

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-89093

(P2010-89093A)

(43) 公開日 平成22年4月22日 (2010.4.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B O 1 D 61/48 (2006.01)	B O 1 D 61/48	4 D 0 0 6
C O 2 F 1/469 (2006.01)	C O 2 F 1/46 1 O 3	4 D 0 6 1
B O 1 D 61/46 (2006.01)	B O 1 D 61/46	

審査請求 有 請求項の数 8 O L 外国語出願 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2009-284654 (P2009-284654)	(71) 出願人	390019585
(22) 出願日	平成21年12月16日 (2009.12.16)		ミリポア・コーポレーション
(62) 分割の表示	特願2004-115242 (P2004-115242) の分割		MILLIPORE CORPORATION
原出願日	平成16年4月9日 (2004.4.9)		アメリカ合衆国01821マサチューセツ
(31) 優先権主張番号	462346		州ビレリカ、コンコード・ロード290
(32) 優先日	平成15年4月11日 (2003.4.11)	(74) 代理人	100062007
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 川口 義雄
		(74) 代理人	100103920
			弁理士 大崎 勝真
		(74) 代理人	100124855
			弁理士 坪倉 道明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気脱イオン化装置

(57) 【要約】

【課題】大容量の水の超高純度脱イオン化のための電気脱イオン化装置を提供する。

【解決手段】装置は、生成物ストリームまたは廃棄物ストリームのいずれかが流れる、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の交互のイオン減少および濃縮区画室を備える。各区画室は、適切なイオン交換媒体が詰め込まれた、いくつかの流体アクセス可能なチャネルを含んでいる。区画室間の廃棄物および生成物ストリームの流れは、「並列」（すなわち同時）である。区画室を通る（すなわち区画室のチャネルを通る）ストリームの流れは、「直列」（すなわち順次）である。一実施形態において、電流は、（陽極および/または陰極アセンブリにおいて）単一の複数出力電源に接続される、セグメントに分けられた電極を使用して、区画室を通して発生される。

【選択図】図5

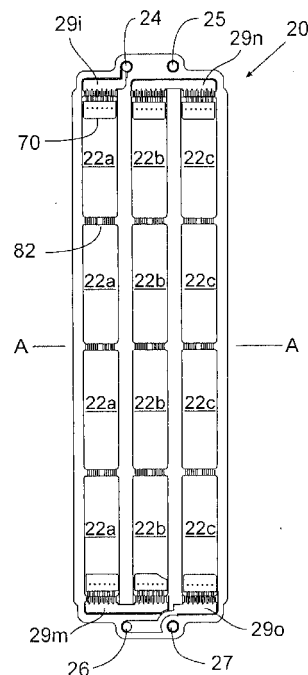


Figure 5

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置を通る第 1 および第 2 の流路が提供され、前記電気脱イオン化装置が、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備え、前記減少区画室および濃縮区画室が、交互の順番で配置され、

前記第 1 の流路が、実質的に同時に、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ各前記減少区画室から流体を放出するように構成され、

前記第 2 の流路が、実質的に同時に、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成され、

各減少区画室が、複数のイオン減少チャンネルを有し、該複数のイオン減少チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン減少チャンネルを通過する流体からイオン放出を可能にすることができ、各減少区画室は、減少区画室に導かれた流体が、各前記イオン減少チャンネルを実質的に順次に流れるように構成され、

各濃縮区画室が、複数のイオン濃縮チャンネルを有し、該複数のイオン濃縮チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン濃縮チャンネルを通過する流体へのイオンの移動を可能にすることができ、各減少区画室は、減少区画室に導かれた流体が、各イオン濃縮チャンネルを実質的に順次に流れるように構成されている電気脱イオン化装置。

【請求項 2】

前記陽極アセンブリまたは前記陰極アセンブリのいずれかが、複数の電極プレートを備えている、請求項 1 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 3】

前記陽極アセンブリが、複数の陽極プレートを備え、

前記陰極アセンブリが、複数の陰極プレートを備えている、請求項 1 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 4】

陽極プレートの数、陰極プレートの数、各減少区画室のイオン減少チャンネルの数、および各濃縮区画室のイオン濃縮チャンネルの数が、同一である、請求項 3 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 5】

前記数が 3 である、請求項 4 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 6】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項 2 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 7】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項 3 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 8】

各減少および濃縮区画室が、実質的モノリシックな熱可塑性枠組みを備えており、前記熱可塑性枠組みが、

(a) 前記それぞれの区画室の前記チャンネルと、

(b) 流体入口および流体出口と、

(c) 前記それぞれの区画室の前記チャンネルを通過することなく、前記それぞれの区画室を流体が通り抜けることをできるようにする第 1 および第 2 の流体バイパスと、

(d) (i) 前記流体入口を前記それぞれの区画室の前部チャンネルに接続し、かつ (i) 前記それぞれの区画室の後部チャンネルを前記流体出口に接続する一連の接続流体経路と、

を画定するように形成されている、請求項 1 に記載の電気脱イオン化装置。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

各前記濃縮区画室および各前記減少区画室の熱可塑性枠組みは、本質的に同一である、請求項 8 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 10】

電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置を通る第 1 および第 2 の流路が提供され、前記電気脱イオン化装置が、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備え、前記減少区画室および濃縮区画室が、交互の順番で配置され、

前記第 1 の流路が、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ各前記減少区画室から流体を放出するように構成され、

前記第 2 の流路が、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成され、

各減少区画室が、複数のイオン減少チャンネルを有し、該複数のイオン減少チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン減少チャンネルを通過する流体からイオン放出を可能にすることができ、

各濃縮区画室が、複数のイオン濃縮チャンネルを有し、該複数のイオン濃縮チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン濃縮チャンネルを通過する流体へのイオンの移動を可能にすることができ、

前記陽極アセンブリまたは前記陰極アセンブリの少なくとも一方が、複数の電極プレートを備えている電気脱イオン化装置。

【請求項 11】

前記陽極アセンブリが、複数の陽極プレートを備え、

前記陰極アセンブリが、複数の陰極プレートを備えている、請求項 10 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 12】

陽極プレートの数、陰極プレートの数、各減少区画室のイオン減少チャンネルの数、および各濃縮区画室のイオン濃縮チャンネルの数が、同一である、請求項 11 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 13】

前記数が、3 である、請求項 12 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 14】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項 10 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 15】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項 11 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 16】

電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置を通る第 1 および第 2 の流路が提供され、前記電気脱イオン化装置が、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備え、前記減少および濃縮区画室が、交互の順番で配置され、

前記第 1 の流路が、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ各前記減少区画室から流体を放出するように構成され、

前記第 2 の流路が、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成され、

各減少区画室および各濃縮区画室が、イオン交換樹脂ビーズを含み、前記濃縮区画室の前記樹脂ビーズの平均サイズが、前記減少区画室の樹脂ビーズの平均サイズよりも実質的に小さい電気脱イオン化装置。

【請求項 17】

前記樹脂ビーズの直径が、約 0.033 インチ (約 0.84 mm) から約 0.012 イン

10

20

30

40

50

ンチ（約 0.30 mm）である、請求項 16 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 18】

前記陽極アセンブリまたは前記陰極アセンブリのいずれかが、複数の電極プレートを備えている、請求項 16 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 19】

各減少区画室および各濃縮区画室が、イオン交換樹脂ビーズを含んでおり、前記濃縮区画室の前記樹脂ビーズの平均サイズが、前記減少区画室の樹脂ビーズの平均サイズよりも実質的に小さい、請求項 1 に記載の電気脱イオン化装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、一般に電気脱イオン化装置に関し、より具体的には、「超高純度」脱イオン化に適した拡張可能かつ堅牢な電気脱イオン化装置に関する。

【背景技術】

【0002】

浄水は、多くの産業における重要事項である。例えば、製薬産業において、いわゆる「超純」水（すなわち、18.2 MΩ・cm の抵抗率を有する水）が、新薬開発研究や薬剤製造に伴う反応の多くに使用されている。このような水における非常に高濃度のイオンおよび他の不純物は、このような反応に悪影響を与え、誤診や欠陥データを招くエラーの原因となりうる。

20

【0003】

電気脱イオン化は、液体からイオンを除去するプロセスであり、これらのイオンを、水素イオン（陽イオン）または水酸化物イオン（陰イオン）と交換可能な固体物質にこれらのイオンを収着させ、かつ収着されたイオンを電界の印加によって同時または後で除去するものである。

【0004】

電気脱イオン化プロセスは、しばしば、陰イオンおよび陽イオン透過膜によって分離された、交互の希釈区画室および濃縮区画室からなる装置で実行される。希釈区画室は、脱イオン化される水が流れる多孔性のイオン交換物質で充填されている。イオン交換物質は、一般に、陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂との混合物である。これらの樹脂の交互の層もまた提案されている。織られた繊維および不織繊維からなるイオン交換物質もまた開示されている。濃縮区画室と称される、印加された電界によってイオンが移動させられる希釈区画室に隣接する区画室は、イオン交換物質が不活性液体透過材料で充填されることができる。しばしば「セル対」と称される、1 対以上の希釈または濃縮区画室のアセンブリは、両方の側面が陽極および陰極に隣接することによって、液体流の全般的な方向に垂直な電界の印加を可能にする。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の電気脱イオン化装置は、有効でありかつ良好な結果を提供しているが、とりわけ、良好な「超高純度」脱イオン化を損なうことなく、予測可能な線形に拡張された増大に従う、このような装置の容量およびスループットを増加させるための更なる改良を継続する必要がある。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記の必要性に応じて、比較的高速の脱イオン化が、拡張可能な脱イオン化装置において達成されることが見出され、複数のイオン濃縮区画室およびイオン枯渇（depletion）または減少区画室を通る廃棄物および生成物ストリームの流れは、実質的に同時に生じる（すなわち「並列」流路）が、各区画室内では、液体は一連のチャンネルを通して順次流れる（すなわち「直列」流路）。基本的に、区画室間では、流れは並列であるが、

50

区画室内では、流れは直列である。

【 0 0 0 7 】

本発明は、その説明においていかなる理論にも制限されるべきではないが、装置の並列流路は、（複数の区画室間で同時処理を提供することによって）流量を改善するのに対して、直列流路は、（良好な滞留時間を保証するように十分に長い蛇行した流路を提供することによって）良好な生産水品質を維持すると思われる。並列流路は、各区画室で作用する類似の液体力学により、構成部品に関する装置の線形に拡張可能な構成に適切な基礎を提供する。

【 0 0 0 8 】

装置の新規な構成に加えて、本発明は、あるさらなる関連技術を包含している。これらの追加の主要な1つは、装置の陽極アセンブリおよび/またはその陰極アセンブリに、セグメントに分けられた電極を用いることである。1つの望ましい実施形態においては、陽極アセンブリのみがセグメントに分けられ、陰極アセンブリは、本質的に単一の曲がったプレートを備えている。他の実施形態も可能である。各々において、陽極および陰極アセンブリを（セグメントに分けられていても分けられていなくても）単一の複数出力電源に接続することによって、利点の実現される。

10

【 0 0 0 9 】

本発明の他の特徴は、新規な液体分配装置、イオン交換媒体の構成物、セグメントに分けられた膜媒体の使用、および対称的に配置されているポートを有する輪郭形成されたフレーム要素を含んでいる。これらおよび他の特徴は、単独または共同で、設計拡張性、良好な膜間圧力制御、（とりわけ漏れに関する）耐久性、堅牢な動作、および確実な電気性能という利点を提供する。

20

【 0 0 1 0 】

主要な実施形態において、電気脱イオン化装置（第1および第2の流路が流れる）は、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在している、複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備えている。減少および濃縮区画室は、交互の順番で配置されている。並列流に関して、第1および第2の流路は共に、実質的に同時に、それぞれの減少および濃縮区画室に流体を導入し、かつ減少および濃縮区画室から流体を放出するように構成されている。直列流に関しては、各区画室には、導かれた流体が各チャンネルに実質的に順次に流れるように構成されている、複数のチャンネル（すなわち電気的刺激による区画室相互のイオン交換が生じる、事実上の機能的部位）が提供されている。

30

【 0 0 1 1 】

上記に鑑みて、本発明の主要な目的は、線形に拡張可能な、かつ線形に拡張された実施形態に関しては、超高純度脱イオン化を予想通りかつ良好に実行可能な構成を有する、電気脱イオン化装置を提供することである。

【 0 0 1 2 】

本発明の別の目的は、流体が、その減少および濃縮区画室間を「並列に」流れるが、前記区画室内では直列に（すなわち、各区画室に提供されているチャンネルを通して）流れる、電気脱イオン化装置を提供することである。

【 0 0 1 3 】

40

本発明の別の目的は、装置のイオン減少および濃縮区画室の側面に配置される、陰極アセンブリと陽極アセンブリとを有する電気脱イオン化装置であって、陰極および/または陽極アセンブリが、セグメントに分けられた電極を備えている、電気脱イオン化装置を提供することである。

【 0 0 1 4 】

本発明の別の目的は、上記のセグメントに分けられた電極を用い、かつ電極が単一の複数出力電源に接続されている、電気脱イオン化装置を提供することである。

【 0 0 1 5 】

本発明の別の目的は、各々が直列に結合されているチャンネルを有するイオン減少および濃縮区画室を備えており、影響を受ける膜間圧力と、前記区画室の任意の1つ内の各チャ

50

ネルに供給されている電流とに整合性があるように構成される、電気脱イオン化装置を提供することである。

【0016】

本発明の別の目的は、イオン減少および濃縮区画室を備えており、各前記区画室が、直列に結合されているチャンネルを有しており、濃縮区画室内のチャンネルおよび減少区画室内のチャンネルは、前記チャンネルを充填する樹脂ビーズのサイズが異なる、電気脱イオン化装置を提供することである。

【0017】

本発明の別の目的は、各々が直列に結合されているチャンネルを有するイオン減少および濃縮区画室を備えており、各前記チャンネルの先端および後端は、一体の実質的に折畳み不可能な液体分配装置によって区切られている、電気脱イオン化装置を提供することである。

10

【0018】

本発明の別の目的は、所与の区画室の各チャンネルが、区画室間で互いに対面している全チャンネルを、「全面的に」分離する単一の膜とは反対に、個々の膜によって隣接する区画室のチャンネルから界面で分離されている、上記の電気脱イオン化装置のいずれかを提供することである。

【0019】

本発明の他の特徴および利点は、添付の図面と関連してなされる、本発明の代表的な実施形態の以下の詳細な説明から明らかになる。

20

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】各区画室が、直列に配置されているチャンネル 22_A 、 22_B 、および 22_C を有しており、各区画室に並列流路を提供するように構成されかつスタック可能である、イオン減少および濃縮区画室 20_{D1} 、 20_{C1} 、 20_{D2} 、および 20_{C2} の交互の順番を図示する。

【図2】廃棄物ストリーム WS および生成物ストリーム PS が、「並列に」イオン減少および濃縮区画室 20_{D1} 、 20_{C1} 、 20_{C2} 、および 20_{C2} に向かって流れ、かつイオン減少および濃縮区画室 20_{D1} 、 20_{C1} 、 20_{C2} 、および 20_{C2} を通して流れる交互の順番を図示している。

30

【図3a】本発明に従った電気脱イオン化装置10を図示している。

【図3b】従来技術のEDI装置5の例を図示している。

【図4a】本発明の電気脱イオン化装置の一実施形態において、単一の複数出力電源に接続されている、セグメントに分けられた陽極(32a、32b、および32c)および陰極(42a、42b、および42c)端子を図示している。

【図4b】従来技術EDI装置5に用いられている、一般的な単一陽極端子3と一般的な単一陰極端子4とを図示している。

【図5】本発明に従った電気脱イオン化装置の構成に使用されている、輪郭形成されたフレーム要素20の一方の側面を示している。

【図6】図5に示されている輪郭形成されたフレーム要素20の他方の側面を示している。

40

【図7】軸A-Aに沿った、図5に示されている輪郭形成されたフレーム要素20の断面を示している。

【図8a】図5に示されている輪郭形成されたフレーム要素2に使用されている、実質的に折畳み不可能な一体の液体分配装置60をより詳細に示している。

【図8b】図5に示されている輪郭形成されたフレーム要素2に使用されている、実質的に折畳み不可能な一体の液体分配装置60をより詳細に示している。

【発明を実施するための形態】

【0021】

本発明は、その生成物および廃棄物ストリームの両方に対して確立された並列流路を有

50

する電気脱イオン化装置を提供する。これらのストリームは、それぞれ装置のイオン減少および濃縮区画室に流入し、かつイオン減少および濃縮区画室を流れるとき、最初は並列であるが、イオン減少および濃縮区画室に確立されている局所的な流路は、直列（好ましくは曲がった「蛇行」）になる。装置の並列流路は、良好なスループットを促進する。装置の直列流路は、良好な脱イオン化を促進する。装置は、高速、効率的、かつ堅牢であり、その構成は、比較的容易に拡張されて、確実かつ予想通りにより大量の水処理容積を収容することができる。

【0022】

図2は、装置の廃棄物ストリームWSおよび生成物ストリームPSの共存する並列流路を概略的に示している。ここに示されているように、流体は、隣接するイオン減少区画室（ 20_{D1} および 20_{D2} ）とイオン濃縮区画室（ 20_{C1} および 20_{C2} ）に、交互の順番で導入される。区画室の特定の構成の結果として、イオン減少区画室 20_{D1} および 20_{D2} に流入する流体（すなわち生成物ストリームPS）は、2つの分岐に従って即座に分岐する。一方は、その反対の端部での放出の前に、区画室の狭い流路に（すなわち脱イオン化が生じるチャンネル内にかつチャンネルを流れて）より深く通じている。もう一方の分岐は、（その狭い流路を通過せずに）区画室を直接通り抜けてかつ区画室から外に通じており、流体は、下流側の次のイオン減少区画室 20_{D2} への途中の通過のときだけそこに存在する。2つの流路は、下流側に続き、任意の介在する濃縮区画室 20_{C1} および 20_{C2} を流れて、介在する濃縮区画室 20_{C1} および 20_{C2} を迂回する。類似の流れパターンが、廃棄物ストリームWSにも存在する。すなわち流体は、全ての介在するイオン減少区画室 20_{D1} および 20_{D2} を迂回して、実質的に同時に、各イオン濃縮区画室 20_{C1} および 20_{C2} に入り、そこを流れる。

【0023】

図2に示されている特定の実施形態において、区画室を通る流れは、「実質的に同時」であって、「絶対に同時」ではない。イオン減少および濃縮区画室のスタックは、流体ストリームWSおよびPSが、明らかに交互にそれぞれの区画室に実際に接触するように構成されている。しかしながら、このような接触は、区画室により深く入らないストリームの少なくとも分岐の途中でのみ生じる。区画室の入口側において、流体ストリームWSおよびPSは、それぞれの区画室の各々に実質的に同時に分岐されることによって、流体が、実際にその脱イオン化ゾーンを通過せずに、区画室を横切る（またはある区画室から他の区画室への）流れに対してかかる予想時間を考慮する。このような場合、イオン減少および濃縮区画室への入力流体は、任意の先行する区画室の任意の脱イオン化ゾーンを有意に通過せずに、それぞれ生成物および廃棄物ストリームの両方のための単一の共通ポイントソースに対する上流側で連続的に追跡されることができる。図2参照。

【0024】

本明細書に開示されている特定の実施形態において、「区画室間」の流れは、「実質的に同時」であるが、当業者は、所望なら、例えば区画室の外側に流体導管の適切なシステムを用いることによって、より完全に同時である流路を構成することができる。このような実施形態は、本発明の範囲内であると意図されている。

【0025】

図3aおよび図3bの線図は、本発明の電気脱イオン化装置10の並列流路と、従来技術のEDI装置5の直列流路とを比較している。図3aに示されているように、生成物ストリームPSおよび廃棄物ストリームWSは、本発明の電気脱イオン化装置10に導かれ、それぞれのイオン減少区画室 20_D とイオン濃縮区画室 20_C （これらの区画室は、陽極アセンブリ40と陰極アセンブリ30との間で交互の順番でスタックされている）の脱イオン化ゾーンに実質的に同時に導かれ、最終的には前記ゾーンを通過した後に、単一のストリームに再び集められる。これは、従来技術のEDI装置5の直列流路とは対照的であり、従来技術のEDI装置5では、図3bに示されているように、生成物ストリームPSおよび廃棄物ストリームWSが、これらのスタックされた交互の区画室 2_D および 2_C に順次に入りかつ通過する。

【 0 0 2 6 】

流体が、区画室 2 0 の脱イオン化ゾーンに入ると、流体が廃棄物ストリーム W S であるか生成物ストリーム P S であるかに関係なく、流体の流れは、「直列」になる。とりわけ、流体は、曲がった流路を通して導かれ、曲がった流路で、流体は、イオン交換媒体を含んでおりかつ（動作時に）電流が発生する一連のチャンネルに遭遇し、その一連のチャンネルを通過する。

【 0 0 2 7 】

ある従来技術の E D I 装置と同様に、電気脱イオン化装置 1 0 のチャンネルは、幅が長さよりも非常に狭い細長い形状である。細長い形状は、そこを流れる流体の良好な流体速度を促進するために好ましく、流体速度は、良好な脱イオン化のいくつかの重要な決定要因の 1 つである。電気脱イオン化装置 1 0 の各区画室内で、いくつかのこのようなチャンネル（例えば 3 つ）が、必ずというわけではないが一般的に、並んで提供される。水が、これらの各チャンネルを次々と（すなわち順次に）導かれると、本発明は、とりわけ、各区画室の媒体含有ゾーン内の良好な滞留時間を実現することによって、そこで発生した電気脱イオン化電流の影響へ良好にさらされることを確実に（あるいは提供）することができる。

【 0 0 2 8 】

用語「直列」は、複数の可能性を包含しており、それぞれ本発明の範囲内の許容可能な実施を含んでいる。区画室 2 0_{D1}、2 0_{C1}、2 0_{D2}、および 2 0_{C2} の各々に関して図 1 に概略的に示されているような、「曲がりくねった」すなわち「曲がった」流路の構成は、第 1 かつ主要なものである。とりわけイオン減少区画室 2 0_{D1} に注目すると、例えば、流体が、どのようにチャンネル 2 2 a、2 2 b、および 2 2 c を「蛇行する」かを想定できる。流体は、ポート 2 4 を介して入り、まずチャンネル 2 2 a の最前端（「上部」）を通過して導かれ、その後、（電流に対して一定にさらされた状態で）その中の媒体を介して前方へ浸透し、チャンネル 2 2 a の最後端（「底部」）に出る。次いで流体は、チャンネル 2 2 b の最近端（「底部」）に導かれ、その後、（これもまた電流に対して一定にさらされた状態で）その中に含まれている媒体を介して前方へ浸透し、チャンネル 2 2 b の最遠端（「上部」）に出る。最終的に流体は、その最遠端（「上部」）から最終チャンネル 2 2 c に入り、（これもまた電流に対して一定にさらされた状態で）その媒体物を介して前方へ浸透して、チャンネル 2 2 c の最後端（「底部」）に向かって出て、ポート 2 6 を介して区画室 2 0_{D1} からその外に放出される。

【 0 0 2 9 】

チャンネルの出入口のポイントにのみ着目すると、イオン減少区画室 2 0_{D1} のチャンネル 2 2 a、2 2 b、および 2 2 c を通る流れは、基本的に「上部から底部へ」、「底部から上部へ」、および「上部から底部へ」である。代替的な曲がりくねった配置において、流体が、その「上部」から全チャンネルに入り、その「底部」で全チャンネルを出る、入口／出口ポイントのパターンを有することが可能である。これは、例えば、もしあれば、チャンネルの「底部」から次の隣接するチャンネルの「上部」に続く導管を提供するだけで達成可能である。このようなものが「曲がりくねっている」とみなされるか否かは重要ではない。流れは、「順次」のままである。

【 0 0 3 0 】

曲がりくねった流路は、所望の順次の構成であるが、他の構成も可能であろうと考えられる。区画室を通る局所流路（すなわち「区画室内」流路）は、曲がりくねっていなければならないという本発明の要件はない。必要なことは、複数の各チャンネルが、順次、すなわち直列に遭遇されることである。また、当業者には理解できるように、複数のチャンネルは、複数のパターンで区画室内に配置されることが可能である。前記各チャンネルにつながる導管（すなわち、イオン交換媒体を含まず、かつ流体をチャンネルに対して出入りさせるためだけに機能する区画室の部分）は、常に曲がりくねっている必要はない。

【 0 0 3 1 】

例えば、流体が、（導管によって）時計回りまたは反時計回り方向のいずれかで順次各チャンネルに導入される、2 × 2 アレイの 4 つのチャンネルを配置する可能性もまた考えられ

10

20

30

40

50

る。同様に、流体が第 1 のチャンネル、次いで第 3 のチャンネル、そして中間チャンネルに導かれる、 1×3 アレイの 3 つのチャンネルの配置もまた可能である。これらおよび他の場合、局所流路は、「曲がった」および / または「曲がりくねっている」として正確に特徴付けられなくてもよいが、依然として順次である。

【 0 0 3 2 】

並列および直列流路に関する上記理解に鑑みて、本発明は、以下のように大まかに規定されることができる。第 1 および第 2 の流路が提供されている電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置は、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する、複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備えており、該減少および濃縮区画室は、交互の順番で配置されており、前記第 1 の流路は、実質的に同時に、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ減少および濃縮区画室から流体を放出するように構成されており、前記第 2 の流路は、実質的に同時に、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成されており、各減少区画室は、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、そこを通過する流体からのイオンの放出を可能にすることができる複数のイオン減少チャンネルを有し、各減少区画室は、その中に導かれた流体が、各前記イオン減少チャンネルを実質的に順次流れるように構成されており、各濃縮区画室は、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生するとき、そこを通過する流体へのイオンの移動を可能にすることができる複数のイオン濃縮チャンネルを有し、各減少区画室は、その中に導かれた流体が、各イオン濃縮チャンネルを実質的に順次流れるように構成されている。

10

20

【 0 0 3 3 】

生成物区画室は、各々、陰イオン透過膜によって陽極側に、および陽イオン透過膜によって陰極側に結合される。隣接する濃縮区画室は、各々、陽極側の陽イオン透過膜および陰極側の陰イオン透過膜によって、対応して結合される。印加された電界によって、陰イオンは、生成物区画室から、陰イオン透過膜を横切ってより陽極に近い濃縮区画室に移動し、陽イオンは、生成物区画室から、陽イオン透過膜を横切ってより陰極に近い濃縮区画室に移動する。陽極に向かう陰イオンの動きは陽イオン透過膜によって妨げられ、かつ陰極に向かう陽イオンの動きは陰イオン透過膜によって妨げられるために、陰イオンおよび陽イオンは、濃縮区画室に「閉じ込められる」ことになる。水の流れは、濃縮区画室からイオンを除去するように設定されている。このプロセスの最終的な結果は、生成物区画室を流れる水ストリームからのイオンの除去と、濃縮区画室を流れる水におけるイオンの濃縮である。

30

【 0 0 3 4 】

この構成において、生成物区画室の流量は、毎時約 5 . 0 リットルであり、濃縮区画室は、毎時約 2 . 0 リットルから約 2 . 5 リットルである。

【 0 0 3 5 】

輪郭形成されたフレーム要素 20 は、その現在の好ましい実施形態において、その構成に一体的であり、かつ電気脱イオン化装置 10 の機能および製造の両方に重要な、複数の非装飾マルチ平面特徴を有するモノリシック熱可塑性射出成形要素を備えている。

40

【 0 0 3 6 】

とりわけ図 5 および図 6 に示されている輪郭形成されたフレーム要素 20 に関して、チャンネル 22 a、22 b、および 22 c を形成する各サブチャンネル（すなわち、前記図面において、リブ 82 によって構造的に交差されているこれらのチャンネルの開放領域）は、本来「チャンネル」とみなすことができると考えられる。これは容認可能な解釈であり、依然として本発明の限定内にある。とりわけ図 5 を参照すると、「チャンネル」を 12 個の別個のサブチャンネルとみなしても、あるいは、3 つのリブによってセグメントに分けられたコラム 22 a、22 b、および 22 c とみなしても、一連のチャンネル全体を一方から他方への液体の流れは、「順次」のままである。

【 0 0 3 7 】

輪郭形成されたフレーム要素 20 は、そのポート（すなわち入口、出口、および 2 つの

50

バイパス)の配置に関して対称的であり、180度回転すると、フレーム要素20は、イオン減少区画室またはイオン濃縮区画室のいずれかに使用可能である。このことは、これに関連するコストを削減する。さらに、要素20の「ポートの対称性」と装置10の「全並列」構成の双方の結果、適切な数の電気化学セルを追加することによって、浄水の所定流量に対して電気脱イオン化装置を拡張することができる。例えば、毎時50リットルの浄水を生成可能な装置が必要な場合、各セルが毎時5.0リットルの流量を有する、陽極および陰極アセンブリ間に介在する10個の同一のセルを使用する。

【0038】

一般的な順番のフレーム要素20のポート(24、25、26、および27)、導管、およびチャンネル(22)の概略的な配置(これは概して、それから形成されている区画室の対応する順番における同一の配置に直接対応している)は、図1に提供されている。各フレーム要素20_{D1}、20_{C1}、20_{D2}、および20_{C2}は同一であり、濃縮区画室(すなわちフレーム要素20_{C1}および20_{C2})に対応するフレーム要素が、減少区画室(すなわちフレーム要素20_{D1}および20_{D2})に対応するフレーム要素の方向に対して180度回転されている点だけが、異なることが注目される。

【0039】

同一ではあるが、フレーム要素の配置は、所望の廃棄物および生成物の同時の流路を提供する。とりわけ脱イオン化時に、生成物流路は、入口ポート24を介してイオン減少区画室20_{D1}に入る。流れの一部は、区画室により深く入り、残りは、(並列に)次のイオン減少区画室20_{D2}に入る。区画室に入る部分は、導管(すなわち、接続流体経路29i)によって、先頭チャンネル22a、次いで(接続流体経路29mを介して)チャンネル22bに、そして(接続流体経路29n)を介してチャンネル22cに導かれる。後続のチャンネル22cの後端において、流れは、導管(すなわち接続流体経路29o)によって、出口ポート26を介して区画室の外に導かれる。次のイオン減少区画室20_{D2}に入っていく生成物流路の部分は、そのバイパスポート21を介して濃縮区画室20_{C1}を迂回し、その入口ポートを介して減少区画室20_{D2}に入り、順次にチャンネルを通して流れ、最終的にそこから放出されることによって同様に動作する。同様に、出口ポート26を介して減少区画室20_{D1}から放出された流れは、そのバイパスポート23を介して中間の濃縮区画室20_{C1}を完全に迂回した後に、次の減少区画室20_{D2}から放出された流れと合流する。これは同様に下流側へと続く。

【0040】

図1に示されているように、区画室を通る経路を追跡することによって、類似の流れおよび迂回パターンが、イオン濃縮区画室20_{C1}および20_{C2}間を導かれる同時に延びる廃棄物流路において確立されており、主な違いは、流体が、そのバイパスポート25および27を介して、任意の中間のイオン減少区画室20_{D1}および20_{D2}を迂回して、濃縮区画室20_{C1}および20_{C2}を流れるという点であることが明らかであろう。

【0041】

輪郭形成されたフレーム要素20は、EDIスタックが形成される枠組みを提供する。

【0042】

製造プロセスは、一方の端で開始し他方の端で終了するプレスにおいて段階的に、区画室を徐々にスタックしかつ融合することによって達成可能である。

【0043】

実施のあるモードにおいて、プレス動作は、輪郭形成されたフレーム要素20を獲得し、イオン透過膜を各個々のチャンネル22a、22b、および22cの適切な側面(図6参照)に熱接合することによって開始し、そのタイプ(陰イオンか陽イオン)は、区画室が、イオン減少区画室として機能するかイオン濃縮区画室として機能するかに応じる。

【0044】

図6から図8に示されているように、輪郭形成されたフレーム要素2には、膜の適切な配置のための取付けガイドが提供されてもよい。とりわけ図7に示されているように(またある程度は図6にも示されているように)、ガイド86は、フレーム要素の膜の側方位

10

20

30

40

50

置を画定し、それに対して周辺リッジ 8 4 は、膜 8 7 に画定された取付け領域を提供する。

【 0 0 4 5 】

膜が、適切な位置に配置されかつ取付けられると、各サブチャネルは、適切なイオン交換媒体によって充填され、その構成要素は、また、少なくとも部分的に、区画室がイオン減少または濃縮のいずれに対して機能するかに応じる。

【 0 0 4 6 】

次いで媒体が充填されたフレーム要素は、プレスに配置されて、その後、別のフレーム要素（すでに適切な膜が取付けられている）が、その上に適切な位置合せで、その方向が 1 8 0 ° 回転されてスタックされる。プレスが作動される。圧力および熱の影響下で、これらの 2 つのフレーム要素は、熱可塑性に結合され、1 対のまたがっている膜の間のサブチャネル内のイオン交換媒体を封止する。

【 0 0 4 7 】

次いで上部のフレーム要素のサブチャネルは、イオン交換媒体で充填され、位置合せされおよび適切な方向で、次の膜を担持するフレーム要素で覆われ、プレスで接合される。プロセスは、所望の数の区画室を有するスタックが完成するまで反復される。

【 0 0 4 8 】

（例えば、ホットプレス、溶接、振動プレスなどによる）熱可塑性接合だけではなく、フレーム要素を結合する他の手段は、接着剤やガスケットの使用、およびクランプ、プレート、ボルト、結合器、およびストラップなどの機械的な制限装置の使用を含んでいる。これらは、本発明の範囲内で、本説明に鑑みて、実行者によって単独または組み合わせて使用可能である。

【 0 0 4 9 】

図 5 から図 7 に示されているように、チャネル 2 2 a、2 2 b、および 2 2 c は、各々、一連のクロスチャネルリブ 8 2 によってサブチャネルに分割されている。リブ 8 2 は、多数の重要な役割を果たしている。まず、リブ 8 2 は、フレーム要素 2 2（従って完全な E D I スタック）に、電気脱イオン化装置 1 0 を通って流れることが想定されている水の重さおよび圧力を考慮して重要な特徴である、側面剛性を提供する。別の機能は、リブ 8 6 が、緩んだイオン交換媒体（例えば樹脂ビーズ）がチャネルの底部に付着することを実質的に防止することであり、これは、例えば、スタックが、直立した状態での動作を意図している実施形態において生じうる。樹脂ビーズが付着すると、チャネルの上部の領域は、ほとんどまたは全く交換物質を含まないので、（もしあったとしても）ほとんど脱イオン化には寄与せず、また装置の効率を最終的には下げることになってしまう。リブ 8 6 は、イオン交換媒体が、チャネルの全長にわたって広く分散されたままであることを確実にすることによって、そのチャネルの全の部分が脱イオン化に寄与することを確実にする。

【 0 0 5 0 】

図 7 において最もよくわかるように、リブ 8 2 には、一連の溝が提供されており、あるサブチャネルから次のサブチャネルへの流体の通過を可能にしている。当業者には理解されるように、同様の機能を達成する他の手段も、例えば、リブ 8 2 を通って穿孔されたトンネルまたはスロット（図示せず）の使用によって使用可能である。溝は、単一の共通成形操作で形成可能であるので、これらの溝は、更なるアセンブリおよび / または別の製造ステップを要する手段より好ましい。

【 0 0 5 1 】

望ましくは、リブ 8 2 の溝は、本質的に、輪郭形成されたフレーム要素の背面の主面の下にあるべきであり、前記主面から上方に延びるのとは反対である。これによって製造者は、スタック形成を妨害または干渉する可能性のある、隆起、段差、または同様の突出部なく、長い連続する膜ストリップをその上に本質的に平らに置くことができる。

【 0 0 5 2 】

入口、出口、およびバイパスポートの構成は、比較的簡単である。バイパスポート 2 5 および 2 7 は、本質的に輪郭形成されたフレーム要素 2 0 を完全に通過する孔である。入

10

20

30

40

50

口ポート 24 および出口ポート 26 も、また要素全体を通過する孔であるが、また、それぞれチャンネル 22a および 22c に導かれ、かつチャンネル 22a および 22c から導かれる導管に開いている、横方向の側壁を有している。輪郭形成されたフレーム要素上のそれらの配置に関して、本発明の好ましい実施形態において、入口ポート 24 および出口ポート 26 は、輪郭形成されたフレーム要素が 180 度回転されると、バイパスポート 25 および 27 と整列するべきである。

【0053】

図 8a および図 8b に示されているように、輪郭形成されたフレーム要素 20 には、一体の液体分配装置 70 が具備されている。一体の液体分配装置 70 は、製造時に形成された輪郭形成されたフレーム要素 20 の一体部分であり、かつ（その仕上げ形態では）基本的

10

【0054】

図 8a に示されているように、未だ組み立てられていない一体の液体分配装置 70 は、（例えば型から取り出された直後）複数のフィン 74 と、自由端とヒンジ端とを有するフラップ 72 とを備え、該ヒンジ端は、複数のヒンジストリップ 75 によってチャンネル 22 の上部の内部縁 79 に接続され、この未だ組み立てられていない一体の液体分配装置 70

20

【0055】

フィン 74 は、ガターまたはアレイの並列配置を画定する長い自由直立壁であり、流体の通路を提供し、チャンネルに対して出入する導管の構成または配置に起因して、あるいは開放導管から媒体が充填されたチャンネルへの移行で結果として生じる流体速度の変化に起因して、またはその他に起因して、流体がチャンネルに対して流入および流出する際に生じることがある、乱れ、プーリング、および渦動を最小にする。さらに、フィン 74 は、柱のような支持体をフラップに対して提供し、フラップが、（折畳まれた場合に）チャンネルに対して流入または流出する流体の通路を下方に崩壊させたり、妨げたり、あるいは制限

30

【0056】

図 8b に示されているように、液体分配装置 70 のアセンブリは、フィン 74 上にフラップ 72 を反転させたり折畳んだりすることを含んでおり、ペグ 76 は、孔 78 内に確実に嵌合し、フラップをロックまたは固定するのに役立つ。フラップおよびその固定手段は、組立ておよび固定されると、輪郭形成されたフレーム要素のプロファイルに調和し適合する、一般に妨げにならない平面を提供し、また膜ストリップが製造時にチャンネル上に配置される場合に、スタック形成を妨害または干渉する望ましくない隆起、段差、または同様の突出部が生じないように、好ましくは構成されている。

【0057】

40

区画室は、イオン交換樹脂材料が、各サブチャンネルに収容されるように形成されている。固体のイオン交換材料は、サブチャンネル内に配置されており、リブ 82 によってサブチャンネル間の、イオン透過膜による区画室間の移動を制限されている。代表的な適切な固体のイオン交換材料には、ビーズおよび繊維などがある。イオン交換ビーズを用いる場合、一般的なビーズ直径は、約 0.04 インチ以下（約 1 mm 以下）であり、好ましくは直径約 0.033 インチ（約 0.8 mm）から 0.012 インチ（約 0.30 mm）である（20 から 50 メッシュ）。

【0058】

本発明に従った電気脱イオン化装置において、イオン減少チャンネルに隣接する濃縮チャンネル（すなわち廃棄物チャンネル）よりも、装置のイオン減少チャンネル（すなわち生成物チ

50

ャネル)での動作において、より大きな流体圧力が存在することを確実にすることが望ましい。従来のEDI装置は、このような「確実な圧力差」を生成する種々の手段を提供するが、本発明の構成において、望ましい動作圧力比は、一方で濃縮チャネルである平均サイズのビーズを使用し、他方で減少チャネルで異なる平均サイズのビーズを使用することによって影響されることが見出された。濃縮区画室で実質的により小さいビーズを使用することによって、より大きな圧密が、ビーズ間に生じる。濃縮区画室によりぎっしりと詰められたビーズは、より制限された流路を提供する。このより制限された流路は、他の変数は実質的に一定であるが、隣接する減少区画室よりも前記濃縮区画室において、動作により小さい流体圧力をもたらす。このような「確実な圧力差」を生成することによって、減少区画室から濃縮区画室へのイオンの電氣的刺激された流れは、いわゆる「クロスフロー」(すなわち圧力で誘導された逆の流れ)によって、損なわれたり妨害されたりする可能性は低い。

10

【0059】

区画室で異なったビーズサイズを選択することは、とりわけ、本発明の「全並列」構成に関して適切であるが、その生成物および廃棄物区画室への流体またはそれらの区画室からの流体の直列の流れに関して構成されている、EDI装置においても利点は実現可能であると考えられる。

【0060】

一般的に最高約5psiの動作圧力差に耐える強度を有する陰イオン透過膜または陽イオン透過膜は、本発明に使用可能である。

20

【0061】

代表的な適切な陰イオン透過膜には、アイオニクス社(Ionics Inc.)から識別名CR61-CZL-386およびAR 103-QZL-386として販売されている、スルホン酸または第4級アンモニウム官能基を有する均一タイプのウェブに支持されたスチレン-ジビニルベンゼン系、シブロン/イオナック(Sybron/Ionac)から識別名MC-3470(陽イオン透過)およびMA-3475(陰イオン透過)として販売されている、フッ化ポリビニリデン結合剤での不均一タイプのウェブに支持されたスチレン-ジビニルベンゼン系樹脂、RAIリサーチ社(RAI Research Corporation)から登録商標Raiporeとして販売されている、第4級基によってスルホン化またはアミノ化されているポリエチレン系の均一な支持されていない膜シート系、トクヤマソーダ株式会社(Tokuyama Soda Co., Ltd)から登録商標Neoseptaとして販売されている、スルホン酸または第4級アンモニウム官能基を有する、均一タイプのウェブに支持されたスチレン-ジビニルベンゼン系、旭化成工業株式会社(Asahi Chemical Industry Co., Ltd)から名称Aciplexとして販売されている、スルホン酸または第4級アンモニウム官能基を有する、均一タイプのウェブに支持されたスチレン-ジビニルベンゼン系がある。

30

【0062】

図4aに示されているように、本発明の特定の実施形態に組み込まれているもう1つの重要な特徴は、セグメントに分けられた電流発生手段の使用である。とりわけ、単一の陽極アセンブリおよび/または単一の陰極アセンブリを形成する複数の電極は、複数出力電源50に接続されて、流体が装置を通して導かれるとき、別個の電流発生回路を確立する。一般に、複数の各電極(32aから32c、および42aから42c)の位置は、各イオン減少および濃縮区画室の各チャネルグルーピング(AからC)に対応している。

40

【0063】

セグメントに分けられた電極の使用は、とりわけ本発明の「全並列」構成に関して好都合であるが、その生成物および廃棄物区画室への流体およびその生成物および廃棄物区画室からの流体の直列の流れのために構成されているEDI装置においても、利点は実現可能であると考えられる。

【0064】

50

セグメントに分けられた陽極およびセグメントに分けられた陰極の数は、望ましくは、1 : 1 : 1 の比（陽極：陰極：グループ）のイオン減少または濃縮区画室におけるチャンネルグループの数に望ましくは関連する。例えば、図 4 a に示されているように、各濃縮区画室（20_{D2} および 20_{C2}）には、曲がった流路の形態で接続されている 3 つのチャンネルが具備されている。各チャンネルグルーピング（重複するクロス区画室スタックの全チャンネルを備えている、チャンネルグルーピング）には、自身の対にされた電極が具備されている。例えば、チャンネルグルーピング A の陰極 32 a と陽極 42 a、チャンネルグルーピング B の陰極 32 b と陽極 42 b、およびチャンネルグルーピング C の陰極 32 c と陽極 42 c である。電流は、各チャンネルグルーピング A、B、および C を介して別個に提供される。図 4 a に示されているように、陰極および陽極アセンブリの各電極は、複数出力電源 50 を有する別個の回路を形成する。

10

【0065】

陽極、陰極、およびチャンネルグルーピング間の 1 : 1 : 1 の比に代わって、陽極アセンブリ 40 または陰極アセンブリ 30 のいずれか一方のみが、セグメントに分けられることが可能である。この点でのセグメントに分けられていない電極アセンブリは、例えば、その範囲が、チャンネルグルーピングによって占められている領域に全面的に重複している広い矩形領域か、あるいは（図 4 b に示されているように、両電極アセンブリ 3 および 4 において）より「形状適合している」曲がった形状を有するように構成されている、単一の一体の導電性プレートであってもよい。

【0066】

20

特定の実施形態に対する別の代替として、両方の陰極アセンブリ 30 および陽極アセンブリ 40 は、セグメントに分けられているが、チャンネルグルーピング A、B、および C とともに 1 : 1 : 1 の比ではない。例えば、3 つのチャンネルグルーピングと、3 つのセグメントに分けられた陰極と、2 つのセグメントに分けられた陽極とを有する電気脱イオン化装置を構成することができる。また、3 つのチャンネルグルーピングと、2 つのセグメントに分けられた陰極と、3 つのセグメントに分けられた陽極、または 3 つのチャンネルグルーピングと、2 つのセグメントに分けられた陰極と、2 つのセグメントに分けられた陽極、または 2 つのチャンネルグルーピングと、3 つのセグメントに分けられた陰極と、3 つのセグメントに分けられた陽極、などが可能である。本質的に、セグメントに分けることは、電極アセンブリの一方または両方に存在可能であり、「セグメント」数は可変である。

30

【0067】

セグメントに分けられてても、個々の電極は、全体として、電気脱イオン化装置の全チャンネルグルーピングを覆うことによって、必要なまたは望ましい脱イオン化の程度に応じて、モジュールの特定の領域に適切な電流出力を供給することを可能にする。従って、実施者は、例えばイオン含量および溶解された二酸化炭素含量に応じて、装置の動作を異なる給水タイプに容易にカスタマイズすることができる。

【0068】

図 4 b に示されている従来技術の装置のように、セグメントに分けられていない電極を使用することによって、電極 3 および 4 を通る一定電流の印加は、電圧が、電源 6 の最大電圧に達するまで、上昇する電圧を結果として生じる。これが生じると、脱イオン化は、もはや電力が供給されないで終了する。セグメントに分けられた電極を使用することによって、電極の 1 つが最大電力に達すると、当該 1 つの電極のみが影響を受ける。残りの電極は依然として動作可能であり、浄水は依然として生成される。

40

【0069】

いくつかのタイプの複数出力電源が、現在様々な製造業者から市販されている。様々な電源は、機能、電圧、使用可能な出力数などにおいてかなり異なっている。適切な選択は、その適用の特定の必要性に基づくものである。特定の複数出力電源の使用に関して明確な制限はないが、特定の好ましい実施形態においては、電源は、一定電圧での直流電流をセグメントに分けられた電力負荷に供給可能であるべきであり、好ましくは、負荷の残余が動作を継続する一方で、種々のセグメントに分けられた負荷はオフにされるように、冗

50

長な電流の共有が可能であるべきである。

【 0 0 7 0 】

出力水の品質は、部分的にはモジュールを横切る電流に関連しているので、定電流電源が好ましいが、複数出力電源は、定電流電源または定電圧電源であってもよい。好ましくは、電源の出力電流が、所望の入力水の品質および出力範囲に応じて、システムの各使用前に設定可能である。

【 0 0 7 1 】

「完全な」電気脱イオン化装置の他の構成部品は、（当業者には明らかであるように）外部ハウジングまたはキャビネットと、装置の動作に情報を提供するための電子表示器と、装置を通る流体の流れを監視および調整するための検出器およびセンサのシステムと、イオン減少および濃縮区画室へ導きかつイオン減少および濃縮区画室から離れるように導く、ポンプ、弁、および導管のシステムと、システム論理構成部品を含む追加回路および配線と、装置の動作に関する命令および／またはデータを入力するための電子ユーザインタフェースと、他の同様の構成部品とを含むことができる。このような構成部品の選択および構成は、例えば、所与の適用の必要性および特定の目的に応じて、変更および／または置き換えられる。このような他の構成部品の詳細およびこのような他の構成部品を組み込む手段は、例えば、入手可能な技術文献に見出され、かつ／または当業界内にある。

【 0 0 7 2 】

さらに、本発明は、本明細書に説明されている、構成部品、副構成部品、および構成のみを備えている装置に限定されない。本発明は、当業において既に知られているような、任意の数の液体浄化または分離システムまたは方法と単独または組み合わせで使用可能である。本発明は、例えば、本発明の装置の上流側または下流側のいずれかで、有機種を破壊するためのUV照射源と共に使用可能である。

【 0 0 7 3 】

いくつかの実施形態が、本明細書に開示されており、本明細書に示されている教示の恩恵を有する当業者は、多数の変更を実行可能である。これらの変更は、請求項に記載されている本発明の範囲内であることが意図されている。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

- 3、4 電極
- 5 E D I 装置
- 6 電源
- 10 電気脱イオン化装置
- 20、20_{D1}、20_{C1}、20_{D2}、20_{C2} 区画室
- 22a、22b、22c チャネル
- 24、25、26、27 ポート
- 29i、29m、29n、29o 接続流体経路
- 30 陰極アセンブリ
- 32a、32b、32c、42a、42b、42c 電極
- 40 陽極アセンブリ
- 50 複数出力電源
- 70 一体の液体分配装置
- 72 フラップ
- 75 ヒンジストリップ
- 76 ベグ
- 78 孔
- 79 内部縁
- 82 クロスチャネルリブ
- 84 周辺リッジ
- 86 リブ

10

20

30

40

50

8 7 膜

A、B、C チャンネルグルーピング

【図 1】

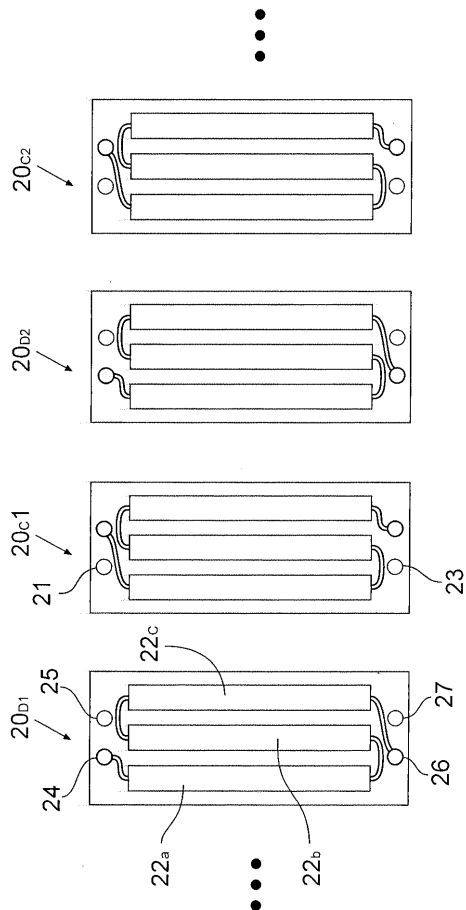


Figure 1

【図 2】

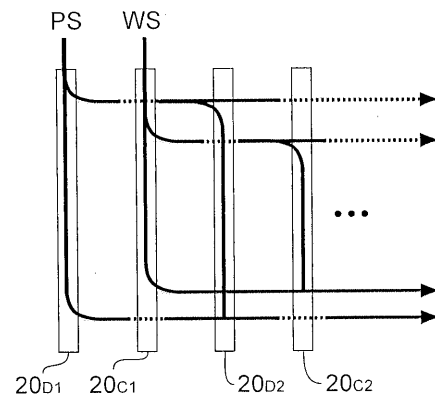


Figure 2

【図 3 a】

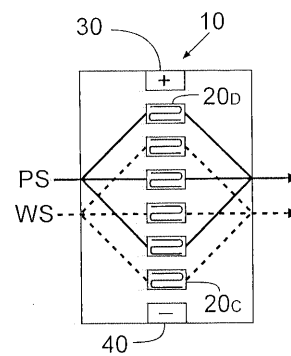


Figure 3a

【図 3 b】

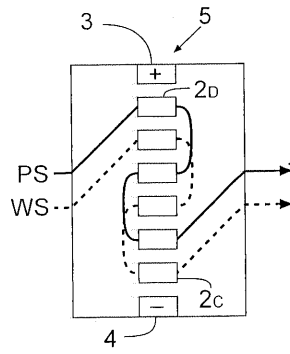


Figure 3b

【図 4 a】

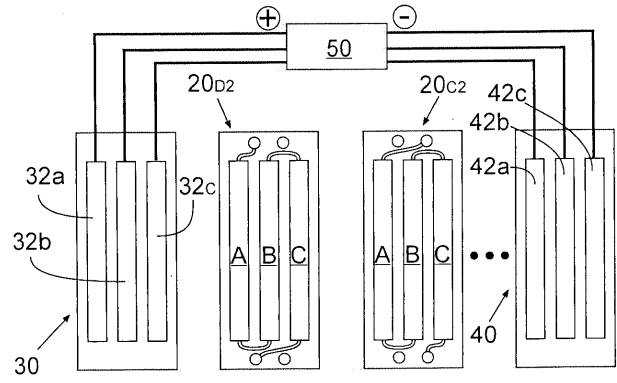


Figure 4a

【図 4 b】

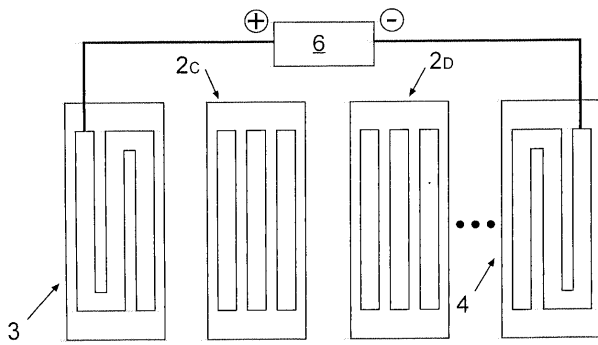


Figure 4b

【図 5】

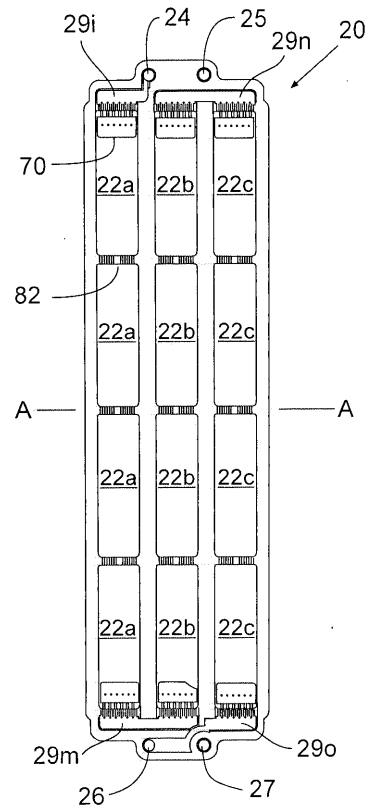


Figure 5

【図 6】

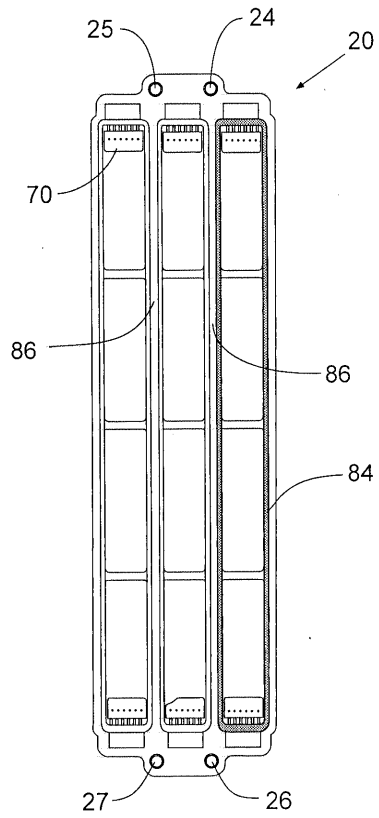


Figure 6

【図 7】

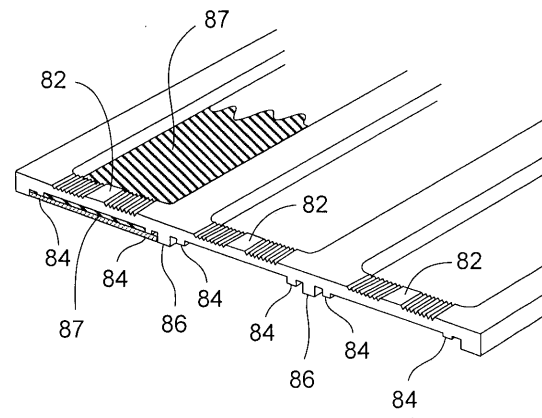


Figure 7

【図 8 a】

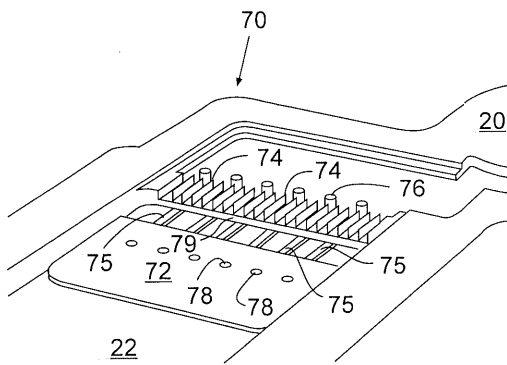


Figure 8a

【図 8 b】

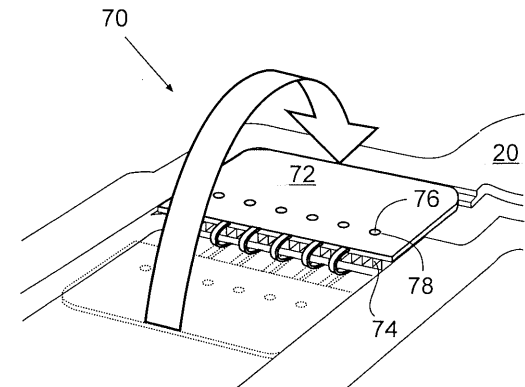


Figure 8b

【手続補正書】

【提出日】平成22年1月15日(2010.1.15)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置を通る第 1 および第 2 の流路が提供され、前記電気脱イオン化装置が、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備え、前記減少区画室および濃縮区画室が、交互の順番で配置され、

前記第 1 の流路が、実質的に同時に、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ各前記減少区画室から流体を放出するように構成され、

前記第 2 の流路が、実質的に同時に、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成され、

各減少区画室が、複数のイオン減少チャンネルを有し、該複数のイオン減少チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン減少チャンネルを通過する流体からイオン放出を可能にすることができ、各減少区画室は、減少区画室に導かれた流体が、各前記イオン減少チャンネルを実質的に順次に流れるように構成され、

各濃縮区画室が、複数のイオン濃縮チャンネルを有し、該複数のイオン濃縮チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン濃縮チャンネルを通過する流体へのイオンの移動を可能にすることができ、各減少区画室は、減少区画室に導かれた流体が、各イオン濃縮チャンネルを実質的に順次に流れるように構成されており、

各減少および濃縮区画室が、実質的モノリシックな熱可塑性枠組みを備えており、前記熱可塑性枠組みが、

(a) 前記それぞれの区画室の前記チャンネルと、

(b) 流体入口および流体出口と、

(c) 前記それぞれの区画室の前記チャンネルを通過することなく、前記それぞれの区画室を流体が通り抜けることができるようにする第 1 および第 2 の流体バイパスと、

(d) (i) 前記流体入口を前記それぞれの区画室の前部チャンネルに接続し、かつ (i i) 前記それぞれの区画室の後部チャンネルを前記流体出口に接続する一連の接続流体経路と、

を画定するように形成されている電気脱イオン化装置。

【請求項 2】

各前記濃縮区画室および各前記減少区画室の熱可塑性枠組みは、本質的に同一である、請求項 1 に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 3】

電気脱イオン化装置であって、該電気脱イオン化装置を通る第 1 および第 2 の流路が提供され、前記電気脱イオン化装置が、陽極アセンブリと陰極アセンブリとの間に介在する複数の減少区画室と複数の濃縮区画室とを備え、前記減少区画室および濃縮区画室が、交互の順番で配置され、

前記第 1 の流路が、各前記減少区画室に流体を導入し、かつ各前記減少区画室から流体を放出するように構成され、

前記第 2 の流路が、各前記濃縮区画室に流体を導入し、かつ各前記濃縮区画室から流体を放出するように構成され、

各減少区画室が、複数のイオン減少チャンネルを有し、該複数のイオン減少チャンネルは、

電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン減少チャンネルを通過する流体からイオン放出を可能にすることができ、

各濃縮区画室が、複数のイオン濃縮チャンネルを有し、該複数のイオン濃縮チャンネルは、電流が前記陽極アセンブリと前記陰極アセンブリとの間で発生されたときに、イオン濃縮チャンネルを通過する流体へのイオンの移動を可能にすることができ、

前記陽極アセンブリまたは前記陰極アセンブリの少なくとも一方が、複数の電極プレートを備えている電気脱イオン化装置。

【請求項 4】

前記陽極アセンブリが、複数の陽極プレートを備え、

前記陰極アセンブリが、複数の陰極プレートを備えている、請求項3に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 5】

陽極プレートの数、陰極プレートの数、各減少区画室のイオン減少チャンネルの数、および各濃縮区画室のイオン濃縮チャンネルの数が、同一である、請求項4に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 6】

前記数が、3である、請求項5に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 7】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項3に記載の電気脱イオン化装置。

【請求項 8】

前記陽極アセンブリおよび前記陰極アセンブリが、単一の複数出力電源に接続されている、請求項4に記載の電気脱イオン化装置。

フロントページの続き

- (72)発明者 ガストン・デ・ロス・レイーズ
アメリカ合衆国、マサチューセッツ・ 0 2 1 1 4、ボストン、ウエスト・シーダー・ストリート・
6 8
- (72)発明者 ウィザム・ヤクティーン
アメリカ合衆国、マサチューセッツ・ 0 2 4 5 3、ウォルサム、クツシング・ストリート・ 6、ア
partment・ 5
- (72)発明者 チェスター・エル・ベトリツヒ、ザ・サード
アメリカ合衆国、マサチューセッツ・ 0 1 8 6 7、リーディング、クローバー・サークル・ 1 9
- (72)発明者 タルグート・サリオグル
アメリカ合衆国、マサチューセッツ・ 0 2 4 5 3、ウォルサム、クレセント・ストリート・ 2 5、
ナンバー・ 3 3 1

F ターム(参考) 4D006 GA17 HA47 JA30C JA42A JA43A JA44A JA68A KA16 MA13 MA14
MB16 MC22 MC24 MC29 MC62 MC63 PA01 PA02 PB02 PB08
PC42
4D061 DA01 DA08 DB13 EA09 EB04 EB13 EB20 EB40 FA08

【外国語明細書】

Specification
Title of Invention

ELECTRODEIONIZATION DEVICE

Field

In general, the present invention is directed to an electrodeionization device, and more particularly, to a scalable, robust electrodeionization device suited for "ultra-pure" deionization.

Background

Water purification is of considerable interest in many industries. For example, in the pharmaceutical industry, so-called "ultra-pure" water (*i.e.*, water having a resistivity of 18.2 megaohms/cm) is used in many of the reactions either under study for researching new drugs or involved in drug manufacture. An inordinately high concentration of ions and other impurities in such water can affect negatively such reactions, introducing sources of error that can result in misdiagnosis or otherwise flawed data.

Electrodeionization is a process for removing ions from liquids by sorption of these ions into a solid material capable of exchanging these ions either for hydrogen ions (for cations) or hydroxide ions (for anions) and simultaneous or later removal of the sorbed ions by the application of an electric field.

The electrodeionization process is often conducted in an apparatus consisting of alternating diluting compartments and concentrating compartments separated by anion and cation permeable membranes. The diluting compartments are filled with a porous ion exchange materials through which the water to be deionized flows. The ion exchange materials are commonly mixtures of cation exchange resins and anion exchange resins. Alternating layers of these resins have been suggested. Ion exchange materials consisting of woven and non-woven fibers have also be disclosed. The compartments adjoining the diluting compartment into which the ions are moved by the applied electric field, called concentrating compartments, may be

filled with ion exchanging materials or with inert liquid permeable materials. An assembly of one or more pairs of diluting or concentrating compartments, often referred to as a "cell pair", is bounded on either side by an anode and a cathode, thereby enabling the application of an electric field perpendicular to the general direction of liquid flow.

Although past electrodeionization devices are effective and provide good results, need continues for further improvement thereto, and in particular, for increasing the capacity and throughput of such devices, along predictable linearly-scaled increments, without compromising good "ultra-pure" deionization.

Summary

In response to the above need, it is found that comparatively fast deionization can be accomplished in a scalable deionization device wherein the flow of waste and product streams through several ion concentration and depletion compartments occurs substantially contemporaneously (*i.e.*, "parallel" flow paths), but that within each compartment, liquid flows sequentially through a series of channels (*i.e.*, "serial" flow paths). Basically, amongst the compartments, the flow is parallel; but within the compartments, the flow is serial.

Although the invention should not be limited to any theory in explanation thereof, it is felt that device's parallel flow path improves flow rate (*cf.*, by providing contemporaneous processing among several compartments), whereas the serial flow path maintains good product water quality (*cf.*, by providing a tortuous flow path that is sufficiently long to assure good residence time). The parallel flow path, owing to the similar fluid dynamics operative in each compartment, provides appropriate foundation for the device's linearly-scalable configuration of components.

As adjuncts to the device's novel configuration, the present invention embraces certain additional related technologies. A principal one of these adjuncts is the employment of segmented electrodes for either the device's anode assembly and/or its cathode assembly. In one desirable embodiment, only the anode assembly is segmented, with the cathode assembly essentially comprising a single sinusoidal plate. Other embodiments are possible. In each, advantage is realized by connecting the anode and cathode assemblies -- whether segmented or not -- to a single multiple-output power supply.

Other features of the invention include its novel fluid distributors, the constituency of its ion exchange media, the use of segmented membrane media, and a contoured framing element having symmetrically-located ports. These and other features, singularly or collectively, provide the advantages of design scalability, good

transmembrane pressure control, durability (particularly, in respect of leaks), robust operation, and reliable electrical performance.

In a principal embodiment, the electrodeionization device -- through which flows a first and second flow path -- comprises a plurality of depletion compartments and a plurality of concentration compartments interposed between an anode assembly and a cathode assembly. The depletion and concentration compartments are arranged in alternating sequence. In respect of parallel flow, the first and second flow paths are both configured to introduce fluid into and release fluid from their respective depletion and concentrations compartments substantially contemporaneously. In respect of serial flow, each compartment is provided with a plurality of channels -- *i.e.*, the actual functional sites wherein electrically-motivated cross-compartment ion exchange occurs -- configured such that fluid brought thereinto flows into each channel substantially sequentially.

In light of the above, it is a principal object of the present invention to provide an electrodeionization device having a configuration that is linearly-scalable, and that is, in respect of linearly-scaled embodiments thereof, capable of performing ultra-pure deionization predictably and well.

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device wherein fluid flows "in parallel" among its depletion and concentration compartments, but serially within said compartments (*i.e.*, through the channels provided in each compartment).

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device having a cathode assembly and an anode assembly flanking the device's ion depletion and concentration compartments, wherein either the cathode and/or anode assemblies comprise segmented electrodes.

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device that employs the aforementioned segmented electrodes, and wherein the electrodes are connected to a single multiple-output power supply.

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device comprising ion depletion and concentration compartments that each have serially-linked channels, the device being configured such that there is consistency in the transmembrane pressure effected across and the electrical current delivered to each channel within any particular one of said compartments.

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device comprising ion depletion and concentration compartments, wherein each said compartment has serially-linked channels, and wherein the channels within concentration compartment and the channels within depletion compartments differ in the size of resin beads that fill said channels.

It is another object of the present invention to provide an electrodeionization device comprising ion depletion and concentration compartments that each have serially-linked channels, wherein the leading and trailing end of each said channel is punctuated by an integral, substantially non-collapsible flow distributor.

It is another object of the present invention to provide any of the aforementioned electrodeionization devices, wherein each channels in any given compartment is interfacially separated from the channels in an adjacent compartment by an individual membrane -- as opposed to a single membrane that "blanket-wise" separates all the channels that face each other between compartments.

Other features and advantages of this invention will become apparent from the following detailed description of representative embodiments of the invention, taken in conjunction with the accompanying drawings.

Brief Description of the Drawings

Figure 1 illustrates diagrammatically an alternating sequence of ion depletion and concentration compartments 20_{D1} , 20_{C1} , 20_{D2} , and 20_{C2} , each compartment having serially-arranged channels 22_A , 22_B , and 22_C , and configured and stackable to provide parallel flow paths to each compartment.

Figure 2 illustrates diagrammatically an alternating sequence of ion depletion and concentration compartments 20_{D1} , 20_{C1} , 20_{D2} , and 20_{C2} , towards and through which flow "in parallel" a waste stream WS and a product stream PS.

Figures 3a and 3b illustrate diagrammatically an electrodeionization device 10 according to the present invention and an example of a prior art EDI device 5.

Figure 4a illustrates diagrammatically segmented anode (32a, 32b, and 32c) and cathode (42a, 42b, and 42c) terminals that, in an embodiment of the inventive electrodeionization device, is connected to a single multiple-outlet power source 50.

Figure 4b illustrates diagrammatically a typical singular anode terminal 3 and typical singular cathode terminal 4 employed in a prior art EDI device 5.

Figure 5 illustrates one side of a contoured framing element 20 used in the construction of an electrodeionization device according to the present invention.

Figure 6 illustrates the other side of the contoured framing element 20 illustrated in Fig. 5.

Figure 7 illustrates a cross-section of the contoured framing element 20 illustrated in Fig. 5 along axis A-A.

Figures 8a and 8b illustrates in greater detail a substantially non-collapsible integral flow distributor 60 used in the contoured framing element 20 illustrated in Fig. 5.

Detailed Description

The present invention provides an electrodeionization device having parallel flow paths established for both its product and waste streams. Although initially parallel, when these streams flow respectively into and through the device's ion depletion and concentration compartments, the local flow path established therein becomes serial (preferably, sinusoidal or "serpentine"). The device's parallel flow paths promote good throughput. Its serial flow paths promote good deionization. The device is fast, efficient, robust, and its configuration is comparatively easy to scale upwards to reliably and predictably accommodate larger water processing volumes.

Figure 2 illustrates schematically the co-existing parallel flow paths of the device's waste and product stream, WS and PS. As shown therein, fluid is introduced into an alternating sequence of adjoining ion depletion compartments (20_{D1} and 20_{D2}) and ion concentration compartments (20_{C1} and 20_{C2}). As a result of the particular construction of the compartments, fluid entering into the ion depletion compartments 20_{D1} and 20_{D2} -- i.e., product stream PS -- diverges immediately along two branches. One leads deeper into the guts of the compartment -- i.e., into and through the channels wherein deionization occurs -- before release at the opposite end thereof. The other branch leads immediately through and out of the compartment (without passing through its guts), the fluid being present therein only in transit *en route* to the next ion depletion compartment 20_{D2} downstream. The two paths continue downstream, flowing through or otherwise bypassing any intervening concentration compartment 20_{C1} and 20_{C2} . A similar flow pattern is present also for the waste stream WS: i.e., fluid enters and flows through each ion concentration compartment 20_{C1} and 20_{C2} substantially contemporaneously, bypassing all intervening ion depletion compartments 20_{D1} and 20_{D2} .

In the particular embodiment shown in Fig. 2, the flow through the compartments is "substantially contemporaneous," not "absolutely contemporaneous." The stack of ion depletion and concentration compartments are structured such that the fluid streams WS and PS will literally contact their respective compartments apparently one after the other. However, such contact occurs only in transit for at least the branch of the stream that does not enter deeper into the compartment. On the entry-side of the compartment, the fluid streams WS and PS branch off into each of their respective compartments substantially concurrently, allowing for the expected time it takes for the fluid to flow across the compartments (or from one to another)

without actually passing their deionization zones. In such cases, the input fluid into the ion depletion and concentrations compartments can be traced upstream continuously to a single common point source for both the product and waste streams, respectively, without passing meaningfully through any of the deionization zones of any preceding compartment. See, Fig. 2.

Although in the specific embodiments disclosed herein the "inter-compartment" flow is "substantially contemporaneous", those skilled in art can, if desired, design flow paths that are more literally contemporaneous, for example, by employing an appropriate system of fluid conduits outside the compartments. Such embodiments are intended to be within the scope of the present invention.

The diagrams of Figures 3A and 3B compare the parallel flow path of the present electrodeionization device 10 and a serial flow path of a prior art EDI device 5. As shown in Figure 3A, the product stream PS and waste streams WS are brought into the inventive electrodeionization device 10 and led substantially contemporaneously into the deionization zones of their respective ion depletion compartments 20_D and ion concentration compartments 20_C -- the compartments being stacked in alternating sequence between anode assembly 40 and cathode assembly 30 -- and ultimately reconvened into single streams after passing through said zones. This stand in contrast to the serial flow path of the prior art EDI device 5 wherein, as shown in Figure 3B, the product and waste streams PS and WS enter and pass through these stacked alternating compartments 20_D and 20_C sequentially.

When fluid enters into the deionization zones of a compartment 20, regardless of whether it's of the waste stream WS or the product stream PS, the flow thereof then becomes "serial". In particular, the fluid is conducted through a winding path in which it encounters and is passed through a series of channels which contain ion exchange media and through which a current is generated (during operation).

The channels in the electrodeionization device 10 -- like certain prior art EDI devices -- are elongate in shape, having a width much narrower than its length. The elongate shape is preferred inasmuch as it promotes good fluid velocity of the fluid running therethrough, fluid velocity being one of several important determinants of good deionization. Within each compartment of the electrodeionization device 10, several of such channels (e.g., three) are provided, typically but not necessarily, side by side. When water is conducted through each of these channels one after the other (i.e., sequentially), the present invention realizes, among other things, good residence time within the media-containing zones of each compartment, thereby assuring (or otherwise providing) good exposure to the influence of the electrodeionizing current generated therethrough.

The term "serial" encompasses several possibilities, each constituting acceptable practice within the bound of the present invention. First and foremost is the design of a "serpentine" or "sinusoidal" flow path, such as illustrated schematically in Figure 1 in respect of each of the compartments 20_{D1} , 20_{C1} , 20_{D2} , and 20_{C2} . Paying particular attention to ion depletion compartment 20_{D1} , for example, one can envision how fluid will "snake" around the channels 22a, 22b, and 22c. The fluid enters through port 24 and is first conducted through the foremost end (*cf.*, "top") of channel 22a, whereupon it permeates onward through the media therein (which is under constant exposure to an electric current) and exits at the rearmost end (*cf.*, "bottom") of channel 22a. The fluid is then led into the closest end (*cf.* "bottom") of channel 22b, whereupon it permeates onwards through the media contained therein (also under constant exposure to an electric current) and exits at the furthest end of channel 22b (*cf.*, "top"). Finally, the fluid enters into the last channel 22c from the foremost end (*cf.*, "top") thereof, permeating onward through its media contents (also under constant exposure to an electric current), and exits towards the rearmost end (*cf.*, "bottom") of channel 22c, where it is then led to it release out of the compartment 20_{D1} through port 26.

Focussing only on the points of entry and exit into and out of the channels only, the flow through the channels 22a, 22b, and 22c of ion depletion compartment 20_{D1} is essentially "top to bottom", "bottom to top", and "top to bottom." In an alternative serpentine arrangement, it is possible to have a pattern of entry/exit points wherein fluid enters all the channel from the "top" thereof and exit all the channel at the "bottom" thereof. This can be accomplished, for example, simply by providing conduits that lead from the "bottom" of a channel to the "top" of the next adjacent channel, if any. Whether or not such would be considered "serpentine" is not important: The flow remains "sequential".

Although serpentine flow paths are the desired sequential configuration, it is contemplated that other configurations are or would be possible. There is no requirement under the present invention that the local flow path (*i.e.*, the "intra-compartment" flow path) through the compartments must be serpentine. All that is required is that each of a plurality of channels is encountered sequentially, *i.e.*, in series. And, as those skilled in the art can appreciate, a plurality of channels can be arranged in a compartment in several patterns. Conduits -- *i.e.*, the part of the compartment that does not contain ion exchange media and that function solely to direct fluid to and away from the channels -- leading to each of said channels need not always do so in serpentine fashion.

Also contemplated, for example, is the possibility of arranging four channels in a 2x2 array, wherein fluid is introduced (by conduits) into each channel sequentially in either a clockwise or counter-clockwise direction. Likewise, also

possible is arrangement of three channels in a 1x3 array, wherein fluid is directed to the first channel, then the third, and then the middle channel. In these and other cases, the local flow path may not be fairly characterized as either "sinusoidal" and/or "serpentine", but they would still nonetheless be sequential.

In light of the above understanding of the parallel and serial flow paths, the present invention can be broadly defined as: an electrodeionization device through which is provided a first and second flow path, the electrodeionization device comprising a plurality of depletion compartments and a plurality of concentration compartments interposed between an anode assembly and a cathode assembly; the depletion and concentration compartments arranged in alternating sequence; said first flow path being configured to introduce fluid into and release fluid from each said depletion compartment substantially contemporaneously; said second flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said concentration compartment substantially contemporaneously; each depletion compartment having a plurality of ion depletion channels capable of allowing the release of ions from a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies, each depletion compartment configured such that fluid brought thereinto flows into each said ion depletion channel substantially sequentially; and each concentration compartment having a plurality of ion concentration channels capable of allowing the migration of ions into a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies, each depletion compartment configured such that fluid brought thereinto flows into each ion concentration channel substantially sequentially.

The product compartments are each bonded on the anode side by an anion permeable membrane and on the cathode side by a cation permeable membrane. The adjacent concentrating compartments are each correspondingly bonded by a cation permeable membrane on the anode side and an anion permeable membrane on the cathode side. The applied electric field causes anions to move from the product compartment across the anion permeable membrane into the concentrating compartment nearer the anode and cations to move from the product compartment across the cation permeable membrane into the concentration compartment nearer the cathode. The anions and cations become "trapped" in the concentrating compartments because the movement of anions toward the anode is blocked by a cation permeable membrane, and the movement of the cations toward the cathode is blocked by an anion permeable membrane. A flow of water is set up to remove the ions from the concentrating compartments. The net result of the process is the removal of ions from the water streams flowing through the product compartments and their concentration in the water flowing through the concentrating compartments.

In the present design, the flow rate in the product compartment is approximately 5.0 liters/hour and the concentrate is approximately 2.0 to approximately 2.5 liters/hour.

Contoured framing element 20 comprises, in its currently favored embodiment, a monolithic thermoplastic injection-molded element, having several non-ornamental multi-planar features that are integral to its structure and consequential to both the function and manufacture of the electrodeionization device 10.

In respect particularly to the contoured framing element 20 illustrated in Figures 5 and 6, it is contemplated that one could consider each of the sub-channels that form channels 22a, 22b, and 22c -- *i.e.*, the open areas of those channels that in said Figures are structurally intersected by ribs 82 -- as "channels" in their own right. This is an acceptable interpretation, and still falls within the definition of the present invention. Referring in particular to Figure 5, whether one considers the "channels" as being the twelve individual sub-channels, or alternatively, the three rib-segmented columns 22a, 22b, and 22c, the flow of liquid from one to the other throughout the entire series of channels remains "sequential".

The contoured framing element 20 is symmetrical in respect of the positioning of its ports (*i.e.*, the inlet, outlet, and two bypasses), such that when rotated 180°, the framing element 20 can be used for either an ion depletion compartment or an ion concentration compartment. This reduces the costs associated therewith. Furthermore, resultant of both the element 20's "port symmetry" and the device 10's "all parallel" design, one can scale upwards an electrodeionization device for any given flow rate of purified water by adding an appropriate additional number of electrochemical cells. For example, if there is a need for a device that can produce 50 liters/hour of purified water, then one would use ten identical cells interposed between the anode and cathode assemblies, each cell having a flow rate of 5.0 liters/hour.

The schematic layout of ports (24, 25, 26 and 27), conduits, and channels (22) of a typical sequence of framing elements 20 -- which by and large correspond directly with the layout of the same in the corresponding sequence of compartments made therefrom -- is provided in Figure 1. It will be noted therein that each of the framing elements 20_{D1}, 20_{C1}, 20_{D2}, and 20_{C2} are identical, differing only in that the framing elements corresponding to the concentration compartments (*i.e.*, framing elements 20_{C1} and 20_{C2}) are rotated 180° relative to the orientation of the framing elements that correspond to the depletion compartments (*i.e.*, framing elements 20_{D1} and 20_{D2}).

Although identical, the arrangement of the framing elements provides for the desired concurrent waste and product flow paths. In particular, during deionization, the product flow path enters ion depletion compartment 20_{D1} through inlet

port 24. Some of the flow goes deeper into the compartment; the rest goes -- in parallel fashion -- into the next ion depletion compartment 20_{D2}. That portion that goes into the compartment is lead by a conduit (*i.e.*, connecting fluid pathway 29i); into leading channel 22a, then into channel 22b (*via* connecting fluid pathway 29m), and then into channel 22c (*via* connecting fluid pathway 29n). At the tail end of trailing channel 22c, the flow is led by a conduit (*i.e.*, connecting fluid pathway 29o) out of the compartment through outlet port 26. That portion of the product flow path that goes down into the next ion depletion compartment 20_{D2} does so by bypassing the concentration compartment 20_{C1} through its bypass port 21, entering depletion compartment 20_{D2} through its inlet port, flowing through its sequence of channels and eventually being released therefrom. Likewise, the flow released from depletion compartment 20_{D1} through outlet port 26 merges with that released from the next depletion compartment 20_{D2}, after bypassing completely the intermediate concentration compartment 20_{C1} through its bypass port 23. This continues in similar fashion downstream.

By tracing the path through the compartments as shown in Figure 1, it will be apparent that a similar flow and bypass pattern is established in the concurrently running waste flow path conducted among the ion concentration compartments 20_{C1} and 20_{C2}, the principal difference being that fluid flows through the concentration compartments 20_{C1} and 20_{C2}, bypassing any intermediate ion depletion compartments 20_{D1} and 20_{D2} through their bypass ports 25 and 27.

The contoured framing element 20 provides the framework upon which an EDI stack is built.

The manufacturing process can be accomplished by progressively stacking and fusing compartments, in a step-wise fashion in a press, starting at one end and finishing at the other.

In one mode of practice, the press operation begins by obtaining a contoured framing element 20 and thermally bonding to the appropriate side (see Figure 6) of each individual channel 22a, 22b, and 22c, an ion permeable membrane, the type thereof (anion or cation) being dependent on whether the compartment will function as an ion depletion compartment or as an ion concentration compartment.

As shown in Figures 6 to 8, the contoured framing element 20 can be provided with mounting guides for the proper positioning of the membranes. In particular as shown in Figure 7 -- and to some extent also in Figure 6 -- guides 86 define the lateral position of the membranes on the framing element, whereas circumferential ridge 84 provides a defined attachment areas for a membrane 87.

Once the membranes are in position and mounted, each of the sub-channels are then filled with an appropriate ion exchange media, the constituency

thereof again depending, at least in part, on whether the compartment will function for ion depletion or concentration.

The media-filled framing element is then placed in a press, whereupon another framing element -- onto which already were mounted appropriate membranes -- is stacked in appropriate registration thereonto, its orientation being rotated 180°. The press is operated. Under the influence of pressure and heat, the two are thermoplastically united, sealing the ion exchange media within the sub-channels between the straddling pair of membranes.

The sub-channels of the upper framing element is then filled with ion exchange media, then covered with the next membrane-bearing framing element in register and in proper orientation, and then bonded in the press. The process is repeated until a stack having the desired number of compartments is complete.

Aside from thermoplastic bonding (e.g., by hot press, by welding, by vibration press, etc.), other means for joining the framing elements would include the use of adhesives, gaskets, and the use of mechanical restraints, such as clamps, plates, bolts, bindings, and straps. These can be used alone or in combination by practitioners, in light of the present description, within the scope of the invention.

As shown in Figures 5 to 7, the channels 22a, 22b, and 22c are each divided into sub-channels by a series of cross-channel ribs 82. Ribs 82 serve a number of important roles. First, they provide the framing element 22 -- and thus, the complete EDI stack -- with lateral rigidity, an important feature considering the weight and pressure of water expected to flow through the electrodeionization device 10. Another function is that the ribs 86 substantially prevent loose ion exchange media (e.g., resin beads) from settling to the bottom of the channels, which may occur, for example, in those embodiments wherein the stack is intended for operation in a standing upright position. If the resin beads settle, areas at the top of the channel may contain little or no exchange material, thus contributing little (if any) to deionization, and ultimately reducing the efficiency of the device. The ribs 86 assure that ion exchange media remains widely distributed over the entire length of the channel, assuring that all parts thereof contribute to deionization.

As best seen in Figure 7, the ribs 82 are provided with a series of grooves to allow the passage of fluid from one sub-channel to the next. As those skilled in the art can appreciate, other means of accomplishing the same function are available, for example, by use of tunnels or slots (not shown) drilled through the ribs 82. Since grooves can be formed in a single common molding operation, they are preferred over those means that may require further assembly and/or a separate manufacturing step.

Desirably, the grooves of ribs 82 should lay essentially below the major surface of the back side of the contoured framing element, as opposed to extending upward off said surface. This allows a manufacturer to lay a long continuous membrane strip essentially flat thereon, without bulges, bumps, or like protuberances that can disturb or interfere with stack formation.

The construction of the inlet, outlet, and bypass ports is relatively straightforward. The bypass ports 25 and 27 are essentially holes that go completely through the contoured framing element 20. The inlet and outlet ports 24 and 26 are also holes that pass through the entire element, but they also have a lateral side wall that open into the conduits that lead to and from the channels 22a and 22c, respectively. In respect of their location on the contoured framing element, in preferred embodiments of the present invention, the outlet and inlet ports 24 and 26 should align with the bypass ports 25 and 27, when the contoured framing element is rotated 180°.

As illustrated in Figures 8a and 8b, contoured framing element 20 is provided with an integral fluid distributor 70. The integral fluid distributor 70 is an integral part of the contoured framing element 20, formed during manufacture, and -- in its finished form -- essentially operates as a sieve. Because of its structure, integral fluid distributor 70 has good resistance to collapse under the pressure and heat often employed in the manufacture of the stacked compartments of the present electrodeionization device. The integral fluid distributor 70 also serves to prevent or otherwise curtail migration of the resin materials -- e.g., beads -- out of the channels, hence their location at the tail and leading ends thereof.

As shown in Figure 8a, the yet unassembled integral fluid distributor 70 -- after immediately being taken off a mold for example -- comprises a plurality of fins 74; a flap 72 having a free end and hinged end, the hinged end being connected to the top internal edge 79 of channel 22 by a plurality of hinge strips 75; and flap securement means comprising a plurality of pegs 76 and a plurality of corresponding holes 78.

The fins 74 are long free standing upright walls that define a parallel arrangement of gutters or alleys, providing passage for fluid, while minimizing turbulence, pooling, and eddying that can occur as fluid flows into and out of a channel, whether caused by the configuration or disposition of the conduit leading into or out of the channel, or the change in fluid velocity resultant in the transition from an open conduit into a media filled channel, or otherwise. In addition, fins 74 collectively provide a support -- like pillars -- for the flap, preventing the flap -- when folded thereonto -- from collapsing downwards, blocking or otherwise limiting the passage of fluid into or out of the channels.

As shown in Fig. 8b, the assembly of fluid distributor 70 involves flipping or otherwise folding the flap 72 onto and over the fins 74, such that the pegs 76

fit securely within the holes 78, helping to lock or otherwise secure the flap. The flap and its securement means are preferably designed such that when assembled and secured, it provides a generally non-obstructive, flat surface that blends into and conforms to the profiles of the contoured framing element, such that when a membrane strip is positioned over the channel during manufacture, no undesirable bulges, bumps, or like protuberances are presented, that would otherwise disturb or interfere with stack formation.

The compartments are formed so that ion exchange resin material is housed within each of the sub-channels. Solid ion exchange materials are positioned within the sub-channels and are constrained from moving between the sub-channels by ribs 82, and between compartments by ion permeable membranes. Representative suitable solid ion exchange materials include beads, fibers, and the like. When employing ion exchange beads, typical bead diameter is about 0.04 inches or less, preferably between about 0.033 and about 0.012 inches in diameter (20 to 50 mesh).

In an electrodeionization device according to the present invention, it is desirable to assure that greater fluid pressures will be present in operation in the device's ion depletion channels (*i.e.*, the product channels) than in its concentration channels (*i.e.*, the waste channels) adjacent thereto. While prior EDI devices offer various means for creating such "positive pressure differential", in the configuration of the present invention, it is found that desirable operative pressure ratios can be affected by using beads of a certain average size in the concentration channels, on the one hand, and beads of a different average size in the depletion channels, on the other. By using substantially smaller beads in the concentration compartment, greater compaction occurs between beads. The more densely-packed beads in the concentration compartments provide a more restricted flow path, that -- other variables being left substantially constant -- will yield in operation less fluid pressure in said concentration compartments than in the adjacent depletion compartments. By creating such "positive pressure differential", the electrically-motivated flow of ions from the depletion compartments to the concentration compartments is less likely to be compromised or otherwise impeded by so-called "cross flow" (*i.e.*, pressure-induced back flow).

Although compartment-differentiated bead size selection is particularly well-suited in respect of the inventions "all parallel" configuration, it is contemplated that advantages can also be realized in EDI devices designed for the serial flow of fluid to and from its product and waste compartments.

Any anion permeable membrane or cation permeable membrane having the strength to withstand the operating pressure differential, typically up to about 5 psi, can be utilized in the present invention.

Representative suitable anion permeable membranes include a homogenous type web supported styrene-divinylbenzene based with sulfonic acid or quarternary ammonium functional groups sold under identifications CR61-CZL-386 and AR 103-QZL-386 by Ionics Inc.; a heterogenous type web supported styrene-divinylbenzene based resins in a polyvinylidene fluoride binder sold under the identifications MC-3470 (cation permeable) and MA-3475 (anion permeable) by Sybron/Ionac; homogenous unsupported membrane sheets based on polyethylene which is sulphonated or aminated with quarternary groups, sold under the tradename, Raipore by RAI Research Corporation; a homogenous type web supported styrene-divinylbenzene based with sulfonic acid or quarternary ammonium functional groups sold under the tradename Neosepta by Tokuyama Soda Co., Ltd.; a homogenous type web supported styrene-divinylbenzene based with sulfonic acid or quarternary ammonium functional groups sold under the name Aciplex by Asahi Chemical Industry Co., Ltd.

As shown in Figure 4a, another important feature incorporated into certain embodiments of the present invention is the use of segmented current generating means. In particular, multiple electrodes forming either a single anode assembly and/or a single cathode assembly are connected to multiple outlet power supply 50, to establish -- when fluid is conducted through the device -- separate current-generating circuits. Typically, the position of each of the multiple electrodes (32a-c and 42a-c) corresponds to each channel grouping (A-C) of each ion depletion and concentration compartment.

Although the use of segmented electrodes is particularly advantageous in respect of the inventive "all parallel" configuration, it is contemplated that advantages can also be realized in EDI devices designed for the serial flow of fluid to and from its product and waste compartments.

The number of segmented anodes and segmented cathodes is desirably related to the number of channel groups in the ion depletion or concentration compartments in a 1:1:1 ratio (anode:cathode:group). For example, as shown in Figure 4a, each concentrating compartment (20_{D2} and 20_{C2}) is provided with three channels connected in the form of a sinusoidal flow path. Each channel grouping -- a channel grouping comprising all the overlapping cross-compartment stack of channels - - is provided with its own paired electrodes, e.g., cathode 32a and anode 42a for channel grouping A, cathode 32b and anode 42b for channel grouping B, and cathode 32c and anode 42c for channel grouping C. Current is provided through each channel grouping A, B, and C separately. As depicted in Figure 4a, each electrode in the cathode and anode assemblies form a separate circuit with multiple outlet power supply 50.

As an alternative to a 1:1:1 ratio between anodes, cathodes, and channel groupings, it is possible that only one of either the anode assembly 40 or the cathode assembly 30 be segmented. The unsegmented electrode assembly in this regard can be a single unitary electroconductive plate configured, for example, to have a wide rectangular area, the extents thereof overlapping in blanket-wise fashion the area occupied by the channels grouping, or -- as shown in Figure 4b in both electrode assemblies 3 and 4 -- a more "form-fitting" sinusoidal shape.

As a further alternative, for certain embodiments, both the cathode and anode assemblies 30 and 40 are segmented, but not in a 1:1:1 ratio with the channel groupings A, B, and C. For example, one can design an electrodeionization device with 3 channel grouping, 3 segmented cathodes, and 2 segmented anodes. Also possible are: 3 channel groupings, 2 segmented cathodes, and 3 segmented anodes; or 3 channel groupings, 2 segmented cathodes, and 2 segmented anodes, or 2 channel groupings, 3 segmented cathodes, and 3 segmented anodes, *etc.* Essentially, segmentation can be present in either or both the electrode assemblies, wherein the number of "segments" is variable.

Though segmented, the individual electrodes collectively cover all the channel groupings of the electrodeionization device, thus enabling one to deliver the appropriate current output to certain areas of the module depending on the degree of deionization required or otherwise desired. Accordingly, a practitioner can easily customize operation of the device to different types of the feed-waters, depending on, for example, ionic content and dissolved carbon dioxide content.

By using unsegmented electrodes, such as in the prior art device shown in Figure 4b, application of constant current through the electrodes 3 and 4 will result in a voltage that rises until it reaches power supply 6's maximum voltage. When this occurs, deionization will end because no further power can be delivered. By employing segmented electrodes, if one of the electrodes peaks to maximum power, then only one electrode in question is affected. The remaining electrodes can still operate and purified water still produced.

Several types of multiple outlet power supplies are currently available commercially from different manufacturers. Different power supplies will vary considerably in function, voltage, number of available outlets, and the like. Appropriate selection will be based on the particular needs of one's application. Though there are no broad limitations governing use of any specific multiple outlet power supply, in certain preferred embodiments, the power supply should be capable of furnishing DC current at a certain voltage to segmented electrical loads; and preferably, should be capable of redundant current sharing such that various segmented loads can be turned off while the remainder of the loads continue to operate.

The multiple-outlet power supply can be a constant current or a constant voltage power supply, although a constant current power supply is preferred, as the output water quality is in part related to the current across the module. Preferably, the output current of the power supply can be set before each use of the system, dependent upon the input water quality and the output range desired.

Other components of a "complete" electrodeionization device can include -- as would be apparent to those skilled in the art -- an external housing or cabinet; an electronic display to provide information relative to the operation of the device; a system of detectors and sensors for monitoring and regulating the flow of fluid through the device; a system of pumps, valves, and conduits leading to and away from the ion depletion and concentration compartments; additional circuitry and wiring, including system logic components; an electronic user interface for inputting instructions and/or data relevant to the conduct of the device; and other like components. The selection and configuration of such components is subject to variation and/or substitution, depending for example on the need and particular objectives of a given application. Details of and means for incorporating such other components can be found, for example, in the available technical literature and/or is within the skill in the art.

Furthermore, the present invention is not limited to a device comprising solely the components, subcomponents, and configurations described herein. The invention can be used either alone or in combination with any number of other liquid purification or separation systems or methods, such as those already known in the art. The invention can be used, for example, with UV-irradiation sources to destroy organic species either upstream or downstream of the inventive device.

While several embodiments are disclosed herein, those skilled in the art, having the benefit of the teaching set forth herein, can effect numerous modifications thereto. These modifications are intended to be within the scope of the present invention as set forth in the appended claims.

Claims

1. An electrodeionization device through which is provided a first and second flow path, the electrodeionization device comprising a plurality of depletion compartments and a plurality of concentration compartments interposed between an anode assembly and a cathode assembly, the depletion and concentration compartments arranged in alternating sequence;

said first flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said depletion compartment substantially contemporaneously;

said second flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said concentration compartment substantially contemporaneously;

each depletion compartment having a plurality of ion depletion channels capable of allowing the release of ions from a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies, each depletion compartment configured such that fluid brought thereinto flows into each said ion depletion channel substantially sequentially; and

each concentration compartment having a plurality of ion concentration channels capable of allowing the migration of ions into a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies, each depletion compartment configured such that fluid brought thereinto flows into each ion concentration channel substantially sequentially.

2. The electrodeionization device of claim 1, wherein either said anode assembly or said cathode assembly comprises a plurality of electrode plates.

3. The electrodeionization device of claim 1, wherein
said anode assembly comprises a plurality of anode plates; and
said cathode assembly comprises a plurality of cathode plates.

4. The electrodeionization device of claim 3, wherein
the number of anode plates, cathode plates, ion depletion channels in each depletion compartment, and ion concentration channels in each concentration compartment is the same.

5. The electrodeionization device of claim 4, where said number is three.

6. The electrodeionization device of claim 2, wherein said anode assembly and said cathode assembly are connected to a single multiple-outlet power supply.
7. The electrodeionization device of claim 3, wherein said anode assembly and said cathode assembly are connected to a single multiple-outlet power supply.
8. The electrodeionization device of claim 1, wherein each depletion and concentration compartment comprises a substantially monolithic thermoplastic framework, said thermoplastic framework formed to define
- (a) said channels of the respective compartment,
 - (b) a fluid inlet and a fluid outlet,
 - (c) a first and second fluid bypass capable of allowing the fluid to pass through said respective compartment without passing through said channels of said respective compartment, and
 - (d) a series of connecting fluid pathways that (i) connect said fluid inlet to the leading channel in said respective compartment, and (ii) connect the trailing channel in said respective compartment to said fluid outlet.
9. The electrodeionization device of claim 8, wherein the thermoplastic framework of each said concentration compartment and each said depletion compartment is essentially identical.
10. An electrodeionization device through which is provided a first and second flow path, the electrodeionization device comprising a plurality of depletion compartments and a plurality of concentration compartments interposed between an anode assembly and a cathode assembly; the depletion and concentration compartments arranged in alternating sequence;
- said first flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said depletion compartment;
 - said second flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said concentration compartment;
 - each depletion compartment having a plurality of ion depletion channels capable of allowing the release of ions from a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies; and
 - each concentration compartment having a plurality of ion concentration channels capable of allowing the migration of ions into a fluid passing therethrough when a current is generated between said anode and cathode assemblies;

wherein at least one of said anode assembly or said cathode assembly comprises a plurality of electrode plates.

11. The electrodeionization device of claim 10, wherein
said anode assembly comprises a plurality of anode plates; and
said cathode assembly comprises a plurality of cathode plates.
12. The electrodeionization device of claim 11, wherein
the number of anode plates, cathode plates, ion depletion channels in each depletion compartment, and ion concentration channels in each concentration compartment is the same.
13. The electrodeionization device of claim 12, wherein said number is three.
14. The electrodeionization device of claim 10, wherein said anode assembly and said cathode assembly are connected to a single multiple-outlet power supply.
15. The electrodeionization device of claim 11, wherein said anode assembly and said cathode assembly are connected to a single multiple-outlet power supply.
16. An electrodeionization device through which is provided a first and second flow path, the electrodeionization device comprising a plurality of depletion compartments and a plurality of concentration compartments interposed between an anode assembly and a cathode assembly; the depletion and concentration compartments arranged in alternating sequence;
said first flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said depletion compartment;
said second flow path configured to introduce fluid into and release fluid from each said concentration compartment;
each depletion compartment and each concentration compartment containing ion-exchange resin beads, the average size of the resin beads in the concentration compartments being substantially smaller than the average size of resin beds in the depletion compartments.
17. The electrodeionization device of claim 16, wherein the diameter of the resin beads is between about 0.033 and about 0.012 inch.

18. The electrodeionization device of claim 16, wherein either said anode assembly or said cathode assembly comprises a plurality of electrode plates.

19. The electrodeionization device of claim 1, wherein each depletion compartment and each concentration compartment contains ion-exchange resin beads, the average size of the resin beads in the concentration compartments being substantially smaller than the average size of resin beds in the depletion compartments.

1. Abstract

An electrodeionization device for large-volume ultra-pure deionization of water is disclosed. The device comprises a plurality of alternating ion depletion and concentration compartments, interposed between an anode assembly and a cathode assembly, through which flows either a product stream or a waste stream. Each compartment contains several fluid-accessible channels packed with an appropriate ion-exchange medium. The flow of the waste and product streams among the compartments is "parallel" (*i.e.*, contemporaneous). The flow of a stream through the compartments -- *i.e.*, through the channels therein -- is "serial" (*i.e.*, sequential). In an embodiment, electrical current is generated through the compartments using segmented electrodes -- either in the anode and/or the cathode assembly -- that are connected to a single multiple-outlet power source. The device is fast, efficient, robust, and its configuration is comparatively easy to scale upwards to accommodate larger water processing volumes.

2. Representative Drawing

Fig. 5

Fig. 1

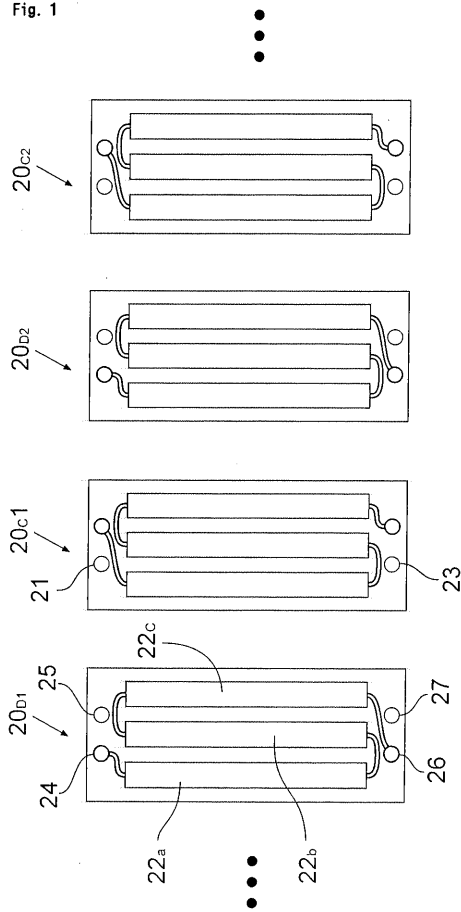


Figure 1

Fig. 2

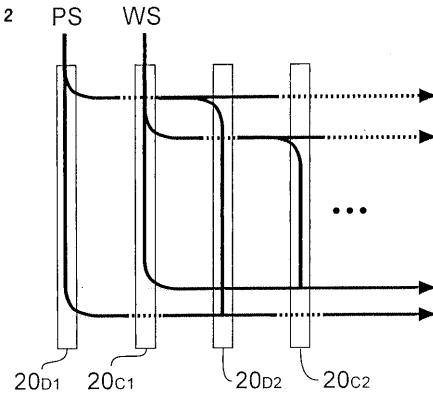


Figure 2

Fig. 3 a

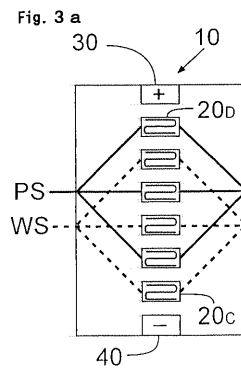


Figure 3a

Fig. 3 b

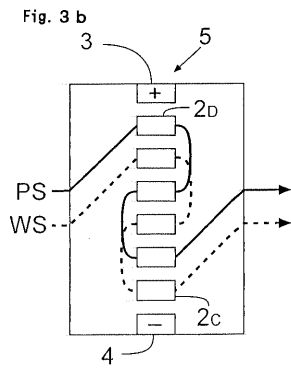


Figure 3b

Fig. 4 a

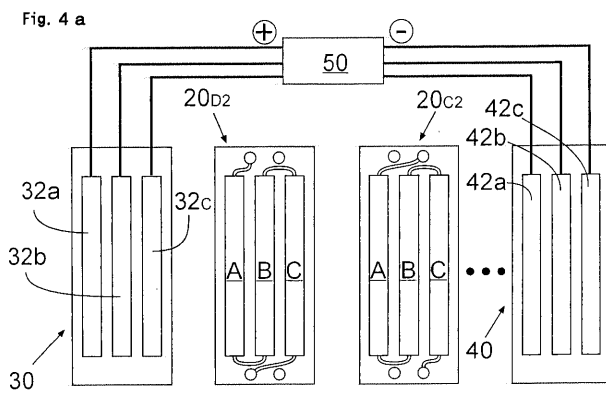


Figure 4a

Fig. 4 b

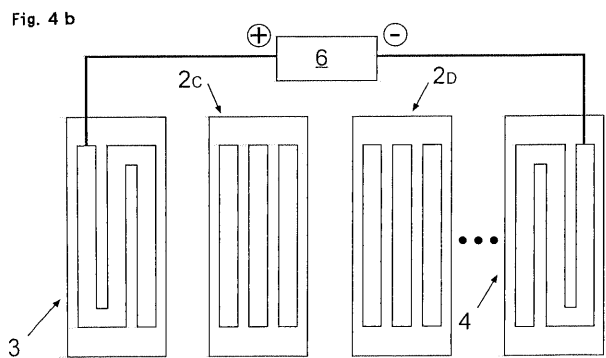


Figure 4b

Fig. 5

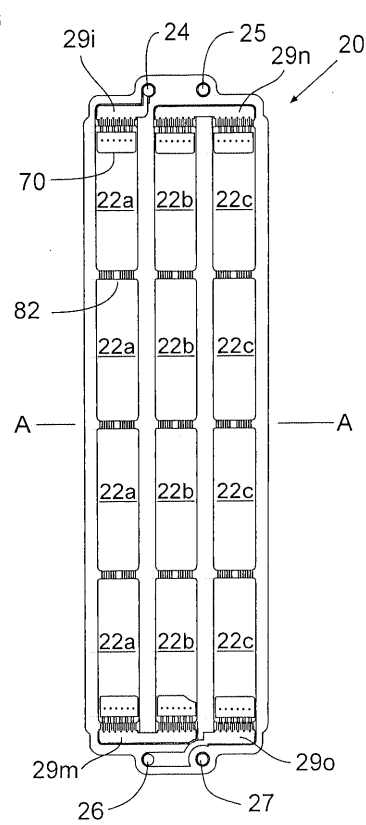


Figure 5

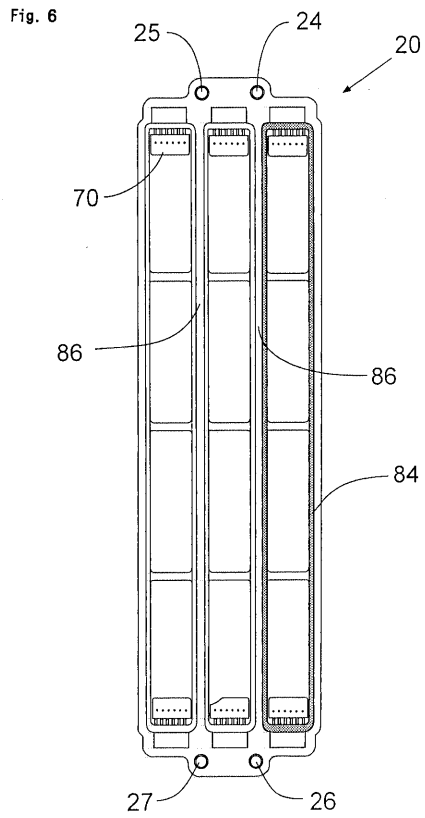


Figure 6

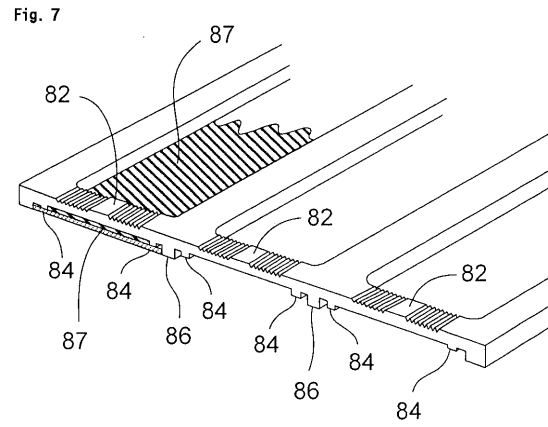


Figure 7

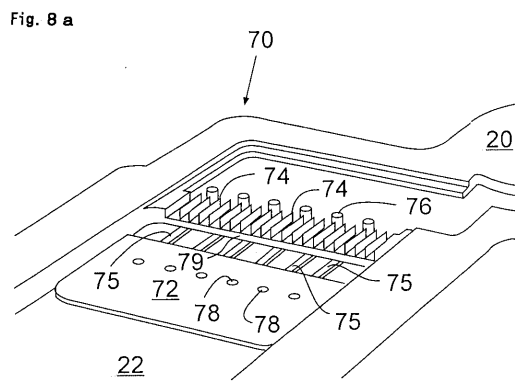


Figure 8a

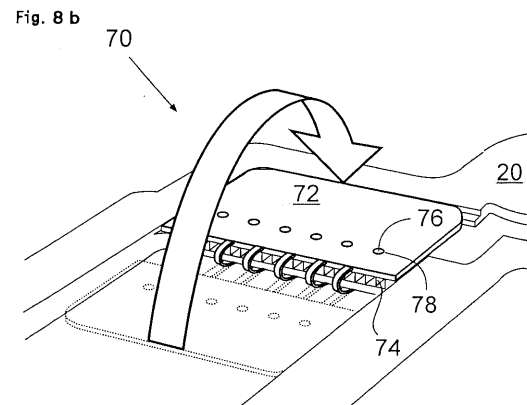


Figure 8b