



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2007 001 382 T5** 2009.05.07

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/143640**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 001 382.6**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2007/070387**  
(86) PCT-Anmeldetag: **05.06.2007**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **13.12.2007**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **07.05.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01M 4/48** (2006.01)  
**C01G 23/04** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

<b>60/810,942</b>	<b>05.06.2006</b>	<b>US</b>
<b>60/822,675</b>	<b>17.08.2006</b>	<b>US</b>
<b>11/757,658</b>	<b>04.06.2007</b>	<b>US</b>

(71) Anmelder:

**T/J Technologies, Inc., Ann Arbor, Mich., US**

(74) Vertreter:

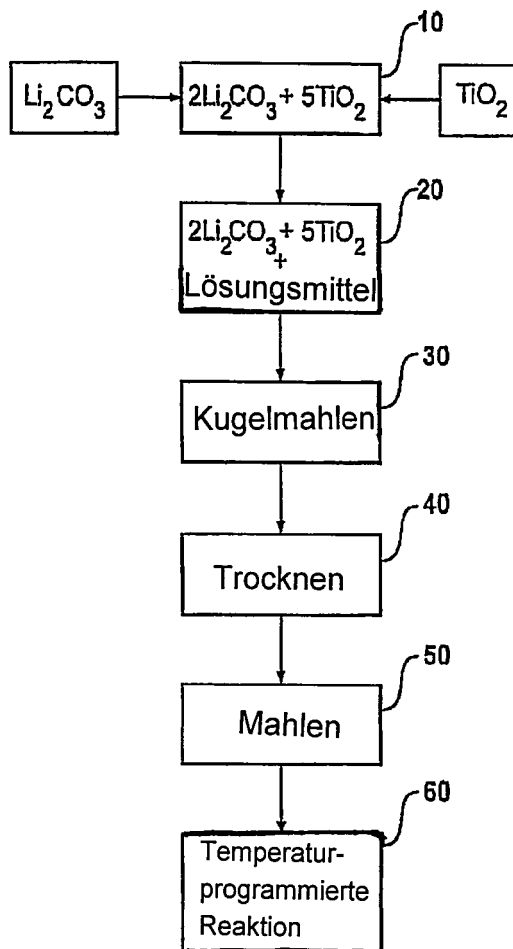
**KRONTHALER, SCHMIDT & COLL.**  
Patentanwaltskanzlei, 80538 München

(72) Erfinder:

**Zhang, Pu, Ann Arbor, Mich., US; Mani, Suresh,**  
**Ann Arbor, Mich., US; Wixom, Michael R., Ann**  
**Arbor, Mich., US**

(54) Bezeichnung: **Alkalimetalltitanate und Verfahren zu deren Synthese**

(57) Hauptanspruch: Ein Material, welches dotiertes Lithiumtitanat aufweist.



**Beschreibung****QUERVERWEIS AUF ZUGEHÖRIGE ANMELDUNGEN**

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 60/810,942, angemeldet am 5. Juni 2006 mit dem Titel „Alkali Metal Titanates and Methods for Their Synthesis“, und die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 60/822,675, angemeldet am 17. August 2006 mit dem Titel „Doped Lithium Titanate Material and Methods for Its Manufacture“, welche hier beide durch Inbezugnahme aufgenommen sind.

**TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0002]** Die Erfindung betrifft allgemein Alkalimetalltitanate und besonders Lithiumtitanate. Im Spezielleren bezieht sich die Erfindung auf dotierte Lithiumtitanate und auf ein Verfahren zur Herstellung von Lithiumtitanatmaterialien, welche ausgezeichnete elektrochemische Eigenschaften zeigen, wenn sie Teil von Lithiumbatterien sind.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0003]** Alkalimetalltitanate haben elektrochemische Eigenschaften, welche sie als Elektrodenmaterial für eine Vielfalt von Vorrichtungen wünschenswert machen. Lithiumtitanat ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) hat sich insbesondere nützlich als Elektrodenmaterial für Lithiumbatterien- bzw. akkumulatoren erwiesen. Es ist ein relativ kostengünstiges Material und zeigt Hochleistungseigenschaften in Lithiumbatterien. Demzufolge ist zu erwarten, dass es eine signifikante Nützlichkeit als ein Elektrodenmaterial für starke Hochleistungsbatterien- bzw. akkumulatoren, wie sie beispielsweise in Hybrid-Elektrofahrzeugen und anderen Hochleistungsanwendungen verwendet werden, hat.

**[0004]** Eine wichtige Eigenschaft von Hochleistungsbatterien ist die Ladestromkapazität (rate capacity). Das ist die Geschwindigkeit, mit der Akkumulatoren eine elektrische Ladung speichern und abgeben können. Dieser Parameter ist besonders wichtig bei hohen Lade-/Entlageschwindigkeiten, wie sie bei Elektrofahrzeugen und anderen Hochleistungsanwendungen auftreten.

**[0005]** Ein anderer wichtiger Parameter für die Wiederaufladbarkeit von Lithiumbatterien ist die Erstladezyklus-Reversibilität (first cycle reversibility). Dieser Parameter misst die Abnahme der Speicherkapazität, wenn eine frisch hergestellte Lithiumbatterie einen anfänglichen Zyklus durchläuft. Die Hersteller kompensieren diesen anfänglichen Verlust durch Schaffung von Extrakapazität in Batterien. Jedoch steigert dieser Lösungsansatz die Größe und die Kosten von Batterien, und die Industrie war immer bestrebt, die Größe der Reversibilität des ersten Zyklus zu begrenzen.

**[0006]** Im Handel sind verschiedene Lithiumtitanatmaterialien erhältlich, welche bei der Herstellung von Lithiumbatterien benutzt werden. Jedoch bringen hierfür im Handel verfügbare Materialien Lithium-Akkumulatoren mit einer Erstladezyklus-Reversibilität von ungefähr 80% hervor, welches eine signifikante Ineffizienz darstellt. Darüber hinaus besteht ein Bedarf, die Ladestromkapazitäten (rate capacities) von vorbekannten Batterien bzw. Akkumulatoren zu verbessern, um diese zum Gebrauch für Hochleistungsanwendungen praktikabel zu machen. Eindeutig besteht ein Bedarf nach verbesserten Lithiumtitanatelektrodenmaterialien.

**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG**

**[0007]** Es wird ein dotiertes Lithiumtitanatmaterial offenbart. In besonderen Ausführungen kann die Dotiersubstanz ein Übergangsmetall aufweisen, und dieses Metall kann eines oder mehrere aus der Gruppe V, Zr, Nb, Mo, Mn, Fe, Cu und Co sein. Die Dotiersubstanz kann in Mengen von bis zu 20 Atomprozent bzw. Molprozent vorhanden sein und in spezifischen Fällen in einem Bereich von 0,1–5 Atomprozent vorhanden sein. Insbesondere kann die Dotiersubstanz Zr aufweisen.

**[0008]** Weiterhin ist ein Verfahren zur Herstellung von Alkalimetalltitanaten, wie z. B. dotieren und/oder undotierten Lithiumtitanaten offenbart. Das Verfahren beinhaltet die Herstellung eines Gemisches einer Alkalimetallverbindung, wie z. B. Lithiumkarbonat, zusammen mit einer Titanverbindung, wie z. B. Titandioxid oder einige andere Oxide von Titan, einschließlich Suboxide. Diese Mischung wird gemahlen mit einem Prallmühlverfahren durch Kugelmahlen, Attritmahlen oder dergleichen, und das resultierende Gemisch wird erhitzt für eine Zeit und bei einer Temperatur, welche ausreichend sind, eine Reaktion zu erzielen, welche die Alkalimetalltitanate formt. Ein Dotiermaterial oder Dotier-Precursor kann dem Gemisch vor oder nach dem Verfahren-

schritt des Mahlens zugegeben werden.

[0009] Weiterhin werden Elektroden offenbart, welche Alkalimetalltitanate gemäß dem Voranstehenden umfassen, sowie Batterien, in welchen diese Elektroden die Anoden umfassen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0010] [Fig. 1](#) ist ein Ablaufdiagramm, welches einen Syntheseprozess zur Darstellung von Alkalimetalltitanaten zeigt;

[0011] [Fig. 2](#) ist eine grafische Darstellung der Zeit über der Temperatur, welche einen temperaturprogrammierten Reaktionsplan zeigt, welcher zur Herstellung der Titanatmaterialien benutzt werden kann;

[0012] [Fig. 3](#) ist eine andere grafische Darstellung der Zeit über der Temperatur, welche eine andere temperaturprogrammierte Reaktion zeigt, welche zur Herstellung der Materialien genutzt werden kann;

[0013] [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, welches die Kapazitätsretention einer Zelle, welche eine Lithiumtitanatanode beinhaltet, zeigt;

[0014] [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, welches den Lebenszyklus der Zelle der [Fig. 4](#) zeigt; und

[0015] [Fig. 6](#) ist ein Diagramm, welches den Kapazitätsverlust im ersten Ladezyklus einer aus dem Stand der Technik bekannten Zelle und einer Zelle, welche das in Rede stehende Lithiumtitanatmaterial beinhaltet, zeigt.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0016] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist ein dotiertes Lithiumtitanatmaterial vorgesehen. Generell wird bei Lithiumtitanat angenommen, dass es die Formel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  hat. Jedoch ist es in der Wissenschaft auch anerkannt, dass die Stöchiometrie dieses Materials in einigen Fällen auch variieren kann, ohne dass die grundlegende Natur des Materials signifikant geändert wird. Solche Variationen können das Ergebnis einer leichten Oxidation oder Reduktion des Materials, geringfügiger Variationen des LiTi-Verhältnisses und der Anwesenheit von Arten von Dotiersubstanzen sein. Entsprechend sind innerhalb des Kontextes dieser Offenbarung alle solchen stöchiometrischen und nicht stöchiometrischen Materialien von der Definition Lithiumtitanat umfasst.

[0017] In einer spezifischen Gruppe von Ausführungen ist das Lithiumtitanat dotiert mit einem Übergangsmetall in einer Menge von bis zu ungefähr 20 Atomprozent (Molprozent), und einige solcher Übergangsmetalle inkludieren ein oder mehr der Metalle V, Zr, Nb, Mo, Mn, Fe, Cu und Co. In einem besonderen Fall, wie er hier erörtert wird, weist die Dotiersubstanz Zr auf, welches in besonderen Fällen in einer Menge von 0,1–5 Atomprozent des Materials vorliegt.

[0018] In einer Gruppe von Experimenten wurden undotiertes Lithiumtitanat herkömmlicher Art und Lithiumtitanat dotiert mit ungefähr 1% Zirkonium gemäß der vorliegenden Lehre aufgenommen in Anoden von Halbzellen, und die Leistung dieser Anoden wurde in Standardverfahren beurteilt im Hinblick auf die Ladekapazität als eine Funktion von verschiedenen Ladegeschwindigkeiten bzw. charge rates C. Die Daten der experimentellen Serien sind zusammengefasst in der nachfolgenden Tabelle 1 sowohl hinsichtlich der dotierten als auch der undotierten Lithiumtitanatmaterialien.

Tabelle 1

Probe		Kapazität unter unterschiedlichen Geschwindigkeiten (rates) (mAh/g)						Reversibilität (%)
		C/10	1C	3C	6C	10C	20C	
A: PZ-J28A	Standard-LTO	174	170	160	149	129	91	95
B: PZ-J28B	LTO mit 1% Dotiersubstanz Zr	174	170	166	161	157	140	95
(B – A)/A	Wertänderung	0%	0%	4%	8%	22%	54%	0%

**[0019]** Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, bieten sich dotierte Materialien für Zellen an, welche eine hohe Ladekapazität unter hohen Lade- und Entladegeschwindigkeiten offenbaren. Diese Verbesserungen sind am größten bei sehr hohen (10–20C) Geschwindigkeiten (rates) und als ein Ergebnis ist festzuhalten, dass Zellen, welche unter Verwendung des dotierten Lithiumtitanatmaterials hergestellt sind, besondere Vorteile zum Gebrauch in Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsanwendungen, wie z. B. bei Elektrofahrzeugen und Backup-Stromsystemen, haben. Ähnliche Resultate zu den vorhergehenden sind zu erwarten, wenn andere Übergangsmetalle als Dotiermittel verwendet werden. Die Dotiermittelkonzentrationen reichen generell bis zu 20 Atomprozent des Materials.

**[0020]** Es gibt ziemlich viel Stand der Technik, welcher die Synthese von Lithiumtitanatmaterialien betrifft, und verschiedene bekannte Prozesse können genutzt werden, um die oben beschriebenen dotierten Lithiumtitanatmaterialien herzustellen. Während solche vorbekannten Prozesse genutzt werden können, wurde weiterhin im Rahmen der vorliegenden Erfindung erkannt, dass sehr hochqualitative Alkalimetalltitanate – sowohl dotierte als auch undotierte – hergestellt werden können durch einen Prozess, welcher ein Prallmahlen der Ausgangsmaterialien zur Produktion eines innigen Gemisches einschließt. Dieses Gemisch wird dann einer Reaktion unter erhöhten Temperaturen unterzogen, um die Alkalimetalltitanate zu produzieren.

**[0021]** Die [Fig. 1](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Prozesses, welcher zur Synthese sowohl von dotierten als auch von undotierten Lithiummetalltitanaten genutzt werden kann. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, wird das Lithiumtitanat in einem Schritt **10** hergestellt aus einer Mischung von  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  und  $\text{TiO}_2$  mit einem Molverhältnis von 2:5. Diese Precursor-Materialien werden in einem Schritt **20** mit einem Lösemittel, wie z. B. Isopropanol, gemischt. Andere Lösemittel, einschließlich organischer Lösemittel, einschließlich organischer Flüssigkeiten, wässriger Flüssigkeiten und dergleichen, können soweit genutzt werden, als sie den Prozess nicht stören. Das Gemisch wird dann in einem Schritt **30** einem Kugelmahlen unterzogen. Es wird ein typischer Mahlprozess ausgeführt in Keramikgefäßen unter Verwendung von Zirkonoxid-Mahlmitteln für ungefähr 48 Stunden, wenngleich Mahlzeiten typischerweise von 10 Minuten bis zu 240 Stunden reichen können. In einem spezifischen Anwendungsfall dauert das Mahlen mindestens 12 Stunden. Während der Schritt **30** einen Kugelmahlprozess wiedergibt, kann jedes Prallmahlverfahren, wie z. B. ein Attritormahlen, ein Vibrationsmahlen oder dergleichen, angewandt werden. Nach dem Mahlen wird das Precursor-Gemisch in einem Schritt **40** getrocknet, um das Lösungsmittel zu entfernen, und in einem Schritt **50** zermalmte, um feines Pulver zu erzeugen. Die gemischten Precursor-Substanzen werden dann einer temperaturprogrammierten Reaktion (TPR) unter Luft oder Sauerstoff oder einem inerten Gas in einem Ofen in Schritt **60** unterzogen.

**[0022]** Das Material wird typischerweise erhitzt bis zu einer Temperatur von nicht mehr als 1000°C. In einem typischen Verfahren wird das Material von Raumtemperatur auf eine Temperatur von 400°C über einen Zeitraum von 0,5 Stunden gebracht; bei 400°C für 2,5 Stunden gehalten; auf 800°C über einen Zeitraum von 3 Stunden erhitzt; für 12 Stunden bei 800°C gehalten und dann auf Raumtemperatur abgekühlt, wie es in dem Zeit-Temperatur-Diagramm in [Fig. 2](#) gezeigt ist. In einem anderen repräsentativen Verfahren wird das Material von Raumtemperatur auf eine Temperatur von 800°C über einen Zeitraum von einer Stunde gebracht, bei 800°C für zwei Stunden gehalten und dann auf Raumtemperatur abgekühlt, wie es in [Fig. 3](#) dargestellt ist.

**[0023]** In den Fällen, in denen eine Dotiersubstanz in das Lithiumtitanatmaterial aufgenommen ist, kann dieses Dotiermaterial dem Ausgangsmaterialgemisch vor dem Verfahrensschritt des Prallmahls zugegeben werden. In einem repräsentativen Syntheseprozess wird dotiertes Lithiumtitanat hergestellt aus Ausgangsmaterialien, welche  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  und  $\text{TiO}_2$  beinhalten, zusammen mit einer Dotier-Precursor-Verbindung, welche zur Veranschaulichung ein Zirkonoxid-Dotiermittel ist. Der Precursor kann ein Carbonat, Acetat, Chlorid, Alkoxid oder eine andere Verbindung von Dotiermetall sein. Im Falle von Zirkonoxid beträgt das molare Verhältnis  $\text{Li}:(\text{Ti} + \text{Zr})$  4:5 mit einer Konzentration an Zr, welche 0,1–5 Molprozent von  $\text{Ti} + \text{Zr}$  entspricht. Die Precursor werden in einem geeigneten Lösungsmittel gemischt, gemahlen und weiterbehandelt wie oben beschrieben, um das dotierte Material herzustellen.

**[0024]** Es hat sich gezeigt, dass Titanatmaterialien – sowohl dotierte als auch undotierte, welche nach dem vorhergehenden Verfahren, bei dem Precursor-Materialien zusammen gemahlen werden, Titanatprodukte bilden, bessere Eigenschaften aufweisen, welche sich an Zellen, in denen diese enthalten sind, zeigen. Als solche unterscheiden sich die Verfahren und Materialien der vorliegenden Erfindung von denen aus dem Stand der Technik, zu dem anerkannt wird, dass er den Gebrauch von Prallmahlschritten umfasst, welche bei dem Titanatmaterial angewandt werden, nach dem es dargestellt wurde.

**[0025]** Die nachfolgende Tabelle 2 fasst einige physikalische Parameter zusammen, welche zu bekannten Lithiumtitanatmaterialien, in der Tabelle bezeichnet mit „bekannte LTO“, und zu Materialien, welche in vorbe-

schriebener Art und Weise hergestellt wurden und in der Tabelle als „T/J LTO“ bezeichnet sind, gemessen wurden.

Tabelle 2

Parameter	bekannte LTO	T/J LTO
Partikelgröße ( $\mu\text{m}$ )	< 1	~ 5
Oberflächenareal ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	60	4
Innenleitfähigkeit ( $\text{S}/\text{cm}$ )	$1.14 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-4}$
Reversibilität	80%	95%

**[0026]** Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, hat das Material, welches gemäß dem vorliegenden Verfahren hergestellt wurde, eine größere Partikelgröße als das bekannte Material. Ebenso ist das Oberflächenmaterial der Materialien der vorliegenden Erfindung entsprechend kleiner was bedeutet, dass die Materialien der vorliegenden Erfindung in einer elektrochemischen Umgebung stabiler oder sicherer sein können als bekanntes Material. Die Ionenleitfähigkeit des Materials der vorliegenden Erfindung ist um ungefähr eine Größenordnung höher als die Ionenleitfähigkeit des bekannten Materials. Am signifikantesten ist, dass die Erstladezyklus-Reversibilität von Zellen, welche Material der vorliegenden Erfindung beinhalten, bei ungefähr 95% liegt, während die Reversibilität bekannten Materials nur 80% beträgt.

**[0027]** Es wurden Zellen, welche nach der vorstehend genannten Art und Weise hergestellte Lithiumtitanatnanoden aufweisen, und solche, welche konventionelle Lithium-Eisen-Phosphat-Katoden beinhalten, bereitgestellt und untersucht. Die [Fig. 4](#) zeigt das Ladepotential (rate capability) von Zellen, welche mit Benutzung von in Rede stehenden Lithiumtitanatmaterialien hergestellt wurden. Wie ersichtlich ist, zeigt die Zelle von [Fig. 4](#) ein exzellentes Ladepotential mit 98% Kapazitätsretention bei einer 20C Entladegeschwindigkeit, und 91% Kapazitätsretention bei einer 50C Geschwindigkeit. Zellen dieses Typs haben einen exzellenten Gebrauchswert in starken Hochleistungsanwendungen.

**[0028]** [Fig. 5](#) zeigt den Lebenszyklus einer Zelle des in [Fig. 4](#) dargestellten Typs und bildet die Entladungs-Kapazitätsretention als eine Funktion von Lade-/Entladezyklen, welche bei 3C/-3C durchgeführt werden, ab.

**[0029]** Wie ersichtlich ist, behält diese Zelle über 90% seiner Kapazität nach 6000 Zyklen.

**[0030]** Es wurden weitere Test ausgeführt, um den Kapazitätsverlust beim Erstladezyklus der vorgenannten Batterien zu messen, und die Resultate hiervon sind in [Fig. 6](#) gezeigt. Wie ersichtlich ist, zeigten diese Batterien einen Kapazitätsverlust für den ersten Ladezyklus von annähernd 5% im Vergleich zu typischen Verlusten von ungefähr 20% bei ähnlichen Zellen, welche unter Benutzung kommerziell erhältlicher Lithiumtitanatnanodenmaterialien hergestellt wurden. Darüber hinaus lieferten die Anodenmaterialien der vorliegenden Erfindung ungefähr 160–175 mAh/g über wiederholte Zyklen und behielten eine Kapazität von wenigstens 100 mAh/g bei Ladezyklen mit einer 20C-Geschwindigkeit. Die Leistungsfähigkeit der Materialien der vorliegenden Erfindung übersteigt weit die der bekannten Anodenmaterialien, und zwar sowohl solcher, welche auf Titanat basieren, als auch solcher, welche auf Graphit basieren.

**[0031]** Wie ersichtlich ist, schafft die vorliegende Erfindung hochqualitative Lithiumtitanatmaterialien und Verfahren zu deren Synthese. Die Materialien der vorliegenden Erfindung haben Eigenschaften, welche die Herstellung von Lithiumbatterien erlauben, die stabil, effizient und in der Lage sind, zuverlässig sehr hohe Strompegel zu liefern. Diese Eigenschaften zusammen mit den niedrigen Kosten, welche durch den Gebrauch der offenbarten Verfahren erreicht werden, machen diese Technologie insbesondere vorteilhaft für die Herstellung von Hochleistungsbatteriesystemen, wie sie in Elektrofahrzeugen, großen Elektrowerkzeugen, Strom-Backup-Systemen und dergleichen verwendet werden.

**[0032]** Wenngleich die Erfindung mit Bezug auf bestimmte Lithiumtitanatmaterialien beschrieben wurde, versteht es sich, dass sie auch für die Herstellung anderer Alkalimetalltitanate genutzt werden kann. Ebenso versteht es sich, dass die vorliegende Erfindung breit anwendbar ist auf dotierte und undotierte Materialien, wenngleich spezifische Lithiumtitanatmaterialien dotiert mit Übergangsmetallen beschrieben wurden, und dass in diesen Fällen, in denen dotierte Materialien benutzt werden, andere Dotiersubstanzen als Übergangsmetalle angewandt werden können.

**[0033]** Angesichts der hier dargelegten Lehre sind weitere Modifikationen und Variationen für den Fachmann augenscheinlich. Entsprechend ist das Vorgenannte als eine beispielhafte Beschreibung und nicht als eine Beschränkung der Anwendbarkeit der Erfindung zu verstehen. Es sind die Ansprüche einschließlich aller Äquivalente, welche den Umfang der Erfindung definieren.

### Zusammenfassung

**[0034]** Offenbart ist ein dotiertes Lithiumtitanat und sein Gebrauch als eine Elektrode in einer Batterie. Weiterhin ist ein Verfahren zur Herstellung eines Alkalimetalltitanats offenbart, wobei das Verfahren ein Mischen einer Alkalimetallverbindung und einer Titanverbindung, ein Prallmahlen der Mischung und ein Heizen des gemahlten Gemisches für eine Zeit und bei einer Temperatur, welche ausreichend ist, das Gemisch in das Alkalimetalltitanat zu verwandeln, einschließt. Die Alkalimetallverbindung kann in der Form von  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  und die Titanverbindung kann in der Form von  $\text{TiO}_2$  vorliegen. In der Mischung kann eine Dotiersubstanz enthalten sein.

### Patentansprüche

1. Ein Material, welches dotiertes Lithiumtitanat aufweist.
2. Material nach Anspruch 1, bei dem das Lithiumtitanat mit einem Übergangsmetall dotiert ist.
3. Material nach Anspruch 2, bei dem das Übergangsmaterial ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus V, Zr, Nb, Mo, Mn, Fe, Cu, Co und Kombinationen hiervon.
4. Verbindung nach Anspruch 1, bei dem eine Dotiersubstanz Zr aufweist.
5. Material nach Anspruch 1, bei dem die Dotiersubstanz bis zu 20 Atomprozent des Materials umfasst.
6. Material nach Anspruch 1, bei dem eine Dotiersubstanz 0,1–5 Atomprozent des Materials umfasst.
7. Verfahren zur Herstellung eines Alkalimetalltitanats, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:  
Bereitstellung einer Alkalimetallverbindung;  
Bereitstellung einer Titanverbindung;  
Zubereitung eines Gemisches der Alkalimetallverbindung und der Titanverbindung durch Prallmahlen der Alkalimetallverbindung und der Titanverbindung; und  
Erhitzen des Gemisches für eine Zeit und bei einer Temperatur, welche ausreichend ist, das Gemisch in das Alkalimetalltitanat zu verwandeln.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Alkalimetallverbindung  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  aufweist, die Titanverbindung ein Titanoxid aufweist und das Alkalimetalltitanat Lithiumtitanat aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Schritt der Erstellung eines Gemisches das Mischen von annähernd 2 Mol  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  und annähernd 5 Mol  $\text{TiO}_2$  umfasst.
10. Verfahren nach Anspruch 7, aufweisend folgende weitere Schritte:  
Bereitstellung eines Dotier-Precursors; und  
Zugabe des Dotier-Precursors zu dem Gemisch aus einem Alkalimetallkarbonat und Titandioxid.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Dotier-Precursor zu dem Gemisch vor dem Schritt des Prallmahls zugegeben wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Dotiert-Precursor ein oder mehrere Übergangsmetalle umfasst.
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem das Übergangsmaterial ausgewählt ist aus der Gruppe von V, Zr, Nb, Mo, Mn, Fe, Cu, Co und Kombinationen hiervon.
14. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das Prallmahlverfahren ein Kugelmahlen oder Attritormahlen umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Schritt des Heizens des Gemisches das Heizen des Gemisches auf eine Temperatur von nicht mehr als 1000°C umfasst.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Schritt des Heizens des Gemisches das Halten des Gemisches bei einer Temperatur von 800°C umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das Reaktionsgemisch bei der Temperatur für wenigstens eine Minute gehalten wird.

18. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das Reaktionsgemisch bei der Temperatur für wenigstens 2 Stunden gehalten wird.

19. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das Heizen unter einer Atmosphäre, welche eine inerte Atmosphäre oder eine oxidierende Atmosphäre ist, durchgeführt wird.

20. Eine Elektrode, welche ein dotiertes Lithiumtitanat beinhaltet.

21. Eine Batterie, welche die Elektrode des Anspruches 20 beinhaltet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG - 1

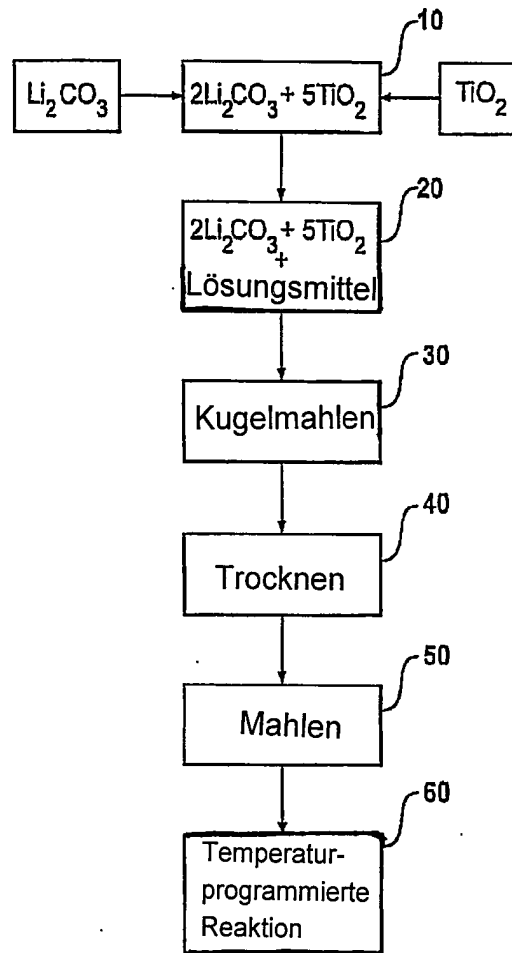
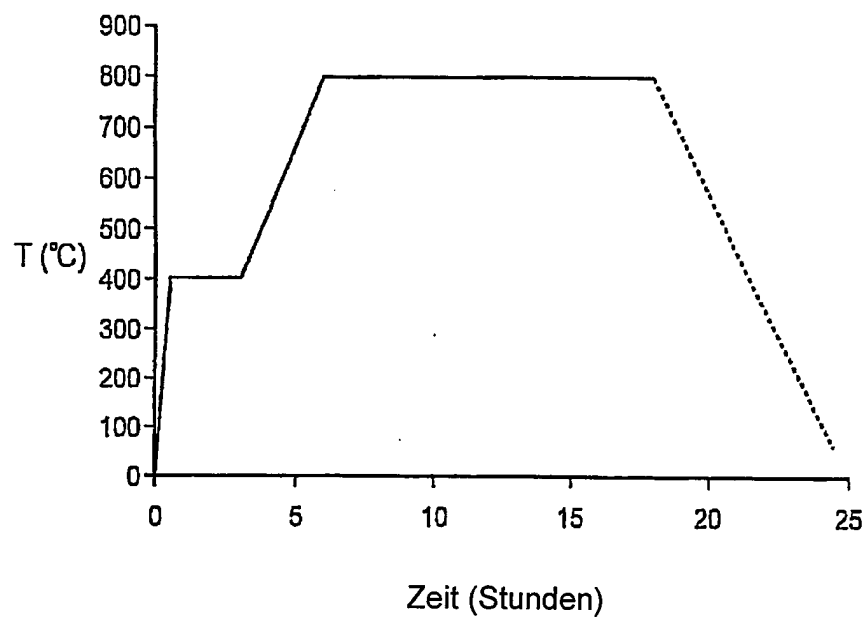
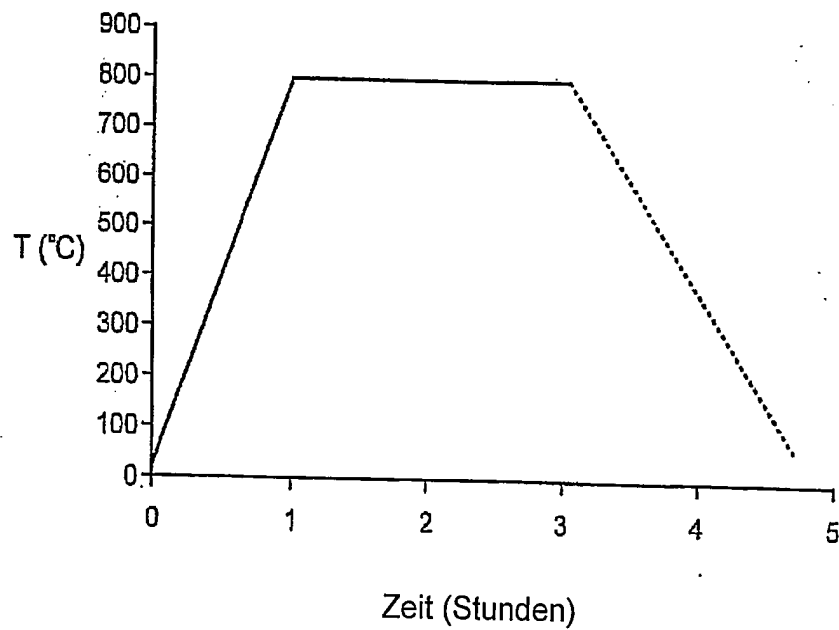


FIG - 2

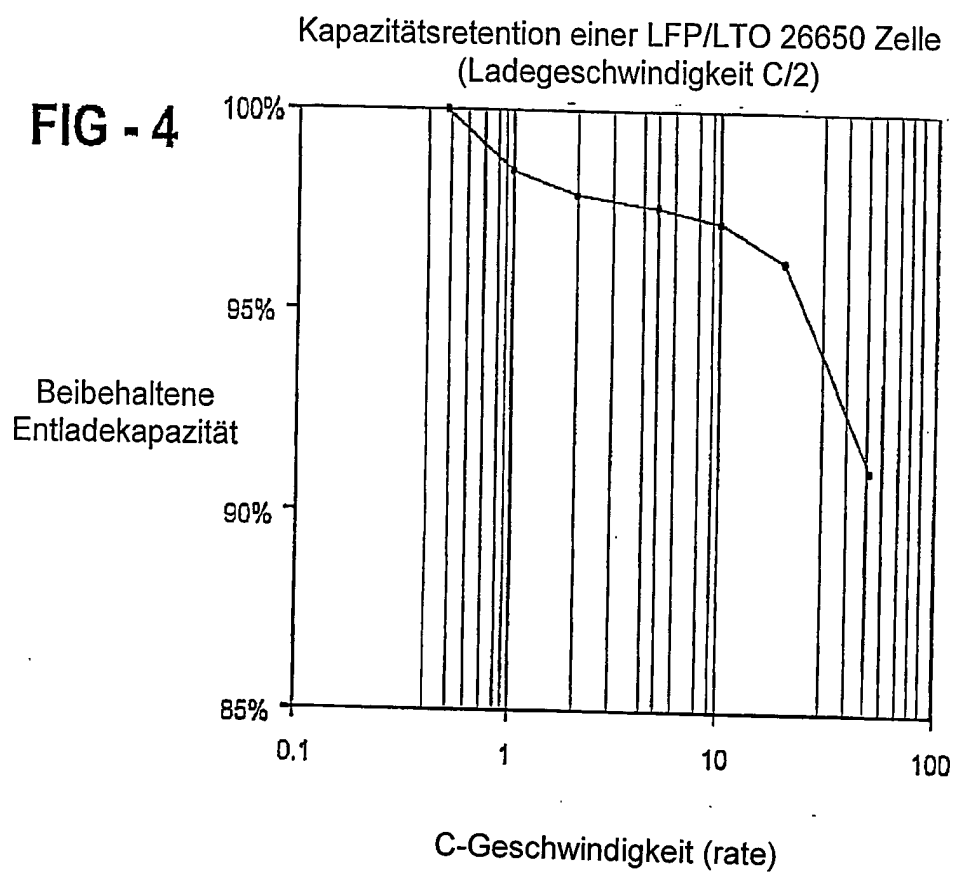




**FIG - 3**

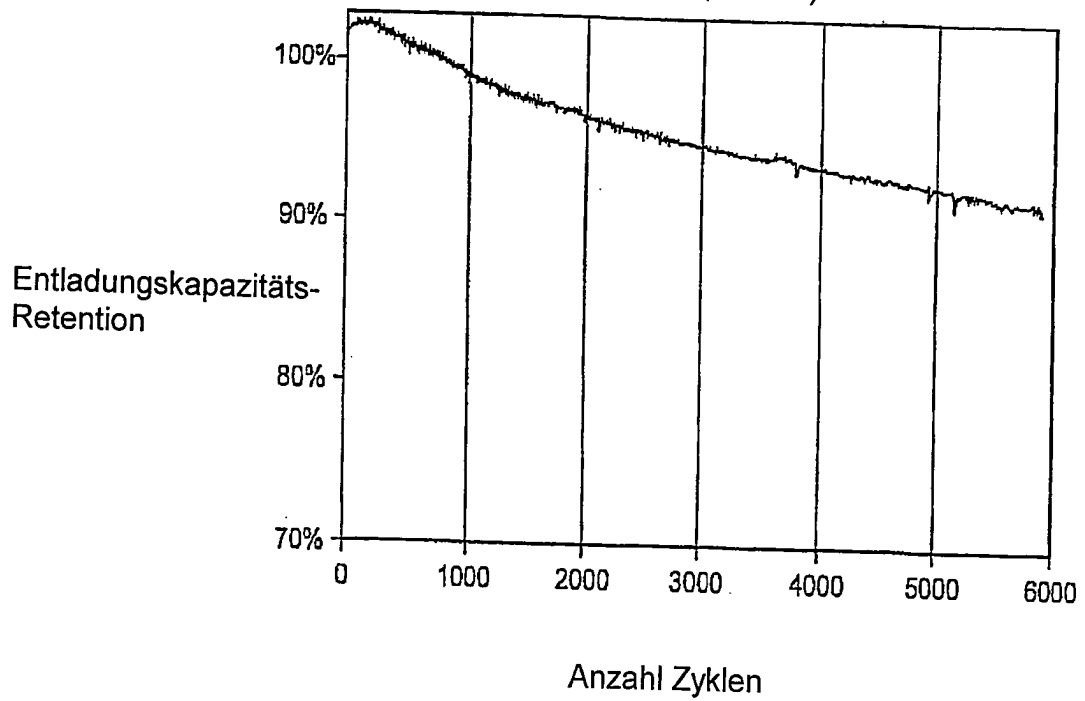


**FIG - 4**



**FIG - 5**

Lebenszyklus einer LFP/LTO 26650 Zelle  
(3C/-3C)



**FIG - 6**

