

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **712 500 A2**

(51) Int. Cl.: **H01M** **10/0525** (2010.01)
H01M **10/058** (2010.01)
H01M **4/13** (2010.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00490/17

(22) Date de dépôt: 11.04.2017

(43) Demande publiée: 30.11.2017

(30) Priorité: 26.05.2016 EP 16171588.3
16.11.2016 EP 16199128.6

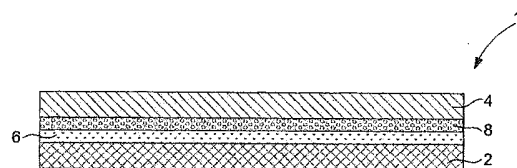
(71) Requérant:
Belenos Clean Power Holding AG, Seevorstadt 6
2502 Bienne (CH)

(72) Inventeur(s):
Cédric Pitteloud, 2800 Delémont (CH)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Cellule électrochimique de batterie lithium-ion rechargeable.**

(57) L'invention se rapporte à une cellule électrochimique (1) de batterie lithium-ion rechargeable, comprenant une électrode positive (2) comprenant un premier matériau actif contenant éventuellement initialement une quantité Q1 de lithium actif, une électrode négative (4) comprenant un second matériau actif et à la surface de laquelle une couche de passivation SEI est susceptible de se former, et un électrolyte pour les ions lithium. L'électrode négative (4) comprend, en regard de l'électrode positive (2), une feuille de lithium perforée (8) présentant une épaisseur et un motif de perforations choisis pour constituer une quantité Q2 de lithium, la quantité Q2 de lithium fournie par la feuille de lithium perforée (8) et la quantité Q1 de lithium actif fourni par le premier matériau actif de l'électrode positive (2) lorsque ledit premier matériau actif comprend initialement du lithium actif, constituant la quantité de lithium nécessaire et suffisante à l'équilibre de la cellule électrochimique (1).



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne une cellule électrochimique de batterie lithium-ion rechargeable comprenant une électrode positive comprenant un premier matériau actif contenant éventuellement initialement une quantité Q1 de lithium actif, une électrode négative comprenant un second matériau actif et à la surface de laquelle une couche de passivation SEI (Solid Electrolyte Interphase) est susceptible de se former, et un électrolyte pour les ions lithium. La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'une telle cellule électrochimique ainsi qu'une batterie lithium-ion rechargeable comprenant de telles cellules électrochimiques.

Arrière-plan de l'invention

[0002] Une telle cellule électrochimique est classiquement utilisée pour la réalisation de batteries lithium-ion rechargeables. Une batterie lithium-ion est un générateur électrochimique qui utilise le lithium sous forme ionique. Elle libère de l'électricité par échange réversible d'ions lithium entre une électrode positive et une électrode négative. Ces électrodes positive et négative comprennent un matériau actif qui est un matériau d'intercalation capable d'insérer/désinsérer du lithium ou de former un alliage avec celui-ci. Lors de la charge, les ions lithium sont désintercalés par oxydation de l'électrode positive, généralement à base d'un oxyde lithié, et migrent à travers l'électrolyte, conducteur ionique, jusqu'à l'électrode négative, généralement à base d'un matériau carboné, qui est réduit avec intercalation de ces ions. Simultanément, les électrons libérés à l'électrode positive rejoignent l'électrode négative à travers le circuit extérieur. Au cours de l'utilisation de la batterie, c'est-à-dire lors de la décharge, les phénomènes inverses s'opèrent spontanément. Ce processus peut se faire de manière similaire en faisant un alliage avec le lithium ou en le défaisant, par exemple dans le cas de l'emploi du silicium comme matériel actif de l'électrode négative où l'alliage est formé durant la charge de la batterie.

[0003] Au cours de la première insertion dans le matériau de l'électrode négative ou de la première formation de l'alliage avec le matériau de l'électrode négative, une partie du lithium actif contenu initialement dans l'électrode positive est consommée de façon irréversible. Cette irréversibilité est causée essentiellement par la formation d'une couche de passivation à la surface de l'électrode négative appelée «Solid Electrolyte Interphase», dite SEI. La SEI est semi-conductrice d'un point de vue électronique, perméable aux ions lithium et imperméable aux autres composants de l'électrolyte. Bien que sa formation consomme du lithium et donc engendre une capacité irréversible, cette couche protectrice joue un rôle salubre dans le bon déroulement des cycles suivants, notamment en isolant l'électrode négative du milieu électrolytique. Toutefois la consommation irréversible de lithium par la SEI entraîne une diminution de la quantité de matière active disponible, d'où une diminution de la quantité de courant pouvant être restituée par la batterie.

[0004] Afin de résoudre ce problème, il a été proposé d'ajouter à la cellule électrochimique du lithium sous forme métallique pour compenser la perte de lithium consommé par la SEI. Ceci permet d'équilibrer de nouveau la quantité de matière active de sorte que les quantités de courant libérées par chacune des deux réactions d'oxydoréduction soient voisines. Ce lithium supplémentaire peut être ajouté par exemple sous forme d'une électrode auxiliaire incorporée dans la cellule en contact avec l'électrolyte mais séparée des deux autres électrodes, tel que décrit dans le brevet US 6 335 115. Cette méthode a comme désavantage qu'il est nécessaire de supprimer cette troisième électrode dans le produit final. Cela pose des problèmes de constructions ainsi que d'avoir une diffusion du lithium la plus homogène pendant la lithiation. Une autre solution consiste à ajouter de la poudre de lithium stabilisée, tel que décrit dans la demande de brevet US 2009/0 035 663. Toutefois, la poudre de lithium due à la grande surface de ses particules est généralement très réactive. Pour pallier ce problème, une couche de protection (carbonate, huile) est formée à sa surface. Après la lithiation, cette couche de protection est toujours présente dans la cellule ajoutant des éléments indésirables et non nécessaires dans la batterie finale. Une autre solution consiste à réaliser une pré-lithiation de l'électrode négative en dehors de la cellule électrochimique, tel que décrit dans la publication WO 96/32 754. Cette méthode présente l'inconvénient d'utiliser un électrolyte pendant cette étape, qui doit être ensuite lavé avant l'assemblage de la cellule.

Résumé de l'invention

[0005] L'invention a notamment pour objectif de pallier ces différents inconvénients.

[0006] Plus précisément, un objectif de l'invention est de proposer une cellule électrochimique de batterie lithium-ion rechargeable dont l'équilibre est préservé lors de son fonctionnement.

[0007] Un autre objectif de l'invention est de proposer une cellule électrochimique de batterie lithium-ion rechargeable permettant d'utiliser, comme matériau actif de l'électrode positive, un matériau qui ne contient pas initialement une quantité suffisante de lithium pour assurer l'équilibre de la cellule électrochimique, voire même un matériau initialement totalement dépourvu de lithium.

[0008] A cet effet, la présente invention concerne une cellule électrochimique de batterie lithium-ion rechargeable, comprenant une électrode positive comprenant un premier matériau actif contenant éventuellement initialement une quantité Q1 de lithium actif, une électrode négative comprenant un second matériau actif et à la surface de laquelle une couche de passivation SEI (Solid Electrolyte Interphase) est susceptible de se former, et un électrolyte pour les ions lithium.

[0009] Selon l'invention, l'électrode négative comprend, en regard de l'électrode positive associée, une feuille de lithium perforée présentant une épaisseur et un motif de perforations choisis pour constituer une quantité Q2 de lithium, la quantité Q2 de lithium fournie par la feuille de lithium perforée et la quantité Q1 de lithium actif fourni initialement par le premier matériau actif de l'électrode positive lorsque ledit premier matériau actif comprend initialement du lithium actif, constituant la quantité de lithium nécessaire et suffisante à l'équilibre de la cellule.

[0010] La présente invention comprend également un procédé de fabrication d'une cellule électrochimique telle que définie ci-dessus, comprenant:

- une étape de calcul de la quantité Q2 de lithium à fournir par la feuille de lithium perforée en fonction de la capacité bloquée dans la SEI, de la capacité du second matériau actif de l'électrode négative et de la capacité du lithium actif éventuellement contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive,
- une étape de détermination de l'épaisseur et du motif de perforations de la feuille de lithium à perforer en fonction de la quantité Q2 calculée,
- une étape de réalisation de la feuille de lithium selon l'épaisseur déterminée et une étape de formation des perforations selon le motif de perforations déterminé,
- une étape d'assemblage de la feuille de lithium perforée réalisée à l'électrode négative, et
- une étape de montage de l'électrode négative et de sa feuille de lithium perforée avec l'électrode positive et l'électrolyte pour former la cellule.

[0011] La présente invention comprend également une batterie lithium-ion rechargeable comprenant des cellules électrochimiques telle que définies ci-dessus.

[0012] L'utilisation d'une feuille de lithium perforée présentant une épaisseur et un motif de perforations déterminés, permet d'obtenir une cellule électrochimique équilibrée, comprenant la quantité de lithium suffisante mais sans excès après le premier cycle, afin de garantir un fonctionnement optimal de ladite cellule électrochimique. La présence d'une feuille de lithium perforée présentant une épaisseur et un motif de perforations déterminés permet également d'utiliser, comme matériau actif de l'électrode positive, un matériau ne contenant pas initialement une quantité suffisante de lithium pour assurer l'équilibre de la cellule électrochimique, voire même un matériau initialement totalement dépourvu de lithium, qui ne pouvait pas être utilisé de manière optimale jusqu'à présent dans une cellule électrochimique d'une batterie lithium-ion rechargeable.

Description sommaire des dessins

[0013] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des figures annexées, parmi lesquelles:

- la fig. 1 représente une vue en coupe schématique d'une cellule électrochimique selon l'invention préparée en vue d'une réalisation d'une batterie lithium-ion par empilement
- les fig. 2 et 3 représentent une vue de dessus schématique de différents motifs de perforation d'une feuille de lithium utilisés selon l'invention,
- les fig. 4 et 5 représentent une vue de détail des perforations des motifs de perforation correspondant aux fig. 2 et 3 respectivement, et
- la fig. 6 représente l'évolution de la capacité d'une cellule électrochimique selon l'invention en fonction du nombre de cycles de décharge-charge, à un niveau de courant de 0.5C entre 2 et 4V.

Description détaillée d'un mode de réalisation préféré

[0014] En référence à la fig. 1, il est représenté une vue en coupe schématique d'une cellule électrochimique 1 selon l'invention. Dans la variante de réalisation représentée, la cellule électrochimique est préparée en vue de la réalisation d'une batterie par empilement, qui peut se présenter sous la forme de poche, dite «pouch» ou de pile-bouton. Il est bien évident que la présente invention s'applique également à la construction de batteries cylindriques, dans lesquelles les électrodes sont enroulées pour former des cellules cylindriques.

[0015] La cellule 1 comprend une électrode positive 2 comprenant un premier collecteur de courant et un premier matériau actif contenant éventuellement initialement une quantité Q1 de lithium actif, ledit premier matériau actif étant appliqué sur les deux faces du premier collecteur de courant. La cellule 1 comprend également une électrode négative 4 comprenant un second collecteur de courant et un second matériau actif, ledit second matériau actif étant appliqué sur les deux faces du second collecteur de courant. La cellule 1 comprend également un séparateur 6 disposé entre l'électrode positive 2 et l'électrode négative 4 associée. La cellule 1 renferme également un électrolyte pour les ions lithium.

[0016] Le premier matériau actif de l'électrode positive 2 comprend un matériau d'intercalation du lithium, c'est-à-dire capable d'insérer/désinsérer du lithium de manière réversible ou de former un alliage de manière réversible avec celui-ci.

Le premier matériau actif de l'électrode positive 2 peut contenir initialement du lithium ou est capable d'être lithié lors de la première décharge de la cellule. De préférence, le premier matériau actif de l'électrode positive peut être choisi parmi le groupe comprenant des oxydes de métal de transition et leurs composés lithiés. Les oxydes de métal de transition sont à base par exemple de cobalt, de manganèse, de molybdène, ou de vanadium. Les composés lithiés comprennent de préférence LiMPO_4 où $M = \text{Ni, Co, Mn, Fe}$ et leurs mélanges, $\text{Li}_x\text{H}_y\text{V}_3\text{O}_8$ où x est compris entre 0 et 4.5 et y est compris entre 0 et 6.5, LiMn_2O_4 , $\text{LiMn}_{1.5}\text{Ni}_{0.5}\text{O}_4$, LiNiMnCoO_2 où le ratio entre Ni, Mn et Co peut varier entre 0 et 1, LiNiCoAlO_2 où le ratio entre Ni, Co et Al peut varier entre 0 et 1, $\text{Li}_2\text{FePO}_4\text{F}$, V_2O_5 , S, $\text{Li}_{1-x}\text{VOPO}_4$, $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$. Il est bien évident que tout matériau actif connu de l'homme du métier approprié pour l'électrode positive peut être utilisé.

[0017] Le premier matériau actif peut être classiquement combiné avec un agent conducteur, par exemple un composé carboné, et un liant, par exemple un liant polymère.

[0018] Le second matériau actif de l'électrode négative 4 comprend un matériau d'intercalation du lithium, c'est-à-dire capable d'insérer/désinsérer du lithium de manière réversible ou de former un alliage de manière réversible avec celui-ci. Il comprend une composition d'intercalation ou d'alliage dans laquelle le lithium peut s'intercaler ou former un alliage lors de la charge. De préférence, le second matériau actif comprend une composition d'intercalation à base de carbone, telle que du graphite, ou une composition d'alliage de silicium, d'aluminium, ou de lithium, telle que $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, ainsi que les alliages intermétalliques à base de Fe, Sn, Sb, Mn, Cu, Ni et autres métaux connus de l'homme du métier pour former des alliages appropriés avec le lithium. La présente invention ne concerne pas ici les batteries Li-métal pour lesquelles l'anode est en lithium-métal.

[0019] Lors de la première charge, une couche de passivation SEI se forme à la surface de l'électrode négative 4. Ce phénomène est connu et ne nécessite pas ici de description détaillée.

[0020] L'électrolyte permet de transporter les ions Li^+ d'une électrode à l'autre. On choisit par exemple un électrolyte liquide composé généralement d'un sel de lithium dissous dans un solvant organique. Le sel de lithium est par exemple l'hexafluorophosphate de lithium (LiPF_6), ou LiClO_4 , LiFSI , LiTFSI , LiBOB , LiDFOB . L'électrolyte peut aussi se présenter sous forme solide, ou être composé de liquides ioniques.

[0021] Ces différents composants de la cellule électrochimique sont connus de l'homme du métier et ne nécessitent pas ici de description détaillée.

[0022] Selon l'invention, l'électrode négative 4 comprend, en regard de l'électrode positive 2 associée, entre l'électrode négative 4 et le séparateur associé 6, une feuille de lithium perforée 8 présentant une épaisseur et un motif de perforations choisis pour constituer une quantité Q2 de lithium, la quantité Q2 de lithium fournie par la feuille de lithium perforée 8 et la quantité Q1 de lithium actif fourni par le premier matériau actif de l'électrode positive 2 lorsque ledit premier matériau actif comprend initialement du lithium actif, constituant la quantité de lithium nécessaire et suffisante à l'équilibre de la cellule 1.

[0023] Une cellule équilibrée est une cellule dans laquelle la quantité de lithium est suffisante, et sans excès après le premier cycle, pour obtenir une cellule dont le fonctionnement est optimal. Cette quantité de lithium fournie au niveau de l'électrode négative par la feuille de lithium perforée ajoutée à la quantité de lithium fourni par le premier matériau actif de l'électrode positive 2 lorsque ledit premier matériau actif comprend initialement du lithium actif doit donc être suffisante pour couvrir la formation de la SEI ainsi que pour lithier entièrement le second matériau actif de l'électrode négative 4. La quantité de matériau actif est liée à la quantité de courant libérée, et donc à la capacité du matériau actif. Au niveau de l'électrode négative, on prévoit généralement une capacité supérieure de 2% à 10%, de préférence de 2% à 5%, à la capacité théorique du deuxième matériau actif de l'électrode négative, notamment afin d'éviter la formation de dendrites.

[0024] En conséquence, l'épaisseur et le motif de perforations de la feuille de lithium perforée 8 sont choisis de sorte que la quantité Q2 de lithium fourni par la feuille de lithium perforée 8 permet d'avoir une capacité du lithium fourni par la feuille de lithium perforée 8 telle que:

capacité du lithium fourni par la feuille de lithium perforée + capacité du lithium actif éventuellement contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive = capacité bloquée dans la SEI + $(1+z)$ x capacité du second matériau actif de l'électrode négative, z étant compris entre 0.02 et 0.1, et de préférence entre 0.02 et 0.5.

[0025] Lorsque le premier matériau actif de l'électrode positive 2 contient initialement du lithium, la capacité du lithium actif alors contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive est connue, et est par exemple fournie par le fabricant. De même, la capacité du second matériau actif de l'électrode négative est connue, et est par exemple fournie par le fabricant. La capacité bloquée dans la SEI est également connue et est déterminée par expérience. La SEI est calculée comme étant la différence de charge entre le premier et deuxième cycle d'un système de demi-pile «second matériau actif/lithium métallique», le lithium métallique constituant l'électrode négative du système.

[0026] Une fois la capacité du lithium à fournir par la feuille de lithium perforée calculée, l'épaisseur de la feuille de lithium et le motif de perforations sont déterminés pour obtenir ladite capacité, et donc la quantité de lithium Q2.

[0027] Notamment, le motif de perforations de la feuille de lithium forme des perforations dont les dimensions, les formes, les dispositions, les entraxes, les rapports d'ouverture, sont choisis en combinaison avec l'épaisseur de ladite feuille de lithium perforée pour fournir la quantité de lithium Q2.

[0028] De préférence, les dimensions des perforations sont telles que la distance entre le centre de la perforation et le bord de la perforation est inférieure à 2 mm, et de préférence inférieure à 1.5 mm.

[0029] La fig. 2 représente une vue de dessus schématique d'un motif de perforations d'une feuille de lithium perforée 8 sous la forme de perforations circulaires et la fig. 4 représente le détail d'une perforation. La distance x entre le centre de la perforation et le bord de la perforation est inférieure à 2 mm, et de préférence inférieure à 1.5 mm. On peut utiliser par exemple une plaque de lithium perforée R3T4 comprenant des trous ronds de 3 mm de diamètre disposés en quinconce à 60° avec un entraxe de 4 mm, donnant un pourcentage de vide de 51.02%.

[0030] La fig. 3 représente une vue de dessus schématique d'un motif de perforations d'une feuille de lithium perforée 8 sous la forme de perforations trapézoïdales et la fig. 5 représente le détail d'une perforation. La distance x entre le centre de la perforation et le bord de la perforation est inférieure à 2 mm, et de préférence inférieure à 1.5 mm.

[0031] Il est bien évident que toute autre forme de perforations peut être utilisée.

[0032] Les perforations sont réalisées dans la feuille de lithium par tout procédé connu de l'homme du métier, par exemple par déchirements successifs et réguliers avec des points puis étirement de la matière.

[0033] L'épaisseur de la feuille de lithium peut être comprise entre 30 µm et 200 µm.

[0034] L'invention permet d'utiliser des feuilles de lithium dont l'épaisseur est encore suffisamment grande pour permettre d'utiliser facilement un procédé de fabrication des feuilles de lithium par laminage, mais sans excès de lithium, afin d'obtenir une cellule équilibrée. L'apport de lithium par la feuille de lithium perforée permet de pouvoir utiliser pour l'électrode positive, des matériaux actifs pauvres en lithium ou sans lithium, qui ne pouvaient pas être utilisés jusqu'à présent dans les cellules électrochimiques connues.

[0035] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une cellule électrochimique telle que définie ci-dessus, et comprenant:

- une étape de calcul de la quantité Q2 de lithium à fournir par la feuille de lithium perforée, déterminée comme on l'a vu ci-dessus à partir de la capacité de lithium à fournir, elle-même calculée à partir de la capacité bloquée dans la SEI, de la capacité du second matériau actif de l'électrode négative et de la capacité du lithium actif éventuellement contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive,
- une étape de détermination du motif de perforations et de l'épaisseur de la feuille de lithium à perforer en fonction de la quantité Q2 calculée,
- une étape de réalisation de la feuille de lithium selon l'épaisseur déterminée et une étape de formation des perforations selon le motif de perforations déterminé,
- une étape d'assemblage de la feuille de lithium perforée réalisée à l'électrode négative, et
- une étape de montage de l'électrode négative et de sa feuille de lithium perforée avec l'électrode positive et l'électrolyte pour former la cellule.

[0036] Une fois réalisée, la feuille de lithium perforée 8 peut être assemblée à l'électrode négative 4 en regard de l'électrode positive 2 associée, entre l'électrode négative 4 et le séparateur associé 6, par laminage ou tout autre procédé approprié. Puis les autres éléments de la cellule sont assemblés d'une manière connue de l'homme du métier. Le tout est imprégné d'électrolyte.

[0037] La présente invention concerne également une batterie lithium-ion rechargeable comprenant des cellules électrochimiques telles que définies ci-dessus.

[0038] L'exemple suivant illustre la présente invention sans toutefois en limiter la portée.

Exemple:

[0039] Des cellules sont réalisées en utilisant pour chaque cellule:

- une électrode positive comprenant une couche active contenant comme matériau actif $\text{Li}_{0.5}\text{H}_{1.5}\text{V}_3\text{O}_8$, des composés de carbone conducteurs et un liant, la couche active étant déposée sur chaque face d'un collecteur de courant
- une électrode négative à base de carbone
- des feuilles de lithium perforées R3T4 d'épaisseur 50 µm, laminées sur chaque face de l'électrode négative
- un séparateur à base de polyéthylène disposé entre l'électrode positive et l'électrode négative recouverte de sa feuille de lithium perforée.

[0040] Une batterie est réalisée par empilement de ces cellules, ajout de l'électrolyte, et fermeture par scellage sous vide.

[0041] Le circuit ouvert de la cellule montre un potentiel positif de 3.5 V lorsque l'électrode négative est en carbone recouverte de sa feuille de lithium perforée. La batterie est ensuite chargée à 4V et différents cycles sont effectués. La fig. 6 représente l'évolution de la capacité de la batterie de l'invention en fonction du nombre de cycles de décharge-charge, à un niveau de courant de 0.5C entre 2 et 4V. Les résultats montrent que la batterie comprenant une feuille de lithium perforée selon l'invention peut être opérationnelle sur plusieurs cycles même si le matériau actif de l'électrode positive ne contient pas initialement une quantité suffisante de lithium qui permettrait d'assurer l'équilibre des cellules.

Revendications

1. Cellule électrochimique (1) de batterie lithium-ion rechargeable, comprenant une électrode positive (2) comprenant un premier matériau actif contenant éventuellement initialement une quantité Q1 de lithium actif, une électrode négative (4) comprenant un second matériau actif et à la surface de laquelle une couche de passivation SEI (Solid Electrolyte Interphase) est susceptible de se former, et un électrolyte pour les ions lithium, caractérisé en ce que l'électrode négative (4) comprend, en regard de l'électrode positive (2), une feuille de lithium perforée (8) présentant une épaisseur et un motif de perforations choisis pour constituer une quantité Q2 de lithium, la quantité Q2 de lithium fournie par la feuille de lithium perforée (8) et la quantité Q1 de lithium actif fourni par le premier matériau actif de l'électrode positive (2) lorsque ledit premier matériau actif comprend initialement du lithium actif, constituant la quantité de lithium nécessaire et suffisante à l'équilibre de la cellule électrochimique (1).
2. Cellule selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'épaisseur et le motif de perforations de la feuille de lithium perforée (8) sont choisis de sorte que la quantité Q2 de lithium fournie par la feuille de lithium perforée (8) permet d'avoir une capacité du lithium fournie par la feuille de lithium perforée (8) telle que:
capacité du lithium fournie par la feuille de lithium perforée + capacité du lithium actif éventuellement contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive = capacité bloquée dans la SEI + $(1+z) \times$ capacité du second matériau actif de l'électrode négative, z étant compris entre 0.02 et 0.1.
3. Cellule selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le motif de perforations de la feuille de lithium (8) forme des perforations dont les dimensions, les formes, les dispositions, les entraxes, les rapports d'ouverture, sont choisis en combinaison avec l'épaisseur de ladite feuille de lithium perforée (8) pour fournir la quantité de lithium Q2.
4. Cellule selon la revendication précédente, caractérisée en ce que les dimensions des perforations sont telles que la distance entre le centre de la perforation et le bord de la perforation est inférieure à 2 mm, et de préférence inférieure à 1.5 mm.
5. Cellule selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le premier matériau actif de l'électrode positive (2) comprend un premier matériau d'intercalation du lithium.
6. Cellule selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le premier matériau actif de l'électrode positive (2) est choisi parmi le groupe comprenant des oxydes de métal de transition et leurs composés lithiés.
7. Cellule selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le second matériau actif de l'électrode négative (4) est une composition d'intercalation ou d'alliage de lithium.
8. Cellule selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le second matériau actif de l'électrode négative (4) comprend un second matériau d'intercalation du lithium.
9. Procédé de fabrication d'une cellule électrochimique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend:
 - une étape de calcul de la quantité Q2 de lithium à fournir par la feuille de lithium perforée (8) en fonction de la capacité bloquée dans la SEI, de la capacité du second matériau actif de l'électrode négative (4) et de la capacité du lithium actif éventuellement contenu initialement dans le premier matériau actif de l'électrode positive (2),
 - une étape de détermination du motif de perforations et de l'épaisseur de la feuille de lithium (8) à perforer en fonction de la quantité Q2 calculée,
 - une étape de réalisation de la feuille de lithium perforée (8) selon l'épaisseur déterminée et une étape de formation des perforations selon le motif de perforations déterminé,
 - une étape d'assemblage de la feuille de lithium perforée (8) réalisée à l'électrode négative (4), et
 - une étape de montage de l'électrode négative (4) et de sa feuille de lithium perforée (8) avec l'électrode positive (2) et l'électrolyte pour former la cellule.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la feuille de lithium perforée (8) est assemblée à l'électrode négative (4) en regard de l'électrode positive (2) par laminage.
11. Batterie lithium-ion rechargeable comprenant des cellules électrochimiques selon l'une des revendications 1 à 8.

Fig. 1

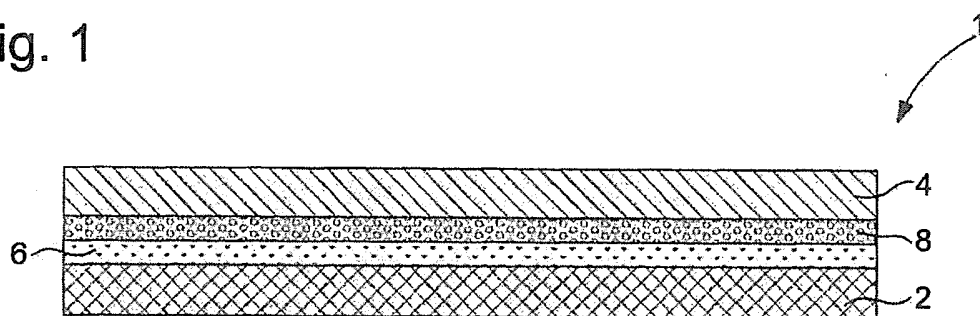


Fig. 2

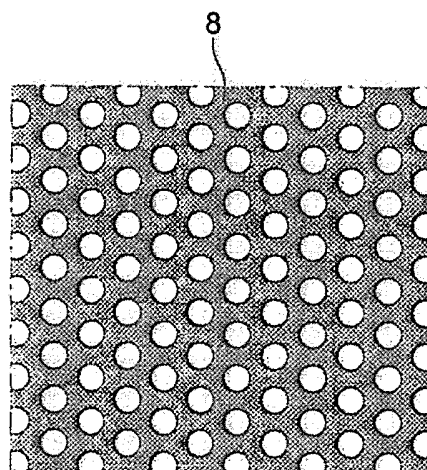


Fig. 3

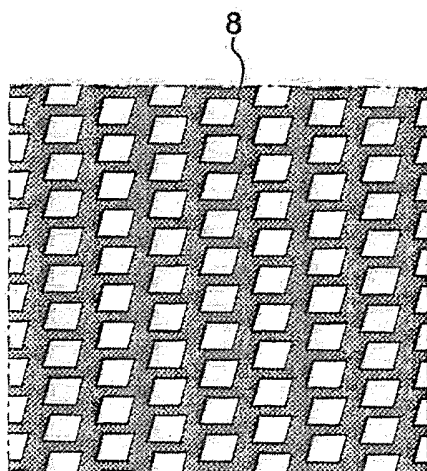


Fig. 4

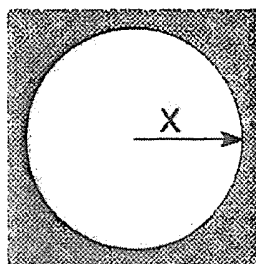


Fig. 5

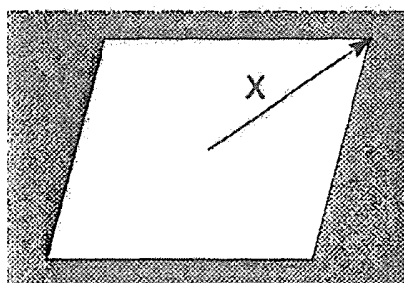


Fig. 6

