



(10) **DE 10 2020 123 022 A1** 2021.06.17

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 123 022.2**

(22) Anmeldetag: **03.09.2020**

(43) Offenlegungstag: **17.06.2021**

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

H01M 4/131 (2010.01)

H01M 4/133 (2010.01)

H01M 10/0525 (2010.01)

H01M 4/139 (2010.01)

H01M 4/1391 (2010.01)

H01M 4/1393 (2010.01)

(30) Unionspriorität:

10-2019-0167916 16.12.2019 KR

(71) Anmelder:

**Hyundai Motor Company, Seoul, KR; INDUSTRY
ACADEMY COOPERATION FOUNDATION OF
SEJONG UNIVERSITY, Seoul, KR; Kia Motors
Corporation, Seoul, KR**

(74) Vertreter:

**Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und
Rechtsanwälte, 01099 Dresden, DE**

(72) Erfinder:

**Oh, Seung Min, Incheon, KR; Kim, Ik Kyu,
Gwangmyeong-si, Gyeonggi-do, KR; Yeo, Yeol
Mae, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, KR; Park, Sang
Mok, Gwangju-si, Gyeonggi-do, KR; Lee, Yoon
Sung, Suwon-si, Gyeonggi-do, KR; Kim, Nam
Hyeong, Gimcheon-si, Gyeongsangbuk-do, KR;
Lee, Ji Eun, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, KR;
Kim, Dong Jun, Seongnam-si, Gyeonggi-do, KR;
Myung, Seung-Taek, Seoul, Gwangjin-gu, KR;
Choi, Ji Ung, Seoul, KR**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **ANODENMATERIAL FÜR LITHIUM-BATTERIE UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG**

(57) Zusammenfassung: Ein Anodenmaterial für eine Lithium-Batterie und ein Verfahren zu deren Herstellung sind bereitgestellt. Zum Beispiel kann die Lithium-Batterie eine hohe Energiedichte haben, wenn nur ein einziges Anodenmaterial verwendet wird. Insbesondere enthält das Anodenmaterial für eine Lithium-Batterie ein Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und eine Kohlenstoffnanoröhre (CNT), das in einem säurebehandelten Zustand auf der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials angebracht ist und als Verbundstoff gebildet werden soll.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Anodenmaterial für eine Lithium-Sekundärbatterie bzw. einen Lithium-Akku (bspw. Lithium-Ionen-Batterie bzw. Akku; im Weiteren kurz: Batterie) und ein Verfahren zu dessen Herstellung. Insbesondere kann die Lithium-Batterie so hergestellt werden, dass sie eine hohe Energiedichte hat, indem nur ein einziges Anodenmaterial verwendet wird.

HINTERGRUND

[0002] Batterien werden als kleine, leistungsstarke Energiequellen in Energiespeicherbatterien mit großer Kapazität wie für Elektrofahrzeuge oder Batteriespeichersysteme sowie für tragbare elektronische Geräte wie Mobiltelefone, Camcorder und Notebooks verwendet. Dementsprechend wurden die Forschungen zur Verringerung der Größe oder des Gewichts der Batterien und zur Erzielung einer hohen Kapazität oder eines niedrigen Stromverbrauchs fortgesetzt, was besonders für tragbare elektronische Geräte nützlich sein kann.

[0003] Insbesondere hat eine Lithium-Batterie, bei der es sich um eine repräsentative Batterie handelt, eine größere Energiedichte, eine größere Kapazität pro Fläche, eine geringere Selbstentladungsrate und eine längere Lebensdauer als eine Nickel-Mangan-Batterie oder einer Nickel-Kadmium-Batterie. Darüber hinaus zeichnet sich die Lithium-Batterie durch eine einfache Handhabung und eine lange Lebensdauer aus, da es keinen Memory-Effekt gibt.

[0004] Die Lithium-Batterie erzeugt elektrische Energie durch die Oxidations- und Reduktionsreaktionen, wenn Lithiumionen von der Anode und der Kathode in einem Zustand interkaliert und/oder deinterkaliert werden, in dem der Elektrolyt zwischen der Anode und der Kathode, die aus einem aktiven Material gemacht sind, vorhanden ist, das zur Interkalation und Deinterkalation der Lithiumionen fähig ist.

[0005] Eine solche Lithium-Batterie weist ein Anodenmaterial, einen Elektrolyten, einen Separator, ein Kathodenmaterial und ähnliches auf, und es ist sehr wichtig, eine stabile Grenzflächenreaktion zwischen den Komponenten aufrechtzuerhalten, um eine lange Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Batterie zu gewährleisten.

[0006] Um die Leistung der wie oben beschriebenen Lithium-Batterie zu verbessern, wurden kontinuierlich Forschungen zur Verbesserung des Anodenmaterials durchgeführt. Insbesondere wurden viele Studien zur Entwicklung einer leistungsstarken und hochsicheren Lithium-Batterie durchgeführt, aber in den letzten Jahren werden aufgrund häufiger Explosionsunfälle der Lithium-Batterie häufig Sicherheitsprobleme aufgeworfen.

[0007] Dementsprechend hat der vorliegende Anmelder die vorliegende Erfindung durch die Implementierung einer Lithium-Batterie mit hoher Energiedichte vervollständigt, indem er eine hohe Kapazität von z.B. 250m Ah/g oder mehr in einem Spannungsbereich von 2 bis 4,2 V bei Verwendung eines Materials auf Lithiumbasis realisiert hat.

[0008] Das als Hintergrund erläuterte Vorhergehende soll lediglich zum Verständnis des Hintergrunds der vorliegenden Erfindung beitragen und soll nicht bedeuten, dass die vorliegende Erfindung in den Bereich des Stands der Technik fällt, der dem Fachmann bereits bekannt ist.

KURZERLÄUTERUNG

[0009] In bevorzugten Aspekten werden unter anderem ein Anodenmaterial für eine Lithium-Batterie und ein Verfahren zu dessen Herstellung bereitgestellt. Die hergestellte Lithium-Batterie kann eine hohe Energiedichte durch einfaches Ausbilden einer säurebehandelten Kohlenstoffnanoröhre (engl. „carbon nano tube“; auch kurz: CNT) und eines einzelnen bzw. einzigen Anodenmaterials als Verbundstoff bzw. Verbundmaterial bzw. Mischmaterial (im Weiteren kurz: Verbundstoff) erreichen.

[0010] In einem Aspekt wird ein Anodenverbundmaterial für eine Lithium-Batterie bereitgestellt, das ein Anode-Aktiv-Material (bspw. ein Material der Anode, das die Anodenfunktion ermöglicht) auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und eine Kohlenstoffnanoröhre (bspw.: MW-CNT; deutsch: mehrwandige Kohlenstoffnanoröhre) aufweisen kann (z.B. daraus bestehen kann), das auf oder mit dem (bspw. ganz oder teilweise im) Anode-Aktiv-Material vorhanden ist. Zum Beispiel ist die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in geeigneter Weise an einer Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials bereitgestellt, und die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) kann beispielsweise durch kovalen-

te oder nichtkovalente Bindungen am Anode-Aktiv-Material befestigt sein. Insbesondere kann die Kohlenstoffnanoröhre in geeigneter Weise mit einer Säure behandelt werden, so dass das säurebehandelte Kohlenstoffnanoröhren an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis befestigt werden kann.

[0011] Das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis kann in geeigneter Weise z.B. $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}\text{Al}_{0,975}\text{O}_{0,025}]_2\text{O}_2$ enthalten.

[0012] Das Anodenverbundmaterial kann z.B. Kohlenstoffnanoröhren in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials, enthalten.

[0013] Die Kohlenstoffnanoröhre kann z.B. eine Länge von etwa 50 bis 100 μm und einen Durchmesser von etwa 20 bis 30 nm haben.

[0014] In einem anderen Aspekt ist ein Verfahren zur Herstellung eines Anodenverbundmaterials für eine Lithium-Batterie bereitgestellt, das das Herstellen eines Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis, das Behandeln einer Kohlenstoffnanoröhre (CNT) durch Eintauchen und Rühren in einer sauren bzw. - Säure-Lösung, und das Formen des Anodenverbundmaterials durch Verbinden des hergestellten Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und der (säure)behandelten Kohlenstoffnanoröhre aufweisen kann.

[0015] Das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis kann z.B. durch folgende Schritte hergestellt werden: Synthetisieren eines Verbundstoffs bzw. eines Gemischs durch Mischen von Li_2CO_3 , Mn_2O_3 , TiO_2 , und Al_2O_3 mit wasserfreiem Ethanol und erstes Kugelmahlen, Pelletieren durch Waschen und dann Trocknen des synthetisierten Verbundstoffs, und Erhitzen und Brennen des pelletierten Verbundstoffs in einer inerten Atmosphäre, um ein Pulver zu erhalten.

[0016] Der Verbundstoff kann z.B. $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}\text{Al}_{0,975}\text{O}_{0,025}]_2\text{O}_2$ enthalten, und der Verbundstoff wurde bei einer Temperatur von etwa 900 bis 1000°C für etwa 10 bis 14 Stunden erhitzt.

[0017] Die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) kann z.B. durch Eintauchen in die Säurelösung und Rühren für etwa 10 bis 14 Stunden behandelt werden.

[0018] Das Anodenverbundmaterial kann in geeigneter Weise z.B. ein Anodenaktivmaterial auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis in einer Menge von etwa 95 bis 99 Gew.-% und die Kohlenstoffnanoröhre in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials, enthalten.

[0019] Das Formen des Anodenverbundmaterials kann z.B. ein zweites Kugelmahlen des hergestellten Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und der (säure)behandelten Kohlenstoffnanoröhre aufweisen. Vorzugsweise kann das zweite Kugelmahlen z.B. für etwa 12 bis 24 Stunden durchgeführt werden.

[0020] Ebenfalls ist eine Lithium-Batterie bereitgestellt, die eine Anode mit einem Anodenverbundmaterial, wie hierin beschrieben, eine Kathode mit einem Kathode-Aktiv-Material (bspw. ein Material, das die Funktion der Kathode ermöglicht), und ein Elektrolyt aufweist. Insbesondere kann das Anodenverbundmaterial ein Anodenaktivmaterial auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und eine Kohlenstoffnanoröhre (CNT) aufweisen, die (z.B. zumindest) an der Oberfläche des Anodenaktivmaterials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis bereitgestellt ist.

[0021] Gemäß verschiedenen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann das Anodenmaterial mit der hohen Energiedichte nur durch Auftragen einer säurebehandelten Kohlenstoffnanoröhre (CNT) an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials als eine Art eines Verbundstoffes erhalten werden, der als ein einziges bzw. einzelnes Anodenmaterial verwendet werden kann.

[0022] Insbesondere kann die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) auf das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis beschichtet werden, z. B. durch Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhre, wodurch die Luftinstabilität, die strukturelle Instabilität, die niedrige Lebensdauercharakteristik und die niedrige Ausgangscharakteristik des Anode-Aktiv-Materials überwunden werden.

[0023] Dementsprechend ist es möglich, eine Art von echtem Elektrofahrzeug zu entwickeln und dadurch die Herstellungskosten des echten Elektrofahrzeugs, das auf die Batterie ausgerichtet ist, im Vergleich zu Hybrid- und abgeleiteten Elektrofahrzeugen zu reduzieren, bei denen die Antriebsvorrichtung auf einer zuvor entworfenen bzw. herkömmlichen Fahrzeugstruktur montiert ist.

Figurenliste

[0024] Die oben genannten und andere Aufgaben und andere Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung klarer verstanden, wenn sie in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen betrachtet wird, in denen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Anodenverbundmaterials für eine beispielhafte Lithium-Batterie und eines beispielhaften Verfahrens zu deren Herstellung gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist,

Fig. 2A und **Fig. 2B** Diagramme sind, die Ladungs-/Entladungskurven und Zyklusergebnisse eines Anodenverbundmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der Komponenten eines Anode-Aktiv-Materials verändert sind,

Fig. 3 ein Diagramm ist, die das Zyklusergebnis des Anodenverbundmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigt, bei der die Mischmenge von Kohlenstoffnanoröhren geändert sind.

Fig. 4A bis **Fig. 4C** Aufnahmen sind, die das Aussehen nach dem Formen eines Kohlenstoffnanoröhrens und eines Verbundstoffs gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der die Länge und den Durchmesser der Kohlenstoffnanoröhre geändert sind,

Fig. 5A und **Fig. 5B** Diagramme sind, die ein XRD-Ergebnis eines Anodenverbundmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der die Synthesetemperatur und -zeit in einem Synthesevorgang geändert sind,

Fig. 6 ein Diagramm ist, das das Zyklusergebnis eines Anodenverbundmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigt, bei dem eine Säurebehandlungsdauer geändert ist,

Fig. 7A und **Fig. 7B** Diagramme sind, die die Lade-/Entladekurven und Zyklusergebnisse eines Zyklus eines Anodenverbundmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der eine Kugelmahldauer geändert ist.

Fig. 8A bis **Fig. 8C** Diagramme sind, die die Ergebnisse der Messung der elektrochemischen Eigenschaften einer Ausführungsform und ein Vergleichsbeispiel zeigen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0025] Im Folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Hilfe der beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Die vorliegende Erfindung beschränkt sich jedoch nicht auf die nachstehend offengelegten Ausführungsformen, sondern wird in verschiedenen Arten umgesetzt, und nur die vorliegenden Ausführungsformen sollen die vorliegende Erfindung vervollständigen und sollen die Fachwelt vollständig über den Umfang der Erfindung informieren.

[0026] Die hier verwendete Terminologie dient nur der Beschreibung bestimmter exemplarischer Ausführungsformen und ist nicht als Beschränkung der Erfindung gedacht. Wie hier verwendet, sollen die Singularformen „ein/eine/eines/einer“ und „der/die/das“ auch die Pluralformen einschließen, es sei denn, aus dem Kontext geht eindeutig etwas Anderes hervor. Es wird ferner davon ausgegangen, dass die Begriffe „aufweisen“ und/oder „aufweisend“, wenn sie in dieser Beschreibung verwendet werden, das Vorhandensein von angegebenen Merkmalen, ganzen Zahlen, Schritten, Operationen, Elementen und/oder Komponenten angeben, aber nicht das Vorhandensein oder die Hinzufügung von einem oder mehreren anderen Merkmalen, ganzen Zahlen, Schritten, Operationen, Elementen, Komponenten und/oder Gruppen davon ausschließen. In der hier verwendeten Beschreibung schließt der Begriff „und/oder“ alle Kombinationen von einem oder mehreren der zugehörigen aufgeführten Punkte ein.

[0027] Sofern nicht ausdrücklich angegeben oder aus dem Kontext offensichtlich, wie hier verwendet, wird der Begriff „etwa“ als innerhalb eines in der Technik üblichen Toleranzbereichs verstanden, zum Beispiel innerhalb von zwei Standardabweichungen des Mittelwerts. Der Begriff „etwa“ kann als innerhalb von 10%, 9%, 8%, 7%, 6%, 5%, 4%, 3%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%, 0,05% oder 0,01 % des angegebenen Wertes verstanden werden. Sofern sich aus dem Kontext nichts Anderes ergibt, werden alle hier angegebenen Zahlenwerte durch den Begriff „etwa“ modifiziert.

[0028] In einem Aspekt ist ein Anodenverbundmaterial (oder auf kurz: „Anodenmaterial“) für eine Lithium-Batterie ein Material zum Formen einer Anode, das bei einer Lithium-Batterie verwendet wird, und kann das Anodenverbundmaterial aufweisen. Das Anodenverbundmaterial kann durch Formen bzw. Anbringen einer

säurebehandelten Kohlenstoffnanoröhre (CNT) an einem Anode-Aktiv-Material hergestellt werden. Die Lithium-Batterie kann eine Anode mit einem Anode-Aktiv-Material, eine Kathode mit einem Kathode-Aktiv-Material und einen Elektrolyten enthalten.

[0029] Das Anode-Aktiv-Material kann ein Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis enthalten, das zu reversiblen Interkalation und Deinterkalation von Lithium-Ionen fähig ist.

[0030] Das Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis kann vorzugsweise $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ aufweisen oder aus diesem bestehen.

[0031] Die Atomverhältnisse von Mn und Ti sowie die Molverhältnisse von Li, Al und O werden als $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ dargestellt, um eine hoch-reversible Kapazität zu gewährleisten und ausgezeichnete Lebensdauereigenschaften während der Zyklen beizubehalten.

[0032] Darüber hinaus kann die Kohlenstoffnanoröhre (CNT), die an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials angebracht bzw. befestigt ist, einer Säurebehandlung unterzogen werden, bevor diese an der Oberfläche des Anodenmaterials angebracht wird. Die Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) kann die Kristallinität der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) erhöhen, um das Anode-Aktiv-Material und den Verbundstoff leichter zu formen.

[0033] Durch das Formen des Verbundstoffes durch Anbringen der säurebehandelten Kohlenstoffnanoröhre (CNT) an das Anode-Aktiv-Material können die Eigenschaften bei geringer Lebensdauer und geringer Leistung verbessert und gleichzeitig die Luftinstabilität und strukturelle Instabilität des Anode-Aktiv-Materials beseitigt werden.

[0034] Die säurebehandelte Kohlenstoffnanoröhre (CNT) kann vorzugsweise in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials, vorliegen. Dementsprechend kann das Anodenverbundmaterial durch Mischen einer Menge von etwa 95 bis 99 Gew.-% des Anode-Aktiv-Materials und einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-% Kohlenstoffnanoröhren (CNT) mit anschließendem Kugelmahlen hergestellt werden.

[0035] Wenn die gemischte Menge an Kohlenstoffnanoröhren (CNT) weniger als etwa 1 Gew.-% ist, können die gemäß dem Anbringen der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) erwarteten Eigenschaften möglicherweise nicht erreicht werden, und wenn die gemischte Menge an Kohlenstoffnanoröhren (CNT) mehr als etwa 5 Gew.-% ist, können die Lebensdauereigenschaften durch Auftreten einer ineffizienten Kapazität reduziert sein, nachdem der Verbund mit dem Anode-Aktiv-Material gebildet wurde.

[0036] Das zu säurebehandelnde Kohlenstoffnanorohr (CNT) kann vorzugsweise eine Länge von etwa 50 bis 100 μm und einen Durchmesser von etwa 20 bis 30 nm haben.

[0037] Wenn die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) nicht dem vorgeschlagenen Längen- und Durchmesserbereich entspricht, ist es schwierig, die Form der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) umzusetzen und den Verbund mit dem Anode-Aktiv-Material zu bilden.

[0038] Es wird ein Verfahren zur Herstellung des Anodenverbundmaterials beschrieben, das wie oben beschrieben ausgebildet ist.

[0039] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die ein Anodenverbundmaterial für eine Lithium-Batterie und ein Verfahren zur Herstellung desselben gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0040] In einem Aspekt sieht ein Verfahren zur Herstellung eines Anodenverbundmaterials für eine Lithium-Batterie folgende Schritte vor: Herstellen eines Anode-Aktiv-Materials, Säurebehandeln von Kohlenstoffnanoröhren (CNT), und Komplexbilden bzw. Komplexformen, das das hergestellte Anode-Aktiv-Material und das säurebehandelte Kohlenstoffnanoröhren als ein Verbundstoff ausbildet bzw. formt.

[0041] Bei der Herstellung wird ein Anode-Aktiv-Material unter Verwendung eines Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis hergestellt. Hier kann das Anode-Aktiv-Material oder insbesondere ein Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis vorzugsweise $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ enthalten oder sein.

[0042] Wie oben beschrieben, können zur Herstellung von $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}\text{Al}_{0,975}\text{O}_2]$ als Anode-Aktiv-Material zunächst Li_2CO_3 , Mn_2O_3 , TiO_2 und Al_2O_3 mit wasserfreiem Ethanol gemischt und kugelmahlen werden, um einen Verbundstoff zu synthetisieren (Synthesevorgang). Dementsprechend kann $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}\text{Al}_{0,975}\text{O}_2]$ als der synthetisierte Verbundstoff hergestellt werden.

[0043] Darüber hinaus kann der synthetisierte Verbundstoff gewaschen und dann getrocknet werden, um diesen zu pelletieren (Pelletierungsvorgang).

[0044] Dann kann der pelletierte Verbundstoff durch Erhitzen bei einer Temperatur von etwa 900 bis 1000°C für etwa 10 bis 14 Stunden in einer inerten Atmosphäre gebrannt werden, um ein Pulver zu erhalten (Brennvorgang).

[0045] Innerhalb des im Brennvorgang für die Synthese des Anode-Aktiv-Materials angegebenen Temperatur- und Zeitbereichs kann ein einphasiges Material mit einer Raumgruppe von Fm-3m einer kubischen Struktur hergestellt werden. Andererseits besteht das Problem, dass das Anode-Aktiv-Material nicht synthetisiert werden kann, wenn außerhalb des Bereichs der Brenntemperatur und -zeit gearbeitet wird.

[0046] Die Säurebehandlung kann das Eintauchen der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in eine saure Lösung und das Rühren der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) aufweisen. Dementsprechend kann durch Steigern der Kristallinität der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) der Verbundstoff leicht mit dem Anode-Aktiv-Material gebildet bzw. als Komplex gebildet werden.

[0047] Vorzugsweise kann die Säurebehandlung das Eintauchen der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in die Säurelösung und das Rühren für etwa 10 bis 14 Stunden aufweisen.

[0048] Die Säurebehandlung kann z.B. durch Zugabe einer Menge von etwa 0,5 g MW-CNT (engl. „multi wall carbon nano tube“ oder kurz: MW-CNT; deutsch: mehrwandige Kohlenstoffnanoröhre) zu 100 ml HNO_3 (Flüssigkeit oder Lösung) und anschließendes Rühren bei Raumtemperatur bei etwa 80 U/min für etwa 10 bis 14 Stunden durchgeführt werden.

[0049] Wenn die Dauer der Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) kürzer als etwa 10 Stunden oder länger als etwa 14 Stunden ist, kann die Kapazität nach etwa 20 Zyklen deutlich abnehmen. Dementsprechend kann die Dauer der Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) unter Berücksichtigung einer Kapazitätsretentionsrate etwa 10 bis 14 Stunden betragen.

[0050] Darüber hinaus zeigte sich zum Beispiel, dass die MW-CNT während der Säurebehandlung allmählich wie ein Spinnennetz zerstreut bzw. verteilt wurde, und ein solches Phänomen kann beim Anbringen der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials sehr wirksam sein. Die Kohlenstoffnanoröhren (CNT), die 16 Stunden lang einer Säurebehandlung unterzogen wurden, haben jedoch ein Problem, bei dem die Kohlenstoffnanoröhre kurz gebrochen werden kann.

[0051] Um die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in idealer Art auf der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials zu befestigen, kann die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) mit einer sehr großen Oberfläche durch eine Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) für etwa 10 bis 14 Stunden erhalten werden.

[0052] Das Formen bzw. Komplexbilden eines Anodenverbundmaterials kann das Beschichten der säurebehandelten Kohlenstoffnanoröhre (CNT) auf der Oberfläche des hergestellten Anode-Aktiv-Materials aufweisen.

[0053] Wie in **Fig. 1** gezeigt, kann der Komplexbildungsschritt das Anodenverbundmaterial bilden, indem die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials angebracht und beschichtet wird, wenn das Anode-Aktiv-Material aus $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}\text{Al}_{0,975}\text{O}_2]$ und die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in einer Niedrigenergie-Kugelmahlvorrichtung geladen und kugelmahlen werden.

[0054] Das Anode-Aktiv-Material in einer Menge von etwa 95 bis 99 Gew.-% und die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-% können gemischt und dann kugelmahlen werden, um die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) auf der Oberfläche des zu beschichtenden Anode-Aktiv-Materials zu befestigen. Die Gew.-% beziehen sich auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials.

[0055] Darüber hinaus kann das Kugelmahlen beim Komplexbilden vorzugsweise für etwa 12 bis 24 Stunden durchgeführt werden.

[0056] Wenn die Kugelmahldauer kürzer ist als etwa 12 Stunden, kann die Form der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) beibehalten und die Komplexbildung mit dem Anode-Aktiv-Material erreicht werden, aber die Eigenschaften, die der Batterieleistung vor der Bildung des Verbundstoffs ähnlich sind, können beibehalten werden. Dementsprechend ist es nicht möglich, das Anode-Aktiv-Material und die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) als einen Komplex zu bilden.

[0057] Darüber hinaus können die inhärenten Eigenschaften der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) verschwinden, wenn die Kugelmahldauer länger dauert als etwa 24 Stunden, so dass die Komplexbildung des Anode-Aktiv-Materials und der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) möglicherweise nicht ausreicht und Phänomene der elektrochemischen Reduzierung der Kapazität und der Verringerung der Lebensdauereigenschaften auftreten können.

BEISPIELE

[0058] Die beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden durch Vergleichsbeispiele und Ausführungsformen beschrieben.

Versuch 1

[0059] Es wurde ein Versuch durchgeführt, um ein Atomverhältnis oder ein Molverhältnis jeder Komponente eines Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis auszuwählen, das als Anode-Aktiv-Material verwendet wird.

[0060] Hier wurden zur Herstellung eines Anodenmaterials Li_2CO_3 (Li_2CO_3 wird in 3 Gew.-% Überschuss zugegeben), Mn_2O_3 (synthetisiert durch Brennen von MnCO_3), TiO_2 und Al_2O_3 mit einem wasserfreien Ethanol-Lösungsmittel in einem Behälter mit 45 ml Volumen gemischt. Das Atomverhältnis oder das Molverhältnis jeder Komponente des Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis wurde wie in Tabelle 1 unten eingestellt und abgestimmt. Hierbei wurden ZrO_2 -Kugeln von 10mm x 5g, 5mm x 10g und 1 mm x 4g hinzugegeben. Die Kugelmahlbedingungen wurden als 17 Durchgänge mit 15 Minuten bei 300 U/min eingestellt, wobei zwischen den Durchgängen 3 Minuten pausiert wurde. Nach dem Kugelmahlen wurde mit Ethanol gewaschen, getrocknet und pelletiert. Das Pulver wurde durch 12-stündiges Brennen in einer Ar-Atmosphäre bei einer Temperatur von 900°C gewonnen. Dann wurde ein primäres Kohlenstoff-Kugelmahlen (20 Durchgänge mit 15 Minuten bei 300 U/min, wobei zwischen den Durchgängen 3 Minuten pausiert wurde; Gewichtsverhältnis: Aktivmaterial (Li-[Mn-Ti]-Al-O) : Acetylenruß = 90: 10; ZrO_2 -Kugel: 10mm x 3g, 5mm x 9g, 1 mm x 2g) und dann ein sekundäres Kohlenstoff-Kugelmahlen (40 Durchgänge mit 15 Minuten bei 300 U/min, wobei zwischen den Durchgängen 3 Minuten pausiert wurde; ZrO_2 -Kugel: 1mm x 5,5g) durchgeführt. Während des sekundären Kohlenstoff-Kugelmahlens wurden 1 Gew.-% säurebehandelte CNT hinzugefügt (z.B. bezogen auf das Aktivmaterial (Li-[Mn-Ti]-Al-O) + Acetylenruß, d.h. CNT: Aktivmaterial (Li-[Mn-Ti]-Al-O) + Acetylenruß = 1 : 99).

[0061] Insbesondere wurde das Anode-Aktiv-Material synthetisiert, während der Inhalt jeder Komponente wie in Tabelle 1 unten geändert wurde, und die elektrochemischen Eigenschaften der Lithium-Batterie, die diese verwendete, wurden untersucht, und die Lade- und Entladekurven und die Zyklusergebnisse als Ergebnis wurden in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** gezeigt.

Tabelle 1

Gegensatnd	Arten von Anode-Aktiv-Material
Vergleichsbeispiel 1-1	$\text{Li}_{1.2}[\text{Mn}_{0.4}\text{Ti}_{0.4}]\text{O}_2$
Vergleichsbeispiel 1-2	$\text{Li}_{1.2}[\text{Mn}_{0.4}\text{Ti}_{0.4}]\text{O}_2 + \text{Al } 2.5\%$
Vergleichsbeispiel 1-3	$\text{Li}_{1.2}[\text{Mn}_{0.4}\text{Ti}_{0.4}]\text{O}_2 + \text{Al } 5\%$
Vergleichsbeispiel 1-4	$\text{Li}_{1.25}[\text{Mn}_{0.45}\text{Ti}_{0.35}]\text{O}_2$
Ausführungsform 1	$\text{Li}_{1.25}[\text{Mn}_{0.45}\text{Ti}_{0.35}]\text{O}_2 + \text{Al } 2.5\%$
Vergleichsbeispiel 1-5	$\text{Li}_{1.25}[\text{Mn}_{0.45}\text{Ti}_{0.35}]\text{O}_2 + \text{Al } 5\%$

[0062] Wie in **Fig. 2A** gezeigt, zeigte die Ausführungsform eine größere reversible Kapazität als die der Vergleichsbeispiele 1-1 bis 1-5. Darüber hinaus wies die Ausführungsform, wie in **Fig. 2B** gezeigt, bessere Lebens (dauer)eigenschaften auf als die der Vergleichsbeispiele 1-1 bis 1-5.

[0063] Dementsprechend war es bevorzugt, als Anode-Aktiv-Material $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]\text{O}_2 + \text{Al}$ 2,5% gemäß der obigen Ausführungsform zu verwenden, und als Anode-Aktiv-Material wurde vorzugsweise $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]\text{O}_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ gewählt.

Versuch 2

[0064] Es wurde ein Versuch durchgeführt, um den Gehaltsbereich des Anode-Aktiv-Materials und der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) auszuwählen.

[0065] Die Kohlenstoffnanoröhren (CNT) wurde auf die Anode-Aktiv-Materialien beschichtet, während der Gehalt an Kohlenstoffnanoröhren (CNT) auf 1 Gew.-%, 5 Gew.-% und 6 Gew.-% in Bezug auf die Gesamtmenge des gesamten Anodenmaterials geändert wurde, die elektrochemischen Eigenschaften der Lithium-Batterie unter Verwendung derselben untersucht wurden und die Zykklusergebnisse als Ergebnis in **Fig. 3** gezeigt wurden.

[0066] **Fig. 3** ist eine Grafik, die die Zykklusergebnisse der Anodenmaterialien gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigt, bei der die Mischungsmenge der Kohlenstoffnanoröhre verändert ist.

[0067] Wie in **Fig. 3** gezeigt, waren mit zunehmendem Gehalt an Kohlenstoffnanoröhren (CNT) mehr Kohlenstoffnanoröhren (CNT) im Anodenmaterial vorhanden, aber die Lebensdauereigenschaften wurden durch Ausprägung einer ineffizienten Kapazität nach der Bildung des Verbundstoffs reduziert. Dementsprechend sollte der Gehaltsbereich der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) vorzugsweise 1 bis 5 Gew.-% betragen.

Versuch 3

[0068] Es wurde ein Versuch zur Auswahl des Längen- und Durchmesserbereichs der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) durchgeführt, die das Anodenmaterial mit ausbilden.

[0069] Die Kohlenstoffnanoröhren (CNT) wurden auf das Anodenmaterial beschichtet, wobei die Länge und der Durchmesser des Anodenmaterials wie in Tabelle 2 unten geändert wurden. Die Aufnahmen der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) und des Anodenmaterials wurden betrachtet, und die Ergebnisse wurden in **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** gezeigt.

[0070] **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** sind Aufnahmen, die die Form nach dem Formen der Kohlenstoffnanoröhre und des Verbundstoffs gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der die Länge und den Durchmesser der Kohlenstoffnanoröhren verändert sind.

Tabelle 2

Gegenstand	Länge (µm)	Durchmesser (nm)
Ausführungsform 2	50 ~ 100	20 ~ 30
Vergleichsbeispiel 2-1	50 ~ 100	10 ~ 20
Vergleichsbeispiel 2-2	weniger als 50	mehr als 30

[0071] Wie in **Fig. 4A** gezeigt, wurde die Form der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) bei einer Länge von 50 bis 100 µm und einem Durchmesser von 20 bis 30 nm korrekt umgesetzt und der Verbundstoff korrekt geformt.

[0072] Andererseits wurde, wie in den **Fig. 4B** und **Fig. 4C** gezeigt, die Form der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) nicht richtig umgesetzt, wenn Länge und Durchmesser außerhalb des dargestellten Bereichs lagen, und es war schwierig, den Verbundstoff zu formen. Dementsprechend sollte die Kohlenstoffnanoröhre (CNT) vorzugsweise eine Länge von 50 bis 100 µm und einen Durchmesser von 20 bis 30 nm haben.

Versuch 4

[0073] Es wurde ein Versuch zur Auswahl einer Synthesetemperatur und einer Synthesezeit im Synthesevorgang durchgeführt.

[0074] Der Synthesevorgang wurde unter Änderung der Synthesetemperatur in Einheiten (bspw. Schritten) von 100°C von 700 bis 1200°C durchgeführt, und die Ergebnisse sind in **Fig. 5A** gezeigt. Darüber hinaus wurde der Synthesevorgang durch Änderung der Synthesezeit von 9 auf 17 Stunden durchgeführt, und die Ergebnisse sind in **Fig. 5B** gezeigt.

[0075] **Fig. 5A** und **Fig. 5B** sind Diagramme, die XRD-Ergebnisse des Anodenmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, bei der eine Synthesetemperatur und -zeit während des Synthesevorganges geändert sind.

[0076] Wie in **Fig. 5A** gezeigt, war ein einphasiges Material mit einer Raumgruppe von Fm-3m einer kubischen Struktur in einem Abschnitt vorhanden, in dem die Synthesetemperatur in einem Bereich von 900 bis 1000°C lag. Andererseits wurde die Synthese nicht in einem anderen Temperaturbereich als der angegebenen Synthesetemperatur durchgeführt.

[0077] Dementsprechend lag die Synthesetemperatur vorzugsweise in einem Bereich von 900 bis 1000°C.

[0078] Darüber hinaus war, wie in **Fig. 5B** gezeigt, ein einphasiges Material mit einer Raumgruppe von Fm-3m einer kubischen Struktur in einem Abschnitt vorhanden, in dem die Synthesezeit 10 bis 14 Stunden betrug. Andererseits wurde die Synthese nicht in einem anderen Zeitabschnitt als der dargestellten Synthesezeit durchgeführt.

Versuch 5

[0079] Es wurde ein Versuch durchgeführt, um eine Dauer für die Säurebehandlung der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) zu wählen.

[0080] Die Säurebehandlung wurde durch Änderung der Säurebehandlungszeit von 0 auf 20 Stunden durchgeführt, und die Ergebnisse sind in **Fig. 6** gezeigt.

[0081] **Fig. 6** ist ein Diagramm, das die Zyklusergebnisse des Anodenmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigt, die eine Säurebehandlungszeit änderte.

[0082] Wie in **Fig. 6** gezeigt, gab es keinen Unterschied, da eine anfängliche Entladungskapazität entsprechend der Säurebehandlungszeit etwa 300 mAh g⁻¹ betrug. Die Leistung des Verbundstoffs, das mit Kohlenstoffnanoröhren (CNT) beschichtet war, das 8 Stunden oder weniger und 16 Stunden oder mehr der Säurebehandlungszeit behandelt wurde, zeigte jedoch einen ineffizienten Aspekt, der eine große Kapazitätsreduzierung nach etwa 20 Zyklen zeigte. Dementsprechend betrug die Säurebehandlungsdauer der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) unter Berücksichtigung der Kapazitätsretentionsrate vorzugsweise 10 bis 14 Stunden.

Versuch 6

[0083] Es wurde ein Versuch zur Auswahl einer Kugelmahldauer bei der Komplexbildung durchgeführt.

[0084] Bei der Komplexbildung wurde die Komplexbildung unter Änderung der Kugelmahldauer auf 0 Stunden, 11 Stunden, 12 Stunden und 25 Stunden durchgeführt, und die Ergebnisse sind in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** gezeigt.

[0085] **Fig. 7A** und **Fig. 7B** sind Diagramme, die Lade- und Entladekurven eines Zyklus und Zyklusergebnisse des Anodenmaterials gemäß Vergleichsbeispielen und einer Ausführungsform zeigen, die eine Kugelmahldauer änderte.

[0086] Wie in **Fig. 7A** gezeigt, war die Kugelmahldauer, wenn sie kürzer als 12 Stunden war, ähnlich wie die Batterieleistung vor dem Formen des Verbundstoffs. Daraus kann gefolgert werden, dass dies bei der Komplexbildung keinen Sinn macht.

[0087] Wie in **Fig. 7B** gezeigt, verschwanden bei einer Kugelmahldauer von mehr als 24 Stunden die inhärenten Eigenschaften der Kohlenstoffnanoröhren (CNT), die möglicherweise nicht die Komplexbildner waren, und zeigten die Verringerung der elektrochemischen Kapazität und die Verringerung der Lebensdauercharakteristika. Dementsprechend betrug die Kugelmahldauer bei der Komplexbildung vorzugsweise 12 bis 24 Stunden.

Versuch 7

[0088] Die elektrochemischen Eigenschaften des Anodenmaterials gemäß einer Ausführungsform und des Anodenmaterials gemäß einem Vergleichsbeispiel wurden anhand eines 12-stündigen Säurebehandlungsverfahrens der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) verglichen.

[0089] Hier wurde bei der Ausführungsform das Anodenmaterial auf der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials aus $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ aufgebracht und wurden 1 Gew.-% der Kohlenstoffnanoröhren (CNT) beschichtet, die 12 Stunden lang säurebehandelt wurde, und wurde beim Vergleichsbeispiel das Anode-Aktiv-Material aus $\text{Li}[\text{Ni}_{0,8}\text{Co}_{0,16}\text{Al}_{0,04}]\text{O}_2$ aufgebracht.

[0090] Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Messung der elektrochemischen Eigenschaften der Ausführungsform und das Vergleichsbeispiel in **Fig. 8A** bis **Fig. 8C** dargestellt.

[0091] Wie in **Fig. 8A** gezeigt, zeigte die Ausführungsform eine größere reversible Kapazität als die des Vergleichsbeispiels.

[0092] Wie in **Fig. 8B** gezeigt, zeigte die Ausführungsform eine größere Anfangsentladungskapazität als die des Vergleichsbeispiels.

[0093] Wie in **Fig. 8C** gezeigt, zeigte die Ausführungsform eine größere Ratencharakteristik als die des Vergleichsbeispiels.

[0094] Während die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen und die oben beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen beschrieben wurde, ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt und wird durch die später zu beschreibenden Ansprüche definiert. Dementsprechend kann der Fachmann die vorliegende Erfindung auf verschiedene Weise ändern und modifizieren, ohne vom technischen Geist der beigefügten, später zu beschreibenden Ansprüche abzuweichen.

Patentansprüche

1. Anodenverbundmaterial für eine Lithium-Batterie, aufweisend:
ein Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und
eine Kohlenstoffnanoröhre (CNT), die auf oder mit dem Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis bereitgestellt ist.
2. Anodenverbundmaterial gemäß Anspruch 1, wobei die Kohlenstoffnanoröhre mit einer Säure behandelt ist, so dass die Kohlenstoffnanoröhre an der Oberfläche des Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis haftet.
3. Anodenverbundmaterial gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis $\text{Li}_{1,25}[\text{Mn}_{0,45}\text{Ti}_{0,35}]_{0,975}\text{Al}_{0,025}\text{O}_2$ aufweist.
4. Anodenverbundmaterial gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Anodenverbundmaterial die Kohlenstoffnanoröhre in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-% aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials.
5. Anodenverbundmaterial gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Kohlenstoffnanoröhre eine Länge von etwa 50 bis 100 μm und einen Durchmesser von etwa 20 bis 30 nm hat.
6. Verfahren zur Herstellung eines Anodenverbundmaterials für eine Lithium-Batterie, aufweisend:
Herstellen eines Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis,
Behandeln einer Kohlenstoffnanoröhre (CNT) durch Eintauchen und Rühren in einer Säurelösung, und
Formen des Anodenverbundmaterials durch Verbinden des hergestellten Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und der behandelten Kohlenstoffnanoröhre.
7. Verfahren gemäß Anspruch 6, wobei das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis durch folgende Schritte hergestellt wird:
Synthetisieren eines Verbundwerkstoffs durch Mischen von Li_2CO_3 , Mn_2O_3 , TiO_2 und Al_2O_3 mit wasserfreiem Ethanol und erstes Kugelmahlen,

Pelletieren durch Waschen und anschließendes Trocknen des synthetisierten Verbundstoffs, und Erhitzen und Brennen des pelletierten Verbundstoffs in einer inerten Atmosphäre, um ein Pulver zu erhalten.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei der Verbundstoff $\text{Li}_{1.25}[\text{Mn}_{0.45}\text{Ti}_{0.35}]_{0.975}\text{Al}_{0.025}\text{O}_2$ aufweist und wobei der Verbundstoff beim Brennen bei einer Temperatur von etwa 900 bis 1000°C etwa 10 bis 14 Stunden lang erhitzt wird.

9. Verfahren gemäß irgendeinem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das Behandeln der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) das Eintauchen der Kohlenstoffnanoröhre (CNT) in die Säurelösung und das Rühren desselben für etwa 10 bis 14 Stunden aufweist.

10. Verfahren gemäß irgendeinem der Ansprüche 6 bis 9, wobei das Anodenverbundmaterial das Anode-Aktiv-Material auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis in einer Menge von etwa 95 bis 99 Gew.-% und die Kohlenstoffnanoröhre in einer Menge von etwa 1 bis 5 Gew.-% aufweist, bezogen auf das Gesamtgewicht des Anodenverbundmaterials.

11. Verfahren gemäß irgendeinem der Ansprüche 6 bis 10, wobei das Formen des Anodenverbundmaterials ein zweites Kugelmahlen des hergestellten Anode-Aktiv-Materials auf Li-[Mn-Ti]-Al-O-Basis und der behandelten Kohlenstoffnanoröhre aufweist.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem das Kugelmahlen etwa 12 bis 24 Stunden lang durchgeführt wird.

13. Eine Lithium-Batterie, aufweisend:
eine Anode, die ein Anodenverbundmaterial gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5 aufweist,
eine Kathode, die ein Kathode-Aktiv-Material aufweist, und
ein Elektrolyt.

14. Lithium-Batterie gemäß Anspruch 13, wobei ein Anode-Aktiv-Material in der Anode aus dem Anodenverbundmaterial gemäß irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5 besteht.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1



FIG.. 2A

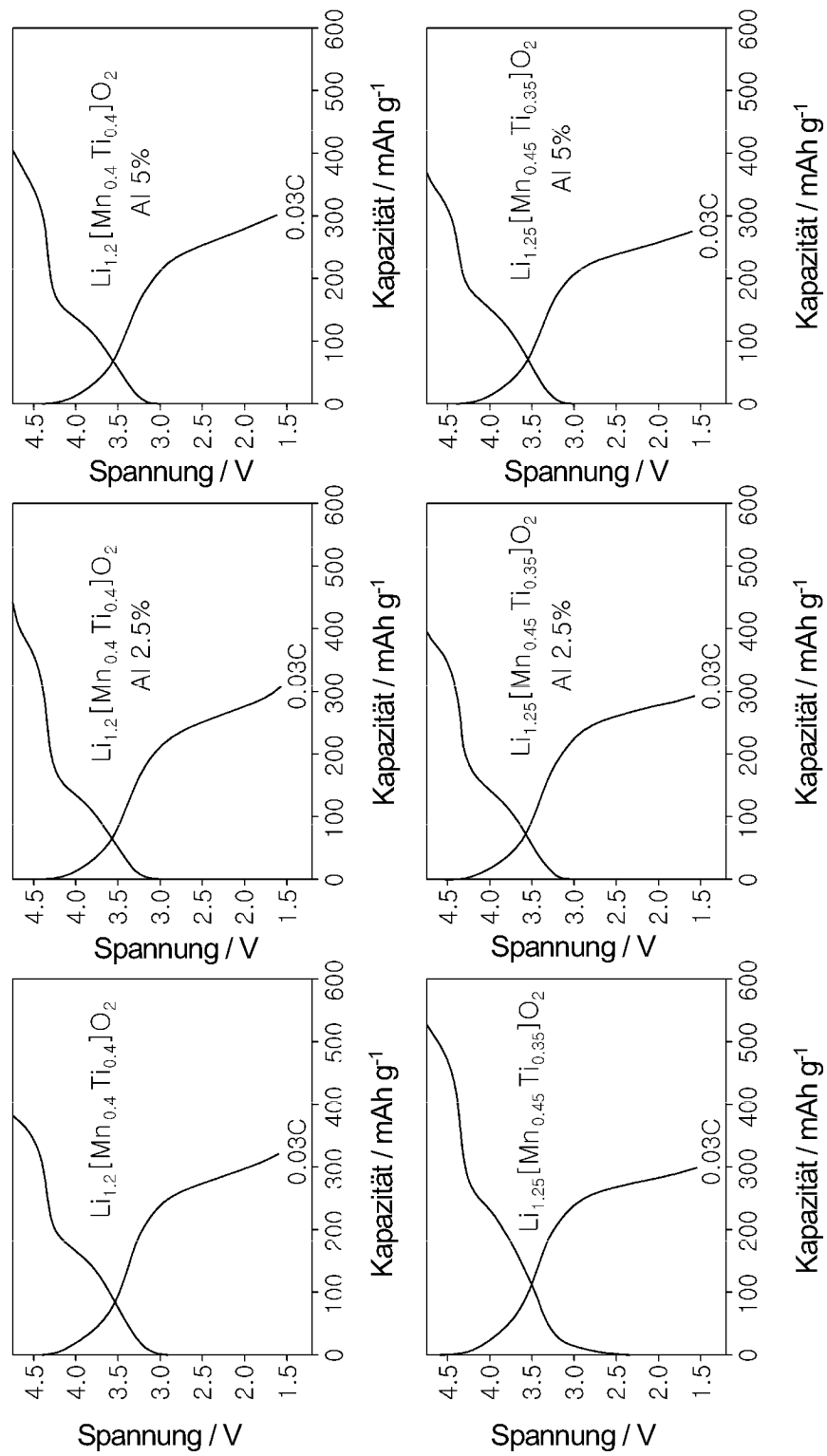


FIG.. 2B

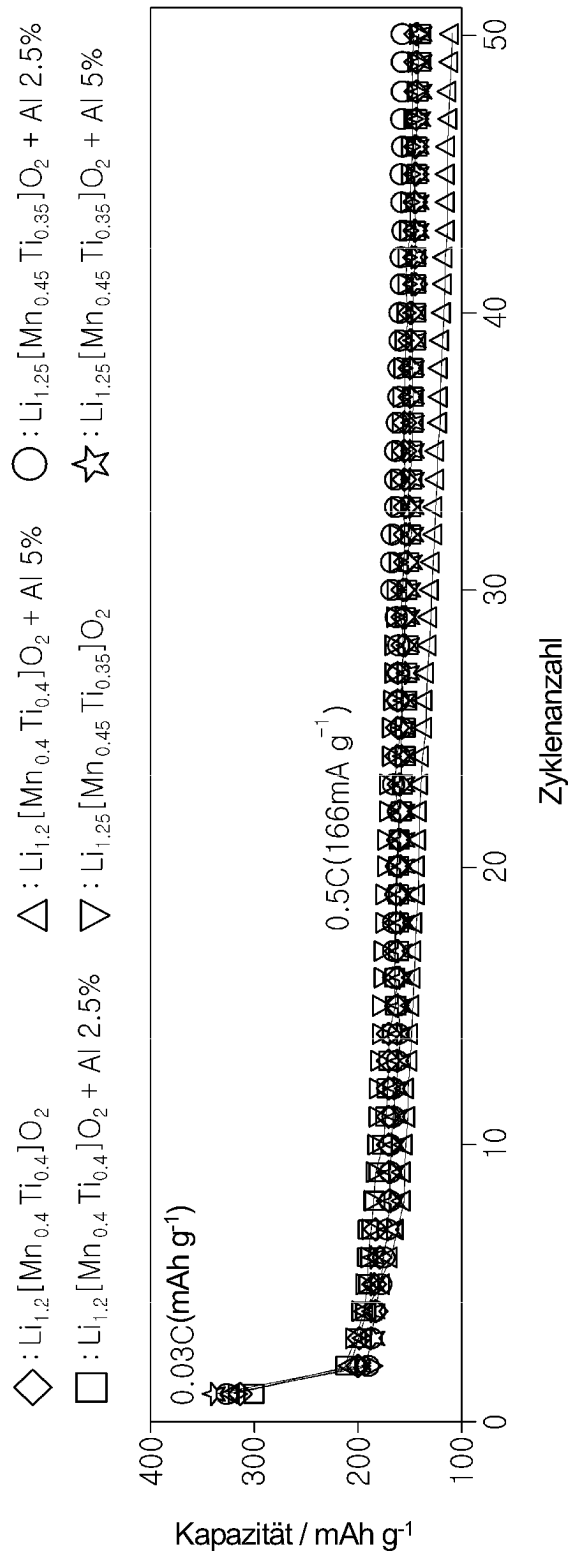


FIG. 3

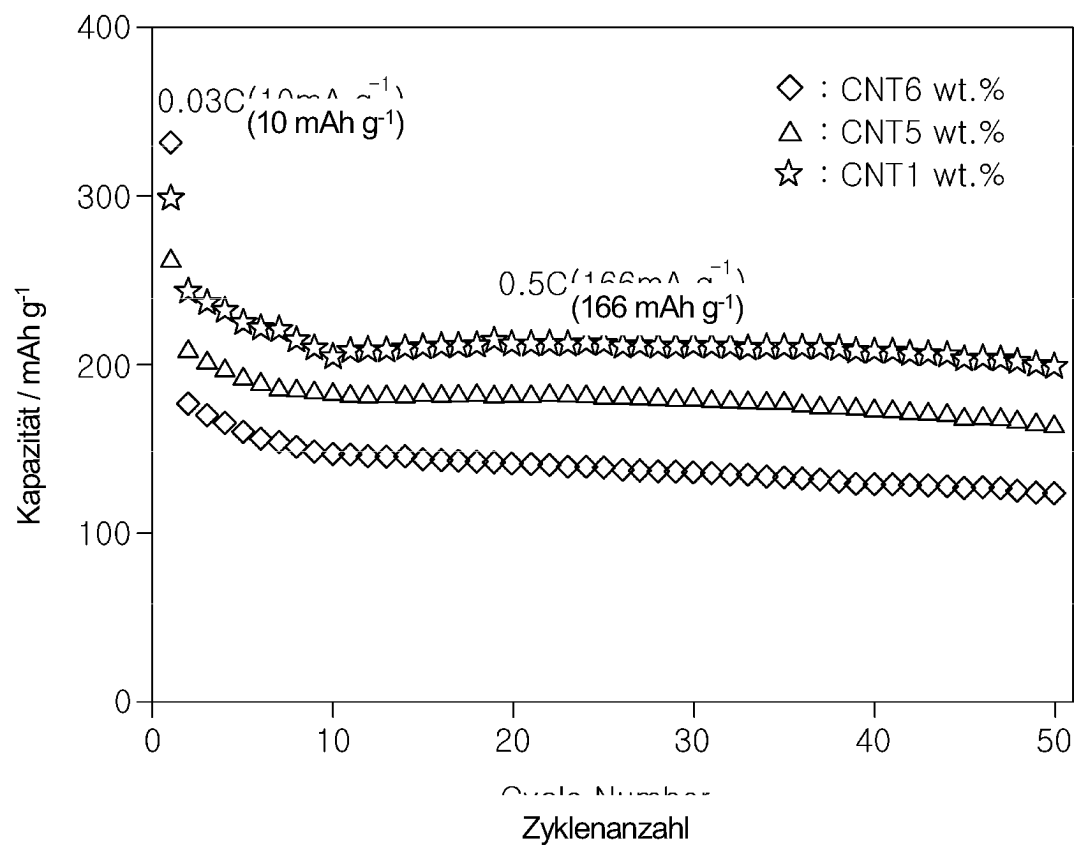


FIG. 4A

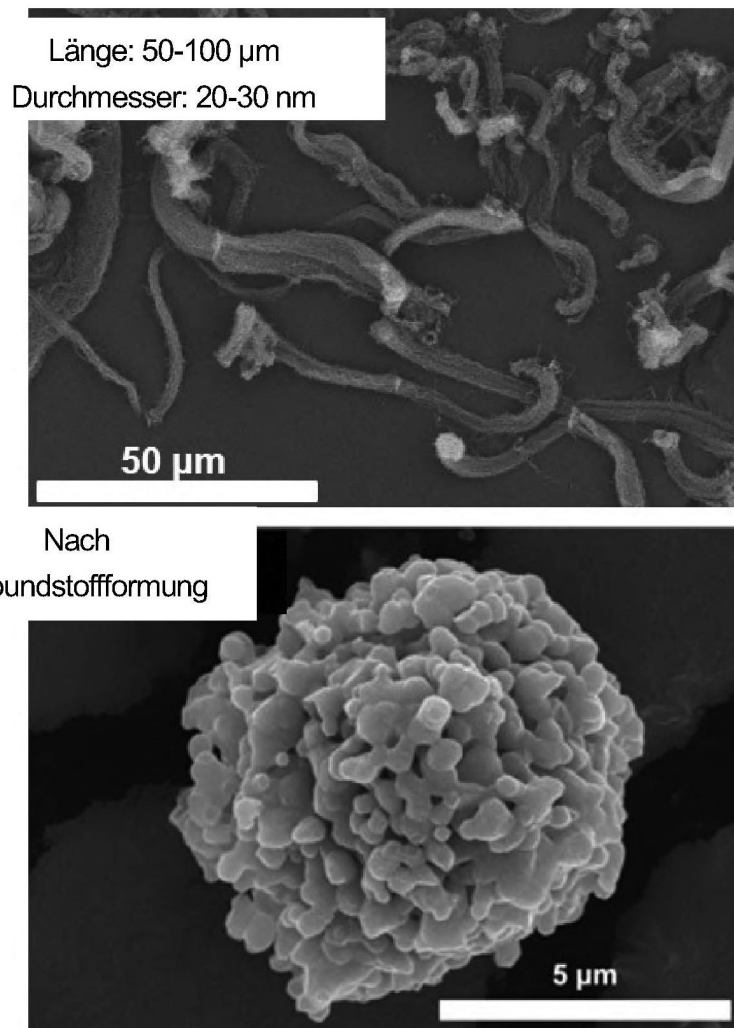
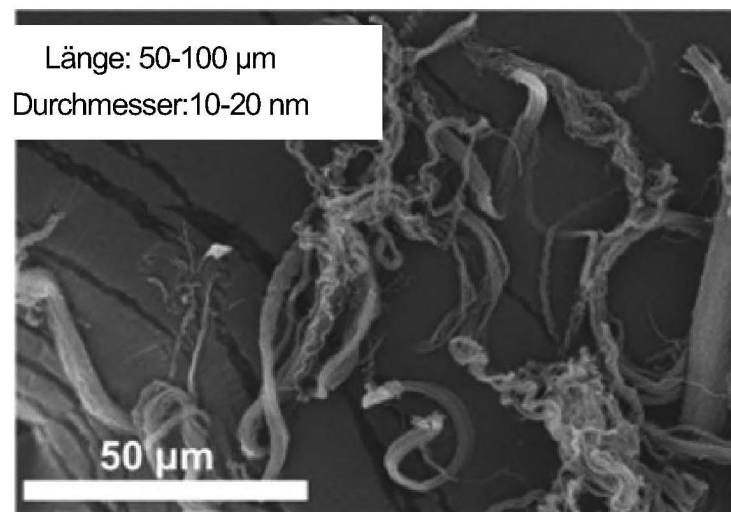


FIG. 4B



Nach Verbundstoffformung

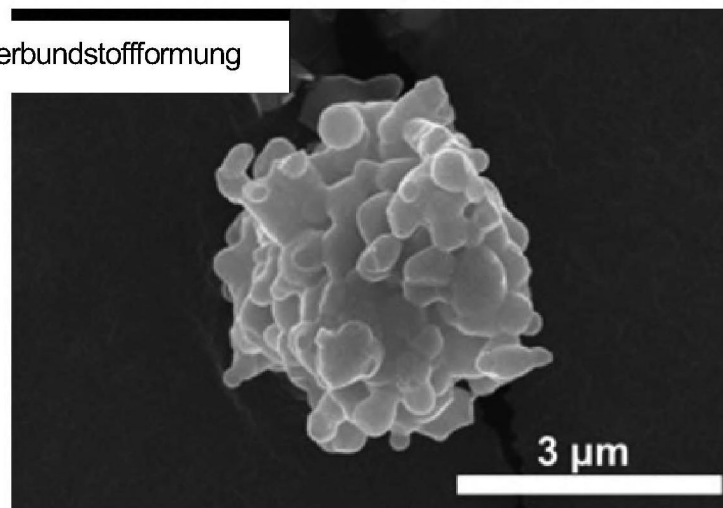


FIG. 4C

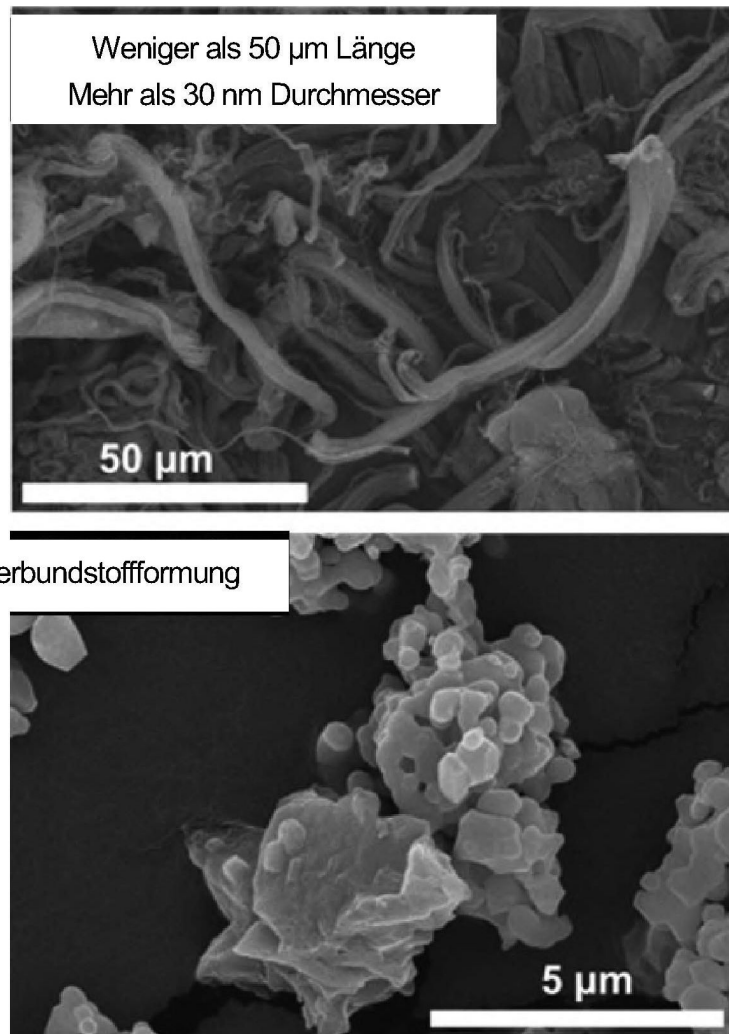


FIG. 5A

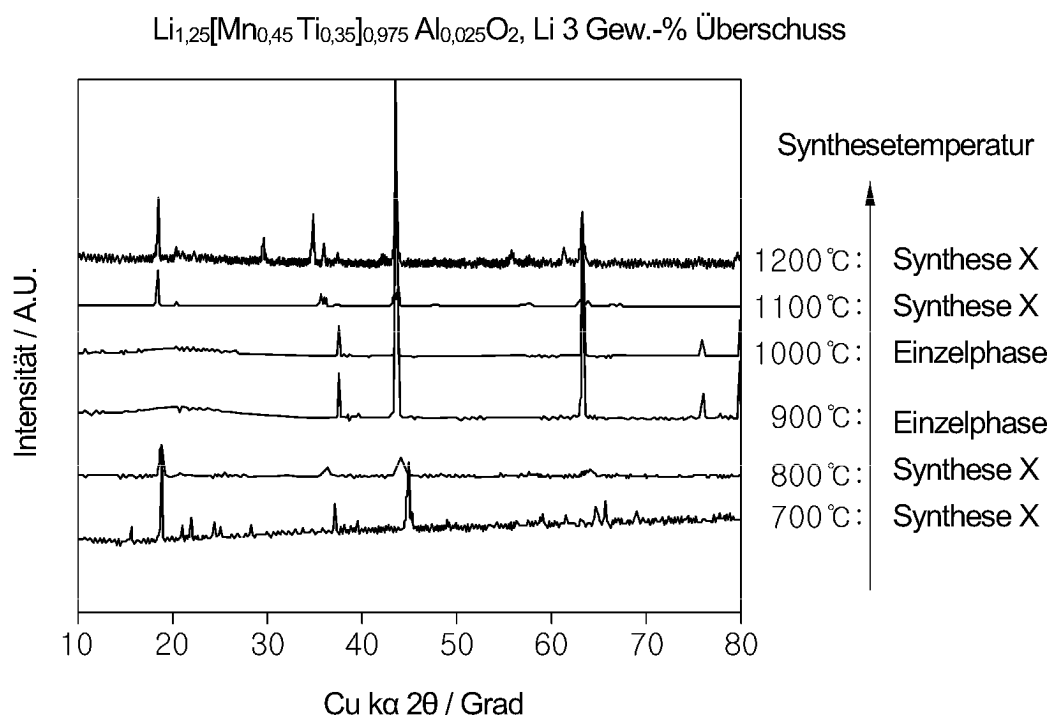


FIG. 5B

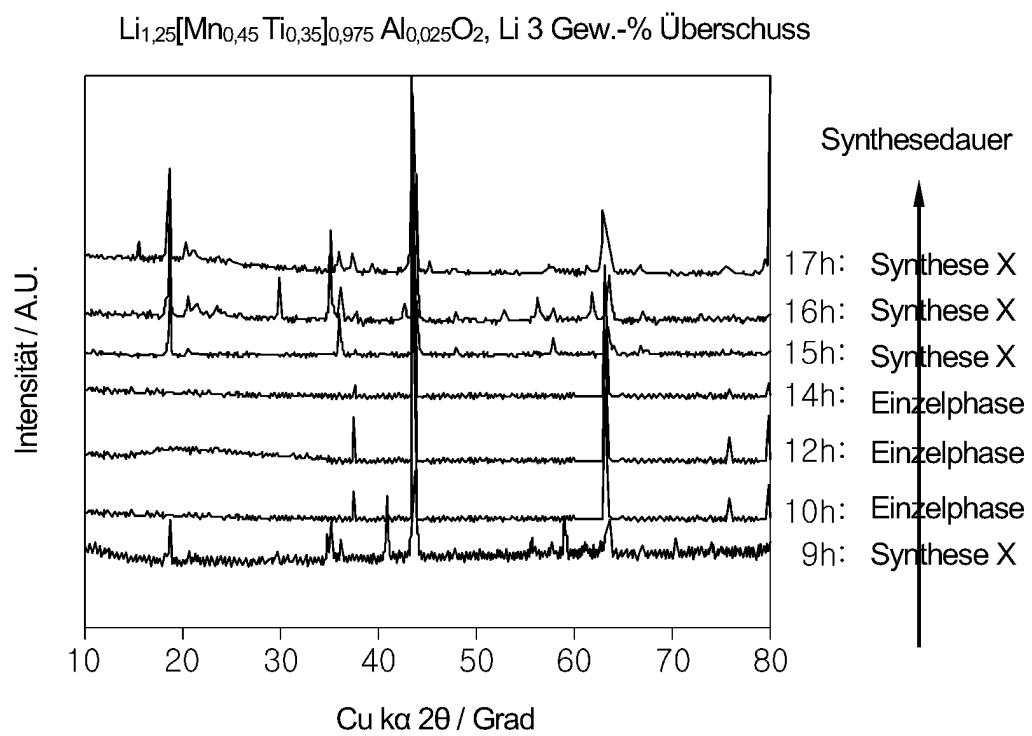


FIG. 6

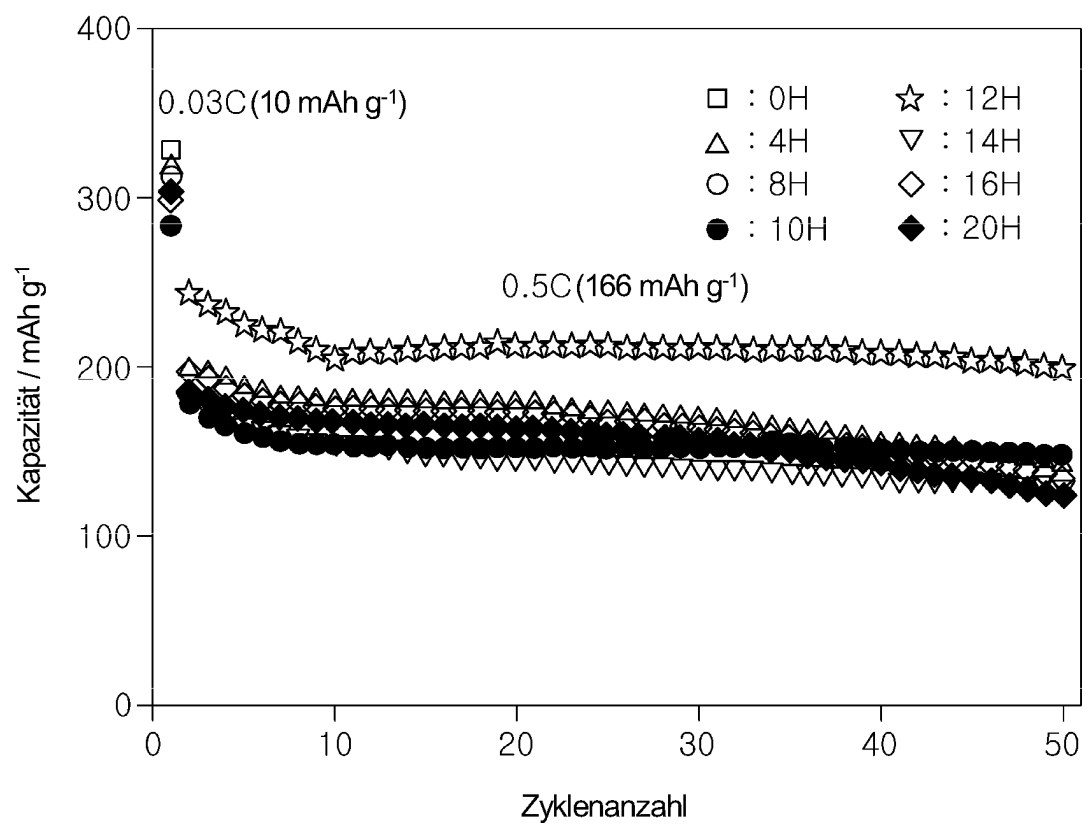


FIG. 7A

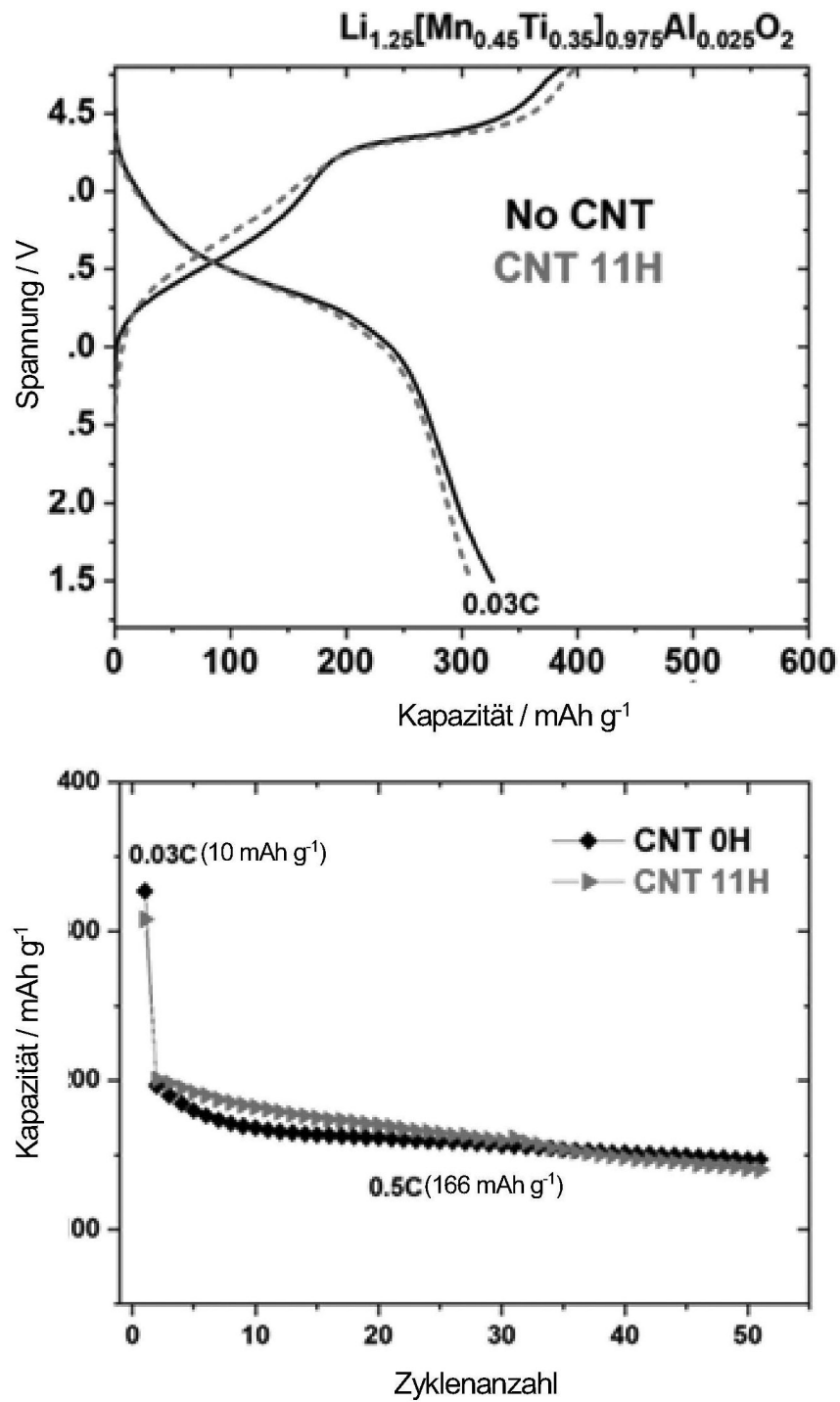


FIG. 7B

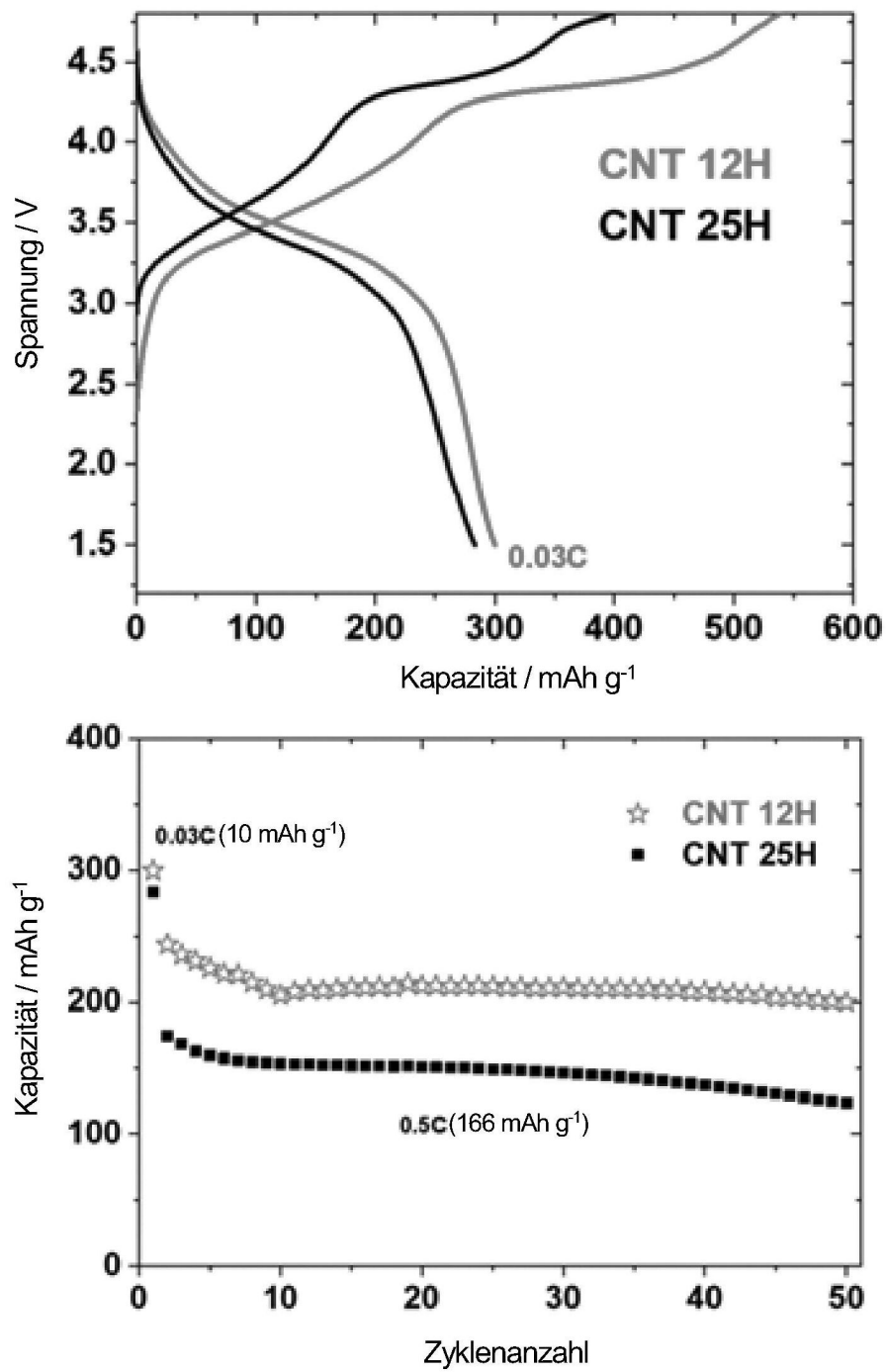


FIG. 8A

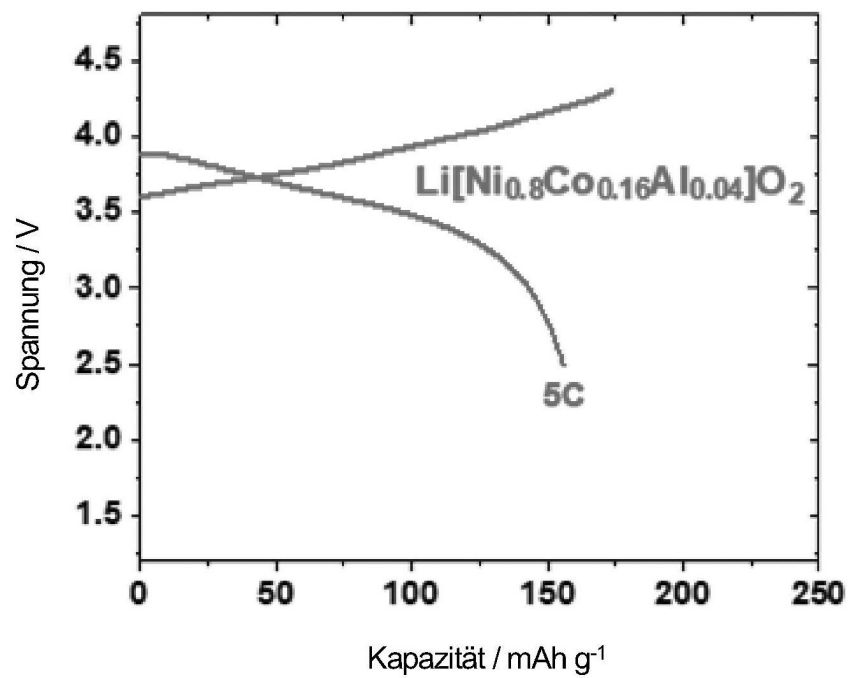
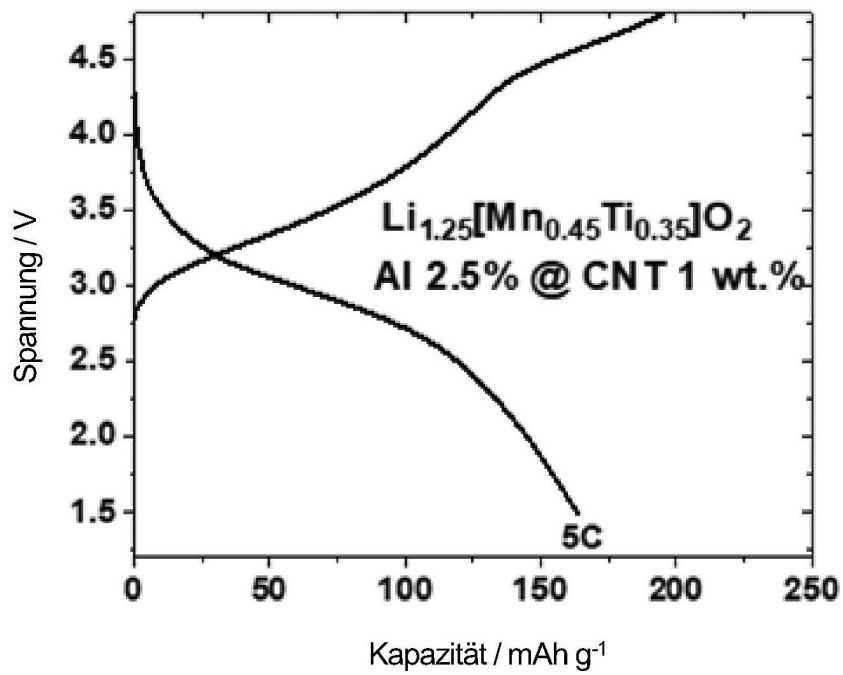


FIG. 8B

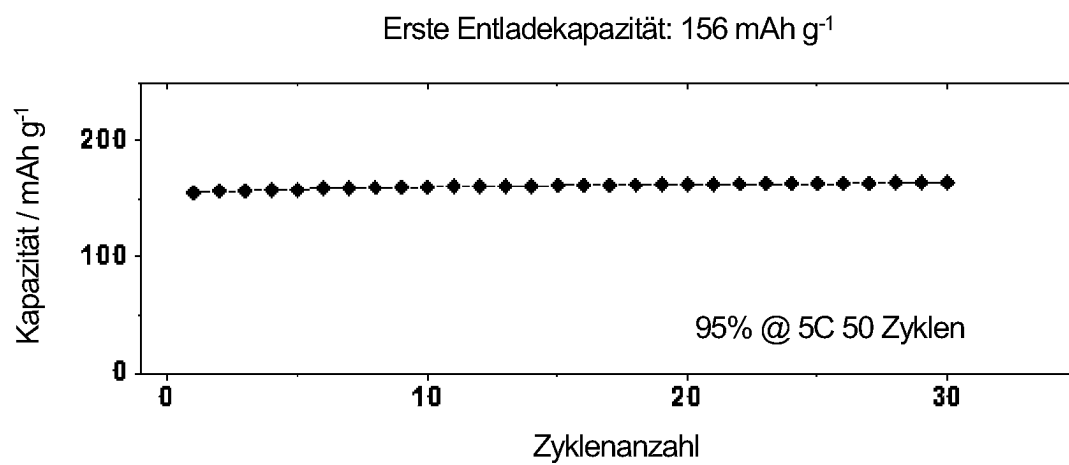
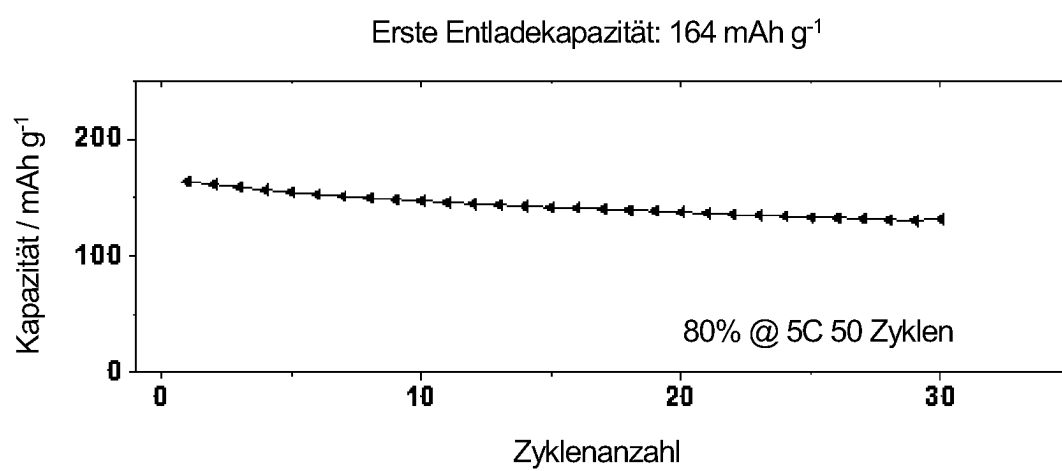


FIG. 8C

