



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 013 362 A1 2007.09.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 013 362.5

(22) Anmeldetag: 16.03.2006

(43) Offenlegungstag: 27.09.2007

(51) Int Cl.⁸: **B82B 3/00** (2006.01)

G09F 9/30 (2006.01)

H01L 49/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Dahl Jensen, Jens, Dr., 14050 Berlin, DE; Krüger, Ursus, Dr., 14089 Berlin, DE; Lüthen, Volkmar, Dr., 12157 Berlin, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

US2005/00 09 224 A1

US2002/00 55 239 A1

US 63 83 923 B1

M.Z. Atashbar et al.: "Deposition and manipulation of nickel nanoparticles". Proceedings of International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing, ICISIP 2004, pp. 258-261 (2004);

H. Hasegawa, T. Kubota, S. Mashiko: "Site-

selective fabrication of conducting molecular nanowires based on electrocrystallization". Electrochimica Acta 50, pp. 3029-3032 (2005);
Yaokun Xiao et al.: "Fabrication of Pd-Ni alloy nanowire arrays on HOPG surface by electrodeposition". Electrochimica Acta 51, 4218-4227(2006);
Kiran Jain et al.: "CdSe thin films and nanowires synthesis using pulse electrodeposition technique" Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005, pp. 472-475 (2005);
H. Hasegawa, T. Kubota, S. Mashiko: "Fabrication of molecular nanowire using an electrochemical method". Thin Solid Films 438-439, pp. 352-355(2003)

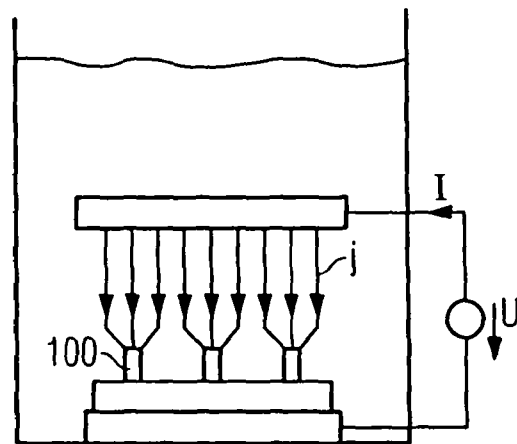
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer elektrischen Komponente mit einer Nanonadelstruktur**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer elektrischen Komponente mit einer Nanonadelstruktur.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine Vielzahl an Nanonadeln (100) auf einem Substrat (40) unter Verwendung eines Elektrolyten (20) elektrochemisch aufgewachsen wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Ein Verfahren zum Herstellen einer elektrischen Komponente mit einer Nanonadelstruktur ist beispielsweise aus der US-Patentschrift 6,741,019 bekannt. Bei diesem vorbekannten Verfahren werden vorgefertigte Nanonadeln mit einem magnetischen Material beschichtet und in einer Trägerflüssigkeit schwimmend mit einem Substrat in Kontakt gebracht. An das Substrat wird von außen ein Magnetfeld angelegt, so dass sich die magnetischen Nanonadeln in der Trägerflüssigkeit ausrichten können. Sie nehmen dabei eine Position vertikal zur Oberfläche des Substrats ein. Nach einem Ausheizen der Trägerflüssigkeit und weiteren Bearbeitungsschritten bildet sich eine Struktur, bei der die Nanonadeln im Wesentlichen senkrecht zum Substrat ausgerichtet sind und aus einer die Nadeln auf dem Substrat haltenden Trägerschicht herausragen.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen einer Nanonadelstruktur anzugeben, das möglichst einfach durchführbar ist und das Herstellen großflächiger Nanonadelstrukturen mit hoher Ausbeute und geringen Kosten ermöglicht.

[0004] Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren der eingangs angegebenen Art erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

[0005] Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine Vielzahl an Nanonadeln auf dem Substrat unter Verwendung eines die Oberfläche des Substrats benetzenden Elektrolyten elektrochemisch aufgewachsen wird.

[0006] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass es keiner aufwändigen Anlage zum Herstellen der Nanonadelstruktur bedarf. Selbst großflächige Nanonadelstrukturen, beispielsweise für Displays oder dergleichen, lassen sich beispielsweise mit einem relativ einfachen galvanischen Bad herstellen.

[0007] Ein weiterer wesentlicher Vorteil, insbesondere im Vergleich zu dem eingangs beschriebenen Stand der Technik, ist darin zu sehen, dass die Nanonadeln nicht vorab und separat hergestellt werden müssen; die Nanonadeln werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vielmehr in einem einzigen Bearbeitungsschritt sowohl hergestellt als auch gleichzeitig richtig ausgerichtet auf dem Substrat auf-

gebracht.

[0008] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird mit der Nanonadelstruktur eine Elektronenemitterstruktur oder ein Feldemitterarray hergestellt. Mit einer Elektronenemitterstruktur bzw. mit einem Feldemitterarray lassen sich beispielsweise Bildschirme bzw. Displays herstellen, indem die Elektronenemitterstruktur bzw. das Feldemitterarray in Arraysegmente mit einer Vielzahl an Nanonadeln unterteilt wird und indem mit jedem der Arraysegmente jeweils ein Pixel des Bildschirms bzw. Displays gebildet wird. Da – wie erläutert – die Kosten für die Herstellung der Nanonadelstruktur relativ gering sind, wird auch eine kostengünstige Herstellung großflächiger Displays möglich.

[0009] Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird die Materialkonzentration, insbesondere die Metallionenkonzentration, des Nanonadelmaterials im Elektrolyten derart klein eingestellt, dass das Wachstum der Nanonadeln diffusionsstrombegrenzt ist und bereits mit Nanonadeln versehene oberflächenabschnitte des Substrats während ihres Nanonadel-Wachstums anderen noch keine Nanonadeln aufweisenden Oberflächenabschnitten das für ein Nanonadel-Wachstum erforderliche Material entziehen. Bei dieser vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird ausgenutzt, dass sich in dem Elektrolyten eine inhomogene Verteilung der elektrischen Stromdichte ausbildet, sobald die ersten Nanonadeln wachsen. Die inhomogene Stromverteilung führt zu einer höheren Stromdichte im Bereich der Nanonadelspitzen und damit dort zu einem schnelleren weiteren Wachstum bzw. zu einer schnelleren weiteren Materialabscheidung als im Bereich außerhalb der Nadelspitzen. Um eine Nadelbildung über diesen Effekt hinaus noch weiter zu verbessern, wird die abscheidungsfähige Metallionenkonzentration des Nadelmaterials im Elektrolyten so klein gewählt, dass das Wachstum im Nadelspitzenbereich den übrigen Substratbereichen das zum Materialabscheiden erforderliche Material wegnimmt, so dass ein Wachstum dort nicht mehr möglich ist, zumindest aber sehr stark gebremst wird. Im Ergebnis bilden sich aufgrund einer solchen Diffusionsstrombegrenzung besonders steile Säulen bzw. Nadeln aus, weil die übrigen Substratbereiche wegen Metallionenmangels nicht mitwachsen können.

[0010] Um eine homogene Materialabscheidung während der Startphase des Abscheidungsvorgangs zu verhindern und um ein Nadelwachstum überhaupt erst auszulösen, wird bevorzugt eine Inhomogenität erzeugt, die ein lokal ungleiches Materialwachstum hervorruft.

[0011] Beispielsweise wird ein Substrat mit einer unebenen, Hügel aufweisenden Oberfläche verwendet. Eine hügelige Oberfläche kann beispielsweise

durch einen vorherigen Ätzschritt oder dergleichen erzeugt werden. In einer ersten Abscheidungsphase wird eine derartige Spannung an das Substrat angelegt und ein derartiger Stromfluss durch den Elektrolyten hervorgerufen, dass die durch die Spannung und den Stromfluss hervorgerufene Energiedichte die zum Wachstum der Nanonadeln erforderliche Aktivierungsenergie ausschließlich im Bereich der Hügel erreicht oder überschreitet und das Abscheiden der Nanonadeln ausschließlich dort beginnt. Sobald es zu einem Wachstum im Hügelbereich kommt, erfolgt eine Wachstumsbeschleunigung in den Hügelbereichen und ein Nadelwachstum – wie bereits erläutert – durch die sich im Nadelspitzenbereich bildende Stromdichtenerhöhung und vorzugsweise auch durch den Materialmangel in den übrigen Bereichen aufgrund einer Diffusionsstrombegrenzung.

[0012] Anstelle eines hügeligen Substrats kann beispielsweise auch ein polykristallines Substrat verwendet werden. In einer ersten Abscheidungsphase wird in diesem Fall eine derartige Spannung an das Substrat angelegt und ein derartiger Stromfluss durch den Elektrolyten hervorgerufen, dass die durch die Spannung und den Stromfluss hervorgerufene Energiedichte die zum Wachstum der Nanonadeln erforderliche Aktivierungsenergie ausschließlich im Bereich derjenigen Oberflächenabschnitte des polykristallinen Substrats erreicht oder überschreitet, die eine gegenüber anderen Oberflächenabschnitten des Substrates kleinere Aktivierungsenergie zum Wachstum der Nanonadeln aufweisen. Sobald das Nadelwachstum begonnen hat, kommt es zu der beschriebenen Beschleunigung des Nadelwachstums aufgrund der inhomogenen Stromverteilung im Nadelspitzenbereich.

[0013] In einer sich an die erste Abscheidungsphase anschließenden zweiten Abscheidungsphase wird die Energiedichte vorzugsweise erhöht, um das Nadelwachstum zu beschleunigen. Dabei kann die Energiedichte beispielsweise derart eingestellt werden, dass die zum Wachstum der Nanonadeln erforderliche Aktivierungsenergie ausschließlich im oberen Bereich der aufwachsenden Nanonadeln überschritten wird.

[0014] Alternativ wird in der sich an die erste Abscheidungsphase anschließenden zweiten Abscheidungsphase die Energiedichte noch weiter erhöht, und zwar derart, dass auf allen Oberflächenbereichen des Substrats ein Materialwachstum erfolgen könnte, sofern in dem Elektrolyten das für ein Wachstum erforderliche Material in ausreichendem Maße vorhanden wäre. Das Nadelwachstum wird in diesem Falle durch die Diffusionsstrombegrenzung und den Materialmangel außerhalb des Nadelspitzenbereichs sowie durch die hohe Strom- und Energiedichte innerhalb des Nadelspitzenbereichs getragen.

[0015] Im Hinblick auf eine Herstellung von Elektronenemittern oder Feldemitterarrays für Displays oder andere Anwendungen wird es als vorteilhaft angesehen, wenn als Substratmaterial und/oder als Material für die Nanonadeln ein Metall oder eine Metalllegierung verwendet wird. Geeignete Materialien sind beispielsweise Silber, Kupfer oder Nickel oder Metalllegierungen, die diese Metalle enthalten.

[0016] Bevorzugt werden Nanonadeln mit Durchmesser zwischen 5 und 50 nm und Nadelhöhen zwischen 500 und 1000 nm hergestellt.

[0017] Vorzugsweise wird durch den Elektrolyten ein Wechselstrom oder ein gepulster Strom geleitet; dies ermöglicht eine höhere Stromdichte und führt zu einer besseren Säulenbildung als bei Gleichstrom. Höhere Stromdichten sind bei einem Wechselstromabscheiden deshalb erreichbar, weil es Abscheidungspausen gibt, in denen kein Strom oder nur sehr wenig Strom fließt. In den Abscheidungspausen erfolgt durch Diffusionsprozesse ein Materialausgleich innerhalb des Elektrolyten derart, dass Metallionen in den Nadelbereich nachgeliefert wird. Durch die Abscheidungspausen lässt sich somit vermeiden, dass es an abscheidungsfähigen Metallionen im Bereich der wachsenden Nadelspitzen fehlt und sich andere unerwünschte Stoffe wie beispielsweise Hydroxide (OH^-) durch Spaltung von Wasser $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ auf den Nadelspitzen abscheiden, die das weitere Nadelwachstum stören und unter Umständen dazu führen, dass die Nadeln spröde und brüchig werden.

[0018] Vorzugsweise wird ein gepulster Strom mit Einschaltpulsen erzeugt, deren Dauer jeweils maximal 50 ms–100 ms beträgt. Zwischen den Einschaltpulsen liegen vorzugsweise Abscheidungspausen von zumindest 50 ms–100 ms.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert; dabei zeigen beispielhaft:

[0020] [Fig. 1](#) ein galvanisches Bad zum Abscheiden von Nanonadeln während einer ersten Abscheidungsphase;

[0021] [Fig. 2](#) das galvanische Bad gemäß [Fig. 1](#) während einer zweiten Abscheidungsphase;

[0022] [Fig. 3](#) das Abscheidungsverhalten in Abhängigkeit von der angelegten elektrischen Spannung;

[0023] [Fig. 4](#) die Konzentrationsverteilung des Nadelmaterials in Abhängigkeit vom Abstand zu Substratoberfläche und

[0024] [Fig. 5](#) den Stromverlauf im Falle eines Betriebs des galvanischen Bades mit einem gepulsten

Strom.

[0025] In der [Fig. 1](#) erkennt man ein galvanisches Bad **10** mit einem darin befindlichen Elektrolyten **20** und einem als Kathode arbeitenden Träger **30**. Auf dem Träger **30** befindet sich ein Substrat **40**, auf dessen Oberfläche **50** Nanonadeln beispielsweise aus Kupfer oder Nickel abgeschieden werden sollen. Mit der Kathode bzw. dem Träger **30** ist ein Anschluss einer Spannungsversorgung **70** verbunden, die mit ihrem anderen Anschluss an eine Anode **80** des galvanischen Bades **10** angeschlossen ist.

[0026] Die [Fig. 1](#) zeigt das Aufwachsen der Nanonadeln während einer ersten Abscheidungsphase. Man erkennt, dass das Substrat **40** bereits kleine Hügel **90** aufweist, die zuvor in dem Substrat **40** gebildet worden sind, beispielsweise im Rahmen eines strukturierten Ätzschrittes. Die Hügelspitzen der Hügel **90** weisen einen kleineren Abstand d_h zu der Anode **80** auf als die übrige Oberfläche des Substrats **40**, die einen Abstand d zu der Anode **80** einnimmt. Es gilt also:

$$d > d_h$$

[0027] Aufgrund des geringeren Abstandes der Hügelspitzen zu der Anode **80** wird sich bei Anlegen einer äußeren Spannung U eine inhomogene Stromverteilung innerhalb des Elektrolyten **20** ausbilden. Dies ist in der [Fig. 1](#) schematisch durch Stromdichtelinien j angedeutet, die von der Anode kommend hauptsächlich auf den Hügelspitzen enden.

[0028] Das Prinzip des Nadelwachstums basiert nun darauf, dass im Bereich der Hügelspitzen **90** die Stromdichte j lokal deutlich größer als im Talbereich bzw. außerhalb der Hügelbereiche ist. Es lässt sich durch Simulationsrechnungen zeigen, dass im Hügelbereich je nach Hügelhöhe und Hügelform eine bis zu ca. 100-mal höhere Stromdichte auftreten kann als im benachbarten Talbereich. Aufgrund der lokal höheren Stromdichte im Hügelbereich kommt es dort zu einem entsprechend schnelleren Abscheiden des Nadelmaterials und somit zu einem entsprechend schnelleren Nadelwachstum. Dieser Effekt verstärkt sich dabei selbsttätig, weil nämlich aufgrund des lokal schnelleren Materialwachstums im Hügelbereich die Stromdichteverteilung noch ungleichmäßiger wird und die Stromdichte im Nadelbereich noch mehr anwächst. Beobachtet man das Wachstum der Nadeln unter einem Mikroskop, so stellt man fest, dass während der ersten Phase des Abscheidens das Wachstum im Hügelbereich zunächst sehr langsam erfolgt. Dann, sobald sich die Stromdichteverteilung weiter zugunsten der Hügel **90** bzw. zugunsten der sich darauf ausbildenden Nadeln verschiebt, kommt es zu einem exponentiell ansteigenden Wachstum der Hügel und zu einer Säulen- bzw. Nadelbildung.

[0029] Um zu gewährleisten, dass es zu einem signifikanten Materialabscheiden ausschließlich im Hügelbereich kommt, wird während der ersten Abscheidungsphase der Stromfluss vorzugsweise so klein eingestellt, dass die Stromdichte und damit die Energiedichte ausschließlich im Hügelbereich groß genug ist und nur dort eine Materialabscheidung aktiviert wird. Im Talbereich wird die nötige Aktivierungsenergie dann nicht erreicht, so dass es dort zu keinem Abscheiden von Material kommen kann.

[0030] Wie bereits erläutert, wird es nach dem Auslösen des Wachstumsvorganges im Hügelbereich zu einer Beschleunigung des Säulenwachstums im Bereich der sich ausbildenden Nadelspitzen kommen, weil die Stromdichte dort am größten ist. Nach dem Wachstumsbeginn kann deshalb in eine zweite Abscheidungsphase geschaltet werden, bei der der Stromdichte und damit die Energiedichte deutlich erhöht wird. Eine solche Erhöhung der Strom- und Energiedichte führt zu einem noch schnelleren Nadelwachstum und damit zu einem größeren Durchsatz. Das Abscheiden während der zweiten Abscheidungsphase ist schematisch in der [Fig. 2](#) gezeigt.

[0031] Sofern die Konzentration des Nadelmaterials im Elektrolyten klein genug gewählt ist, kann die Stromdichte auch soweit erhöht werden, dass auch in den Talbereichen des Substrats die erforderliche Aktivierungsenergie für ein Materialabscheiden überschritten wird. Zu einer störenden Materialabscheidung kann es dort nämlich trotzdem nicht kommen, weil aufgrund des starken Nadelwachstums im Bereich der Nadelspitzen das zur Verfügung stehende Nadelmaterial bereits verbraucht ist. Dieser Sachverhalt ist deutlicher in der [Fig. 3](#) gezeigt.

[0032] Man erkennt in der [Fig. 3](#), dass die Konzentration $C(z)$ des Nadelmaterials im Talbereich ($z < Z_n$, wobei Z_n die jeweilige Nadellänge bezeichnet) sehr viel kleiner als im übrigen Elektrolyten ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der schnell wachsende Nadelspitzenbereich das aus dem übrigen Elektrolytbereich nachdiffundierende Material verbraucht, bevor es zu der Substratoberfläche im Talbereich ($z = 0$) gelangen kann. Das Nadelwachstum ist somit diffusionsbegrenzt, wodurch ein unerwünschtes Abscheiden von Nadelmaterial im Talbereich unterbunden wird.

[0033] Bei der Prozessführung beachtet werden sollte, dass kein zu großer Stromfluss und damit keine zu große Energiedichte im Elektrolyten hervorzurufen wird und die Wachstumsgeschwindigkeit der Nanonadeln **100** bzw. Säulen nicht zu groß eingestellt wird, da es sonst zu einem Verbrennen des Elektrolyten kommen kann. Unter einem Verbrennen des Elektrolyten ist zu verstehen, dass sich dieser chemisch verändert, so dass sich andere Stoffe als das Nadelmaterial abscheiden können. Dies zeigt die

Fig. 4 schematisch.

[0034] Man erkennt in der **Fig. 4**, dass bei kleinen Spannungen ($U < U_1$) ein Erhöhen der Spannung zu einer entsprechenden Erhöhung des Stromes I führt.

[0035] Bei mittleren Spannungen ($U_1 < U < U_2$) liegt die beschriebene Diffusionsbegrenzung vor, die den bevorzugten Bereich für das Nadelwachstum bildet. In diesem Bereich kann eine Erhöhung der Spannung keine Erhöhung des Stromflusses bewirken, weil nicht genug Metallionen im Elektrolyten zu Verfügung stehen.

[0036] Wird die Spannung weiter über die Spannung U_2 , die als Maximalspannung des Elektrolyten anzusehen ist, erhöht, so kommt es zu einem Spalten von Wassermolekülen und zu einer Bildung von Wasserstoff-Ionen und OH^- -Ionen, die zu einem Stromfluss beitragen. Tritt eine solche Spaltung der Wassermoleküle auf, wird das Nadelwachstum erheblich gestört. So können sich beispielsweise an den Säulenspitzen statt des gewünschten Nadelmaterials andere Abscheidungsprodukte aus dem Elektrolyten abscheiden, beispielsweise Metallhydroxide, klassisch als „Brennung“ bekannt. Diese können das weitere Nadelwachstum hemmen und beispielsweise dazu führen, dass die Nadeln spröde werden und später abbrechen. Im Falle eines Brennens des Elektrolyten ist die sich ergebende Nadelstruktur meist nicht mehr zu gebrauchen.

[0037] Geeignete Stromdichten während der zweiten Phase des Nadelwachstums liegen bei Verwendung von Gleichstrom vorzugsweise in einem Bereich zwischen 5 bis 8 A/dm^2 für die Abscheidung von Nickelnadeln und in einem Bereich zwischen 5 und 10 A/dm^2 (bis maximal 15 A/cm^2) für Kupfernadeln. Diese beispielhaften Zahlenangaben beziehen sich auf die Verwendung eines Cu-Elektrolyten auf Cyanid-Basis.

[0038] Aufgrund der lokal sehr unterschiedlichen Stromverteilung innerhalb des galvanischen Bades können im Bereich der aufwachsenden Nadeln an der Nadelspitze – wie bereits erläutert – deutlich größere Stromdichten auftreten, die bis zu 100 A/dm^2 betragen können. Aufgrund dieser lokal sehr großen Stromdichten kann es zu dem bereits beschriebenen Problem des „Brennens“ des abgeschiedenen Materials kommen, bei dem das elektrochemische Gleichgewicht innerhalb des Elektrolyten zumindest lokal gestört wird und es zumindest lokal zu einer Aufspaltung von Wasser kommt. Ein Brennen der Nanonadeln sollte vermieden werden, indem die Leistungsdichte bzw. die Stromdichte von außen entsprechend begrenzt wird.

[0039] Besser als mit Gleichstrom funktioniert das Nadelwachstum im Übrigen mit Wechselstrom oder

gepulstem Strom (vgl. **Fig. 5**). Wie bereits erwähnt, lassen sich mit Gleichstrom Stromdichten von bis ca. 8 bis 10 A/dm^2 erreichen. Bei einem Pulsbetrieb sind höhere Werte I_{max} bis zu 20 A/cm^2 erreichbar, wodurch sich noch steilere Nadeln erzeugen lassen. Die höhere erreichbare Stromdichte bei einem Wechselstromabscheiden oder Pulsstromabscheiden ist darauf zurückzuführen, dass es Abscheidungspausen T_p gibt, in denen kein Strom I oder nur sehr wenig Strom fließt. In den Abscheidungspausen erfolgt durch Diffusionsprozesse ein Materialausgleich innerhalb des Elektrolyten, so dass wieder ausreichend Material in den Nadelbereich für ein weiteres Wachstum während der jeweils nächsten Wachstumsphase T_{ein} gelangt. Vorzugsweise liegen T_p und T_{ein} in einem Bereich zwischen ca. 50 und 100 ms.

[0040] Anstelle von Oberflächen mit bereits vorhandenen Hügeln können auch Substrate mit einer polykristallinen Oberfläche verwendet werden. Polykristalline Oberflächen weisen Korngrenzen auf, die unterschiedliche Kristalloberflächen voneinander abgrenzen. Da unterschiedliche Kristalloberflächen unterschiedliche Aktivierungsenergien für das Ablagern von Nadelmaterial aufweisen, kann durch das gezielte Einstellen sehr kleiner Energiedichten im Elektrolyten ein Wachstum auf bevorzugte Kristallabschnitte begrenzt werden, nämlich auf solche, die die geringste Aktivierungsenergie aufweisen. Es kommt dann selbsttätig zu einer Art Hügelbildung, die im nachfolgenden Prozess zu der sich exponentiell beschleunigenden Säulenbildung führt. Das Einstellen der für diesen Effekt erforderlichen geringen Energiedichte in der Anfangsphase erfolgt dabei vorzugsweise durch ein sehr langsames Erhöhen des Stromflusses. Ist der Anstiegsgradient des Stromes nämlich ausreichend klein, wird die Hügelbildung abgeschlossen sein, bevor auch die Kristallabschnitte mit größerer Aktivierungsenergie mit dem Wachstum beginnen können.

[0041] Der Elektrolyt weist zum Herstellen einer Nanonadelstruktur aus Kupfer vorzugsweise folgende Bestandteile auf: 50 bis 100 g/l CuCn , 100 bis 150 g/l KCn und 1 bis 10 g/l KOH .

[0042] Bei zyanidischen Elektrolyten hat Zyanid die Wirkung eines Komplexbildners und puffert die Konzentration der freien Kupferionen im Elektrolyten. Im Elektrolyten ist somit insgesamt sehr viel mehr Kupfer vorhanden, als der tatsächlichen Ionendichte des Kupfers entspricht. Werden Kupferionen aufgrund des Materialabscheidens verbraucht, so stellt der Komplexbildner selbsttätig freie Kupferionen zur Verfügung, so dass die Konzentration der freien Kupferionen während des Abscheidens einigermaßen konstant bleibt. Der Komplexbildner führt also dazu, dass sich trotz eines Materialverbrauchs eine sehr konstante Wachstumsgeschwindigkeit ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer elektrischen Komponente mit einer Nanonadelstruktur, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vielzahl an Nanonadeln (**100**) auf einem Substrat (**40**) unter Verwendung eines Elektrolyten (**20**) elektrochemisch aufgewachsen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Nanonadelstruktur eine Elektronenemitterstruktur oder ein Feldemitterarray gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionen-Konzentration (C) des Nanonadelmaterials in dem Elektrolyten (**20**) derart klein eingestellt wird, dass das Wachstum der Nanonadeln (**100**) diffusionsstrombegrenzt ist und bereits mit Nanonadeln versehene Oberflächenabschnitte des Substrats (**40**) während ihres Nanonadelwachstums anderen noch keine Nanonadeln aufweisenden Oberflächenabschnitten das für eine Materialabscheidung erforderliche Material entziehen.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat mit einer unebenen, Hügel (**90**) aufweisenden Oberfläche verwendet wird und in einer ersten Abscheidungsphase eine derartige Spannung (U) an das Substrat (**40**) angelegt und ein derartiger Stromfluss (I) durch den Elektrolyten (**20**) hervorgerufen wird, dass die durch die Spannung und den Stromfluss hervorgerufene Energiedichte die zum Abscheiden von Nanonadelmaterial erforderliche Aktivierungsenergie ausschließlich im Bereich der Hügel (**90**) erreicht oder überschreitet und das Wachstum der Nanonadeln (**100**) dort beginnt.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, dass ein polykristallines Substrat verwendet wird und in einer ersten Abscheidungsphase eine derartige Spannung (U) an das Substrat (**40**) angelegt und ein derartiger Stromfluss (I) durch den Elektrolyten (**20**) hervorgerufen wird, dass die durch die Spannung und den Stromfluss hervorgerufene Energiedichte die zum Wachstum der Nanonadeln (**100**) erforderliche Aktivierungsenergie ausschließlich im Bereich derjenigen Oberflächenabschnitte des polykristallinen Substrats erreicht oder überschreitet, die eine gegenüber anderen Oberflächenabschnitten des Substrates kleinere Aktivierungsenergie aufweisen.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einer sich an die erste Abscheidungsphase anschließenden zweiten Abscheidungsphase die Energiedichte erhöht wird, wobei die Energiedichte die zum Wachstum der Nanonadeln erforderliche Aktivierungsenergie jedoch ausschließ-

lich im oberen Bereich der aufwachsenden Nanonadeln (**100**) erreicht oder überschreitet.

7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einer sich an die erste Abscheidungsphase anschließenden zweiten Abscheidungsphase die Energiedichte derart erhöht wird, dass auf allen Oberflächenbereichen des Substrats (**40**) ein Abscheiden von Nanonadelmaterial erfolgen könnte, sofern das für ein Nadelwachstum erforderliche Nanonadelmaterial in dem Elektrolyten (**20**) in ausreichendem Maße lokal vorhanden wäre.

8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Substratmaterial und/oder als Material für die Nanonadeln (**100**) ein Metall oder eine Metalllegierung, insbesondere Silber, Kupfer oder Nickel oder eine diese Metalle enthaltende Metalllegierung, verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechselstrom (I) oder ein gepulster Strom (I) durch den Elektrolyten (**20**) geleitet wird.

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Nanonadeln (**100**) mit Durchmessern zwischen 5 und 50 nm und Nadelhöhen zwischen 500 und 1000 nm hergestellt werden.

11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Nanonadelstruktur ein Display als elektrische Komponente hergestellt wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

