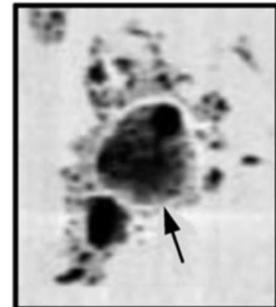
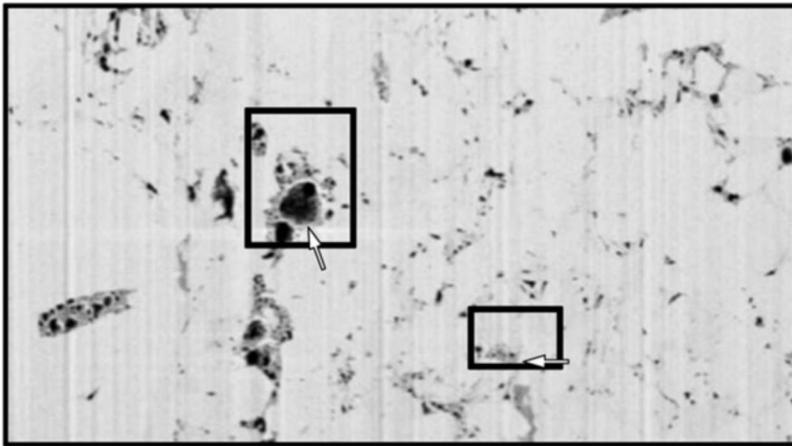


图 11B

图 11A

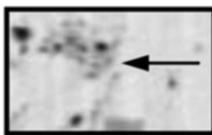


图 11C

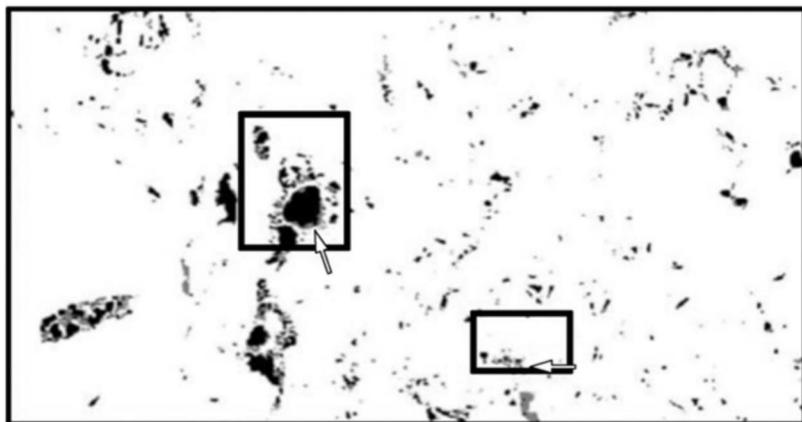


图 11D

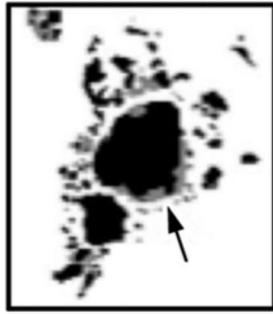


图 11E

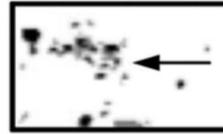


图 11F

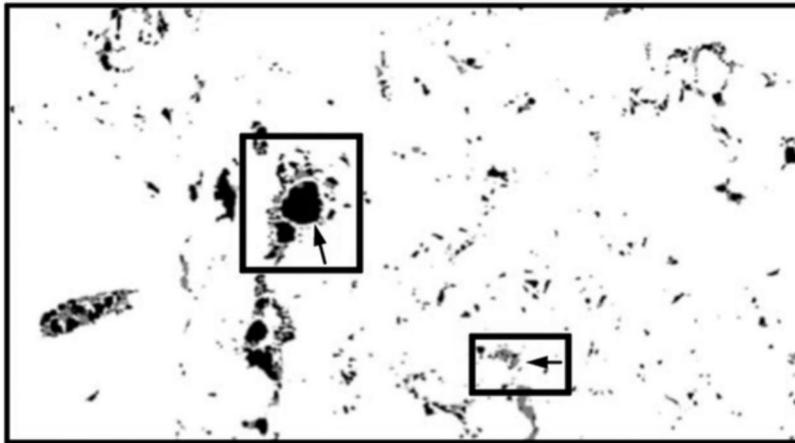


图 11G



图 11H

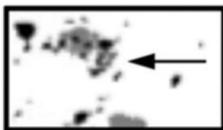


图 11I

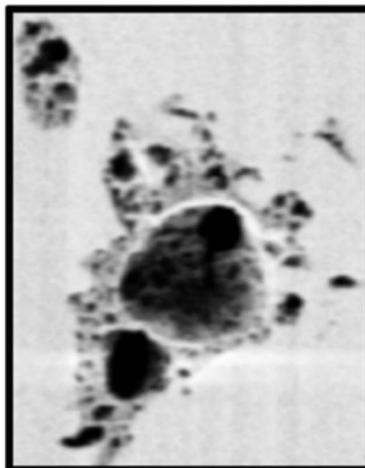


图 12A



图 12B



图 12C

表 1: 人工方法和本发明方法的比较

样品	人工方法		本发明方法	
	孔隙度	油母岩	孔隙度	油母岩
1	0.0077	0.0090	0.0116	0.0077
2	0.0488	0.0260	0.0668	0.0140
3	0.0112	0.0110	0.0191	0.0150
4	0.0135	0.0740	0.0273	0.0173
5	0.0231	0.0590	0.0361	0.0283
6	0.0089	0.0390	0.0151	0.0207
7	0.0246	0.0220	0.0284	0.0314
8	0.0491	0.2950	0.0706	0.2355
9	0.0562	0.1230	0.0621	0.1256

所有值表达为体积百分比

图 13