

Verfahren und Vorrichtung zur selektiven Modifikation der Schichtmorphologie in Supraleitern

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur selektiven Modifikation der Schichtmorphologie in Supraleitern durch Phasenumwandlung und Strukturierung durch Anwendung eines lokalen Wärmeeintrags.

Supraleiter, insbesondere Hochtemperatursupraleiter (HTSL) wie Yttrium-Barium-Kupferoxid (YBCO) und weitere Cuprat-basierte oder Eisen-basierte Sup-

raleiter, finden immer weitere Anwendungen, beispielsweise in Quantentechnologie, Kryoelektronik, Leistungselektronik, oder Telekommunikation. Um Supraleiter jedoch in diesen Anwendungsgebieten nutzbar zu machen, ist eine mikrotechnische Herstellung von supraleitenden Strukturen notwendig. Bisher erfordert eine solche Herstellung komplexe Prozessabläufe. Zunächst wird eine Schicht des supraleitenden Materials mittels eines gängigen Beschichtungsverfahrens der Dünnschichttechnologie, wie physikalischer Gasphasenabscheidung (physical vapor deposition, PVD), Molekularstrahlepitaxie (molecular-beam epitaxy, MBE), Laserstrahlverdampfen (pulsed laser deposition, PLD) elektrochemischer Abscheidung (electrochemical deposition, ECD), reaktiver Verdampfung (reactive evaporation, RE) oder chemischer Gasphasenabscheidung (chemical vapor deposition, CVD) auf ein Trägersubstrat aufgetragen. Daraufhin erfolgt eine Wärmebehandlung bei hohen Temperaturen, um das Material in eine supraleitende Phase zu überführen. Eine Strukturierung kann erst danach erfolgen. Da es sich jedoch insbesondere bei HTSL um Zusammensetzungen aus mehreren Elementen mit stark anisotropen kristallinen Gefügen handelt, sind Ätzprozesse zur Herstellung genau definierter Strukturen oftmals schwierig. Zur Anwendung kommt bei der Strukturierung typischerweise das Reaktive Ionen Ätzen (reactive ion etching, RIE) oder das Ionenstrahlätzen (ion beam etching, IBE). Diese aufwändigen Verfahren führen jedoch zu einer schnellen Degradation der Schichten und sind daher auf eine Schichtdicke von 50 nm bis 100 nm begrenzt. Alternativ werden auch nasschemische Strukturierungsverfahren und gepulste Laserablation (pulsed laser ablation, PLA) verwendet, um Strukturen zu erzeugen, wobei jedoch beide Verfahren ebenfalls eine Vielzahl von Nachteilen mit sich bringen. So führen nasschemische Verfahren aufgrund von chemischer Degradation der Oberflächen zu einer Verschlechterung der supraleitenden Eigenschaften. Bei der Laserablation hingegen können Materialschäden im Bereich der Strukturanten entstehen, wobei die Breite der beschädigten Zone von der Schichtdicke, der verwendeten Laserstrahlung und der Anzahl und Dauer der Laserpulse abhängt. Da die Laserpulse zu einer Erwärmung des Materials führen, kann die Laserablation auch zu einem Verlust von Sauerstoff im Material und daher zur Verschlechterung der supraleitenden Eigenschaften führen.

Aufgabe der vorliegenden Patentanmeldung ist es daher, die genannten Prob-

leme zu lösen und ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien vorzuschlagen, mit denen sich supraleitende Strukturen auf einfache, zuverlässige und gut skalierbare Weise herstellen lassen.

5

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 18.

10

Ein Verfahren zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien, umfasst insbesondere die folgenden Schritte:

Abscheidung einer Dünnschicht aus einem supraleitenden Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf einem Trägersubstrat in einer Abscheideanlage,

15

lokaler Wärmeeintrag in die Dünnschicht, wobei Bereiche der Dünnschicht erwärmt werden und eine Phasenumwandlung in eine supraleitende Phase erfahren, sodass Bereiche der supraleitenden Phase in der isolierenden Phase eingebettete Strukturen bilden.

20

Das Verfahren kann für eine Vielzahl gängiger Supraleitermaterialien, wie Hochtemperatursupraleiter aus der Gruppe der Cuprat-basierten Supraleiter, wie YBCO, REBaCuO oder BiSCCO, oder Eisen-basierten Supraleiter, wie Eisenpniktide oder Eisenselenide verwendet werden, um Hochtemperatursupraleiterstrukturen zu erhalten. Ebenso kann es aber auch für weitere metallische Supraleiter, A15-Phasen und amorphe oder kristalline Legierungen Anwendung finden, um Änderungen der Schichtmorphologie in diesen zu erreichen. Im Folgenden wird das supraleitende Material als Dünnschicht bezeichnet.

25

30

Zur Abscheidung der Dünnschicht aus supraleitendem Material können alle in der Dünnschichttechnologie gängigen Abscheide- und Beschichtungsverfahren, wie physikalischer Gasphasenabscheidung (PVD), chemischer Gasphasenabscheidung (CVD), Atomlagenabscheidung (atomic layer deposition, ALD), gepulster Laserabscheidung (PLD), elektrochemischer Abscheidung (ECD) oder auch Druckverfahren genutzt werden. Die Abscheideanlage ist eine für die entsprechende Methode ausgelegte Vorrichtung. Die Abscheidung der Dünnschicht

35

schicht erfolgt unter Sauerstoffatmosphäre. Durch unterschiedliche atmosphärische Bedingungen wie zum Beispiel die Gaszusammensetzung, den Gasdruck und die Temperatur kann ein definiertes Schichtwachstum begünstigt werden. Bei dem Trägersubstrat kann es sich um Halbleitermaterialien, Keramiken, Gläser, Metall, Diamant oder auch Polymere handeln. Die Substrattemperatur beeinflusst die Schichtherstellung ebenfalls. In der Regel wird eine Substrattemperatur von über 500 °C bei der Abscheidung von HTSL-Materialien verwendet, während bei Eisen-basierten Supraleitern Temperaturen um die 400 °C genutzt werden. Nach der Abscheidung liegt das supraleitende Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf dem Trägersubstrat vor.

Der lokale Wärmeeintrag dient zur selektiven Modifikation der Schichtmorphologie und erfüllt somit gleichzeitig die Aufgaben der Prozessschritte Wärmebehandlung und Strukturierung der herkömmlichen Herstellungsprozesskette für Supraleiterstrukturen. Der lokale Wärmeeintrag kann dabei simultan für mehrere Strukturen oder Gruppen von Strukturen in einem Prozessschritt erfolgen und bietet so insbesondere Vorteile gegenüber schreibenden Verfahren wie der Laserablation. Der lokale Wärmeeintrag kann nach der Abscheidung oder während der Abscheidung der Dünnschicht erfolgen. Ebenso kann der lokale Wärmeeintrag in der Abscheideanlage, im Folgenden in-situ, oder außerhalb der Abscheideanlage, im Folgenden ex-situ, erfolgen. Durch den lokalen Wärmeeintrag werden Bereiche der Dünnschicht hinreichend erwärmt, sodass in diesen Bereichen eine Phasenumwandlung von der keramischen/isolierenden Phase in die supraleitende Phase stattfindet. Da diese Umwandlung nur bereichsweise erfolgt, bilden sich so gleichzeitig Strukturen in der supraleitenden Phase, die in die umgebende Ausgangsphase eingebettet sind. Durch eine Kontrolle des lokalen Wärmeeintrags können so die gewünschten Geometrien der supraleitenden Strukturen erzielt werden. Es entsteht ein Materialverbund aus supraleitenden und nicht-supraleitenden Bereichen ohne zusätzlichen Schichtabtrag oder -auftrag. Ein zusätzlicher Prozessschritt zur Strukturierung entfällt also.

Der lokale Wärmeeintrag kann zusammen mit einer Erwärmung des Trägersubstrats erfolgen. Insbesondere bei der Abscheidung der Dünnschicht ist

in der Regel eine erhöhte Substrattemperatur notwendig. Der lokale Wärme-
eintrag kann daher auch zur Erwärmung des Trägersubstrats dienen oder eine
bereits vorhandene Substrateheizung ergänzen. In letzteren Fall kann der lo-
kale Wärmeintrag dazu dienen, die durch die Substrateheizung bereitgestellte
5 Wärmeenergie lokal und selektiv stark zu erhöhen, sodass die für eine Pha-
senumwandlung notwendige Temperatur bereichsweise in der Dünnschicht
erreicht wird.

Der lokale Wärmeeintrag kann direkt mittels Induktionserwärmung der Dün-
10 nschicht erfolgen. Durch mindestens eine Induktionsspule werden dazu Wirbel-
ströme direkt in Bereiche der Dünnschicht induziert, die das Material durch
dessen internen Widerstand erwärmen. Durch die Geometrie der Induktions-
spule wird die Geometrie der erwärmten Bereiche und damit auch der resul-
tierenden Strukturen vorgegeben. Die Induktionsspule kann beispielsweise in
15 einem Substrathalter der Abscheideanlage, dem sogenannten Chuck, inte-
griert sein. Alternativ kann die Induktionsspule auch extern, beispielweises
über der Oberfläche der Dünnschicht, angeordnet sein.

Die Induktionserwärmung kann durch eine Induktionsspule erfolgen, die in
20 das Trägersubstrat der Dünnschicht integriert ist. Die Induktionsspule ist dazu
in einer Schicht aus elektrisch isolierendem Material eingebettet, die auf dem
Trägersubstrat angeordnet ist. Das Trägersubstrat kann in diesem Fall einen
Schichtstapel bilden, der Schichten aus isolierendem Material mit integrierter
Induktionsspule umfasst, auf die dann die Dünnschicht abgeschieden wird. Da
25 die Induktionsspule auf dem Trägersubstrat vorgesehen ist, können ihre Ei-
genschaften für jede gewünschte Struktur einzeln vorbestimmt werden.

Anstatt die Dünnschicht mittels Induktion direkt zu erwärmen, kann der lokale
Wärmeintrag auch indirekt mittels Wärmeleitung aus einem Triggermaterial
30 erfolgen. Das Triggermaterial ist auf dem Trägersubstrat der Dünnschicht an-
geordnet. Das Trägersubstrat kann in diesem Fall einen Schichtstapel bilden,
der Schichten aus isolierendem Material mit darin eingebettetem Triggerma-
terial sowie eine möglicherweise integrierte Induktionsspule umfasst, auf den
dann die Dünnschicht abgeschieden wird. Das Triggermaterial kann in beliebi-
35 gen Geometrien angeordnet sein. Durch Induktionsspulen, beispielsweise im

Substrathalter oder ebenfalls im Trägersubstrat, werden wiederum Wirbelströme in dem Triggermaterial induziert, wodurch sich dieses erwärmt. Durch die Wärmeleitfähigkeit des Triggermaterials wird so auch die Dünnschicht bereichsweise erwärmt. Neben elektrischer Leitfähigkeit sollte das Triggermaterial daher auch eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Besonders geeignet sind daher Materialien wie Kupfer, Silber oder insbesondere Titan, welches zusätzlich eine hohe Schmelztemperatur aufweist. Durch die Geometrie des Triggermaterials auf dem Trägersubstrat wird damit auch die Geometrie der zu erzeugenden supraleitenden Strukturen vorgegeben. Die Verwendung eines Triggermaterials ergibt so eine höhere Flexibilität bei der Herstellung der Strukturen, da bei einem Wechsel der gewünschten Strukturgeometrie nicht zwingend eine Geometrieänderung der Induktionsspule erfolgen muss.

Alternativ kann der lokale Wärmeeintrag auch indirekt mittels Widerstandserwärmung durch resistive Heizelemente erfolgen. Die resistiven Heizelemente können auf dem Trägersubstrat der Dünnschicht integriert sein und elektrisch kontaktiert werden, um die Dünnschicht bereichsweise durch Wärmeleitung zu erwärmen. Die resistiven Heizelemente können in eine elektrisch isolierende Schicht auf dem Trägersubstrat angeordnet sein. Durch die Geometrie der resistiven Heizelemente kann die Geometrie der zu erzeugenden Strukturen vorgegeben werden.

Der lokale Wärmeeintrag mittels einer der zuvor beschriebenen Methoden kann in-situ in der Abscheideanlage unter Sauerstoffatmosphäre erfolgen. Auf diese Weise wird keine weitere Heizvorrichtung, wie sie bei herkömmlichen Wärmebehandlungen verwendet wird benötigt und der Prozessaufwand lässt sich reduzieren. Die Abscheideanlage kann zur Ermöglichung des lokalen Wärmeeintrags entsprechend angepasst sein, beispielsweise mit Induktionsspulen oder zusätzliche Kontakten zum Anschluss von resistiven Heizelementen. Vorzugsweise kann der lokale Wärmeeintrag in-situ bereits während der Abscheidung der Dünnschicht erfolgen. Dabei wird die entstehende Dünnschicht bereits während der Abscheidung lokal stärker erwärmt als das Substrat, sodass das supraleitende Material bereichsweise eine Phasenumwandlung in die supraleitende Phase erfährt. Auf diese Weise kann die Prozesszeit bei der Herstellung von supraleitenden Strukturen weiter reduziert werden.

Alternativ kann der lokale Wärmeintrag auch ex-situ in einer zusätzlichen Heizkammer unter Sauerstoffatmosphäre erfolgen. Durch die Verwendung einer zusätzlichen Heizkammer für den lokalen Wärmeeintrag werden zwar die Prozessschritte Abscheidung und lokaler Wärmeeintrag räumlich getrennt, es
5 ergeben sich jedoch mehr Möglichkeiten beim lokalen Wärmeeintrag, beispielsweise durch eine oberflächenseitige Erwärmung der Dünnschicht.

Der lokale Wärmeintrag kann auch bereits während der Abscheidung in der Abscheideanlage erfolgen und durch eine weitere Wärmebehandlung ex-situ
10 in einer Heizkammer vervollständigt werden. Zu diesem Zweck wird die Dünnschicht während der Abscheidung lokal erwärmt um die bereichsweise Phasenumwandlung in die supraleitende Phase anzuregen. Durch eine nachfolgende Wärmebehandlung in der Heizkammer werden diese Bereiche dann selektiv vollständig in die supraleitende Phase umgewandelt, während die um-
15 gebenden Bereiche in der keramischen Phase verbleiben.

Bei der Dünnschicht kann es sich insbesondere um eine Hochtemperatursupraleiter-Schicht handeln. Da die bekannten HTSL-Materialien, wie YBCO, REBa-CuO, BiSCCO oder Eisen-basierte Hochtemperatursupraleiter mit herkömmlichen Methoden nur schwer zu strukturieren sind, beziehungsweise durch herkömmliche Strukturierungsverfahren Reduktionen in ihrer Leistungsfähigkeit erfahren, ist das erfindungsgemäße Verfahren für diese Materialien besonders geeignet, um supraleitende Strukturen beziehungsweise Geometrien her-
20 zustellen.

Ebenso kann es sich bei der Dünnschicht auch um weitere metallische Supraleiter, A15-Phasen und amorphe oder kristalline Legierungen handeln. Auch bei diesen Materialien kann es von Vorteil sein, Wärmebehandlung und Strukturierung miteinander zu verbinden. Gleichzeitig können durch das erfindungsgemäße Verfahren auch weitere verbesserte Eigenschaften, wie zum
25 30 Beispiel erhöhte Duktilität, erzielt werden.

Für die Abscheidung der Dünnschicht können gängigen Verfahren wie PVD, CVD, ALD, PLD oder ECD verwendet werden. Ebenso kann die Dünnschicht
35 mittels Druckverfahren erzeugt werden. Somit ist das Verfahren bezüglich der

Abscheidemethode der Dünnschicht, und daher auch bezüglich des zu bearbeitenden supraleitenden Materials äußerst flexibel. Darüber hinaus lassen sich diese herkömmlichen Methoden ohne großen zusätzlichen Prozessaufwand für das erfindungsgemäße Verfahren nutzen.

5

Als Dünnschicht kann in diesem Kontext eine Schicht mit einer Dicke von weniger als 100 µm angesehen werden. Schichten dieser Größenordnung sind für mikrotechnische Anwendungen relevant. Gleichzeitig ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren zuverlässig die Modifikation der Schichtmorphologie solcher Schichten.

10

Das beschriebene Verfahren weist außerdem eine große Flexibilität bezüglich der verwendeten Trägersubstrate auf. So kann das Trägersubstrat beispielsweise dreidimensional vorstrukturiert sein, um zusätzliche Effekte zu erzielen oder eine spätere Anwendung zu ermöglichen. Während eine solche Vorstrukturierung des Substrats eine Strukturierung des supraleitenden Materials mittels vieler herkömmlicher Methoden erschweren würde, hat sie keinen negativen Einfluss auf die selektive Modifikation durch das erfindungsgemäße Verfahren. Außerdem lassen sich mit diesem Verfahren Trägersubstrate und damit Dünnschichten aus supraleitenden Materialien auf Chip-, Wafer- oder sogar Panelgröße verarbeiten, da sich die Methoden zum lokalen Wärmeeintrag auf einfache Weise auch für größere Flächen skalieren lassen.

15

20

Durch den lokalen Wärmeeintrag können in der Dünnschicht Temperaturen zwischen 200 °C und 2000 °C erreicht werden. Auf diese Weise können in Dünnschichten aus relevanten supraleitenden Materialien Phasenumwandlungen in die supraleitende Phase erreicht werden. Somit ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren die Herstellung von supraleitenden Strukturen aus einer Vielzahl von Supraleitern.

25

30

Eine Vorrichtung zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien, umfasst

eine Abscheideanlage zur Abscheidung einer Dünnschicht aus einem supraleitenden Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf einem Trägersubstrat, und

35

eine Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag in die Dünnschicht, wobei

Bereiche der Dünnschicht erwärmt werden und eine Phasenumwandlung in eine supraleitende Phase erfahren, sodass Bereiche der supraleitenden Phase in der isolierenden Phase eingebettete Strukturen bilden.

- 5 Die Abscheideanlage kann in der Dünnschichttechnologie gängige Beschichtungsverfahren nutzen, um eine Dünnschicht aus supraleitendem Material in einer keramischen oder isolierenden Phase abzuscheiden. Durch unterschiedliche atmosphärische Bedingungen wie zum Beispiel die Gaszusammensetzung, den Gasdruck und die Temperatur kann dabei ein definiertes Schichtwachstum begünstigt werden. Nach der Abscheidung liegt das supraleitend
- 10 Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf dem Trägersubstrat vor.
- Durch die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag wird die Schichtmorphologie selektiv modifiziert. Sie führt somit gleichzeitig die Prozessschritte Wärmebehandlung und Strukturierung der herkömmlichen Herstellungsprozesskette für Supraleiterstrukturen aus. Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag kann Teil der Abscheideanlage sein, sodass der lokale Wärmeeintrag in-situ erfolgt, oder extern als eigenständige Vorrichtung vorgesehen sein, sodass der
- 15 lokale Wärmeeintrag ex-situ erfolgt.
- 20 Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag kann dazu konfiguriert sein, auch das Trägersubstrat zu erwärmen, um beispielsweise den Abscheidvorgang der Dünnschicht zu begünstigen.
- 25 Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag kann mindestens eine Induktionsspule umfassen. Diese kann in einer Substrathalterung angeordnet sein. Durch mindestens eine Induktionsspule werden Wirbelströme direkt in Bereiche der Dünnschicht induziert, die das Material durch dessen internen Widerstand erwärmen. Durch die Geometrie der Induktionsspule wird die Geometrie der erwärmten Bereiche und damit auch der resultierenden Strukturen vorgegeben. Alternativ kann die Induktionsspule auch extern, beispielsweise über der Oberfläche der Dünnschicht, angeordnet sein.
- 30 Die Induktionsspule kann in dem Trägersubstrat der Dünnschicht integriert
- 35

sein. Die Induktionsspule kann dazu in einer Schicht aus elektrisch isolierendem Material eingebettet sein, die auf dem Trägersubstrat angeordnet ist. Da die Induktionsspule auf dem Trägersubstrat vorgesehen ist, können ihre Eigenschaften für jede gewünschte Struktur einzeln vorbestimmt werden.

5

Das Trägersubstrat kann ein Triggermaterial umfassen, das durch Induktionserwärmung erwärmt wird. Das Triggermaterial kann in eine elektrisch isolierende Schicht eingebettet sein. Das Triggermaterial kann in beliebigen Geometrien angeordnet sein. Durch die Induktionsspule werden wiederum Wirbelströme in dem Triggermaterial induziert, wodurch sich dieses erwärmt. Durch die Wärmeleitfähigkeit des Triggermaterials wird so auch die Dünnschicht bereichsweise erwärmt. Neben elektrischer Leitfähigkeit sollte das Triggermaterial daher auch eine gute Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Schmelztemperatur aufweisen. Besonders geeignet sind daher Materialien wie Kupfer, Silber oder Titan. Durch die Geometrie des Triggermaterials auf dem Trägersubstrat wird damit auch die Geometrie der zu erzeugenden supraleitenden Strukturen vorgegeben. Die Verwendung eines Triggermaterials ergibt so eine höhere Flexibilität bei der Herstellung der Strukturen, da bei einem Wechsel der gewünschten Strukturgeometrie nicht zwingend die Geometrie der Induktionsspule angepasst werden muss

Alternativ kann die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag resistive Heizelemente umfassen. Die resistiven Heizelemente können auf dem Trägersubstrat der Dünnschicht integriert sein und elektrisch kontaktiert werden, um die die Dünnschicht bereichsweise durch Wärmeleitung zu erwärmen. Die resistiven Heizelemente können in eine elektrisch isolierende Schicht auf dem Trägersubstrat angeordnet sein. Durch die Geometrie der resistiven Heizelemente kann die Geometrie der zu erzeugenden Strukturen vorgegeben werden.

30

Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeintrag als Teil der Abscheideanlage ausgebildet sein. Die Abscheideanlage kann zur Ermöglichung des lokalen Wärmeeintrags entsprechend angepasst sein, beispielsweise mit Induktionsspulen oder zusätzliche Kontakten zum Anschluss von resistiven Heizelementen. Vorzugsweise kann die Vorrichtung zum lokalen Wärmeintrag dazu konfiguriert

35

5 sein, den lokalen Wärmeeintrag bereits während der Abscheidung der Dünnschicht durchzuführen. Dabei wird die entstehende Dünnschicht bereits während der Abscheidung lokal stärker erwärmt als das Substrat, sodass das supraleitende Material bereichsweise eine Phasenumwandlung in die supraleitende Phase erfährt. Auf diese Weise kann die Prozesszeit bei der Herstellung von supraleitenden Strukturen weiter reduziert werden.

10 Alternativ kann die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag auch als externe Heizkammer vorgesehen sein. Bei der Heizkammer kann es sich um eine Heizkammer handeln, wie sie für herkömmliche Wärmebehandlungen verwendet wird, die für die zuvor beschriebenen Methoden zum lokalen Wärmeeintrag angepasst und beispielsweise mit Induktionsspulen oder zusätzliche Kontak-

15 ten zum Anschluss von resistiven Heizelementen versehen ist. Ebenso kann es sich bei der Heizkammer jedoch auch um eine, auf die spezifischen Methoden zum lokalen Wärmeeintrag zugeschnittene Anordnung handeln.

Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag kann auch dazu konfiguriert sein, den lokalen Wärmeeintrag bereits während der Abscheidung in der Abscheideanlage in-situ auszuführen und nachfolgend eine weitere Wärmebehandlung ex-situ auszuführen.

20 Die Abscheideanlage kann dazu konfiguriert sein, eine Hochtemperatursupraleiterschicht abzuscheiden. Da die bekannten HTSL-Materialien, wie YBCO, RE-BaCuO, BiSCCO oder Eisen-basierte Hochtemperatursupraleiter mit herkömmlichen Methoden nur schwer zu strukturieren sind, beziehungsweise durch

25 herkömmliche Strukturierungsverfahren Reduktionen in ihrer Leistungsfähigkeit erfahren, ist die erfindungsgemäße Vorrichtung für diese Materialien besonders geeignet, um supraleitende Strukturen herzustellen.

Ebenso kann die Abscheideanlage jedoch auch dazu konfiguriert sein, weitere

30 metallische Supraleiter, a15-Phasen und amorphe oder kristalline Legierungen abzuscheiden. Auch für diese Verfahren vereinfacht die erfindungsgemäße Vorrichtung die Herstellung supraleitender Strukturen.

Die Abscheideanlage kann ein gängiges Verfahren wie PVD, CVD, ALD, PLD oder ECD verwenden, um die Dünnschicht abzuscheiden. Ebenso kann die Abscheideanlage dazu konfiguriert sein, die Dünnschicht mittels Druckverfahren

35

zu erzeugen.

5 Als Dünnschicht kann in diesem Kontext eine Schicht mit einer Dicke von weniger als 100 µm angesehen werden. Durch die beschriebene Vorrichtung wird eine selektive Modifikation der Schichtmorphologie solcher Schichten möglich.

10 Die Abscheideanlage kann dazu konfiguriert sein, Dünnschichten auf dreidimensional vorstrukturierte Trägersubstrate abzuscheiden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung erleichtert so die Herstellung von dreidimensionalen Strukturen aus supraleitenden Materialien. Die Abscheideanlage sowie die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag können außerdem dazu konfiguriert sein, Trägersubstrate sowohl in Chip-, Wafer als auch Panelgröße mit supraleitenden Strukturen zu versehen. Somit können mit der beschriebenen Vorrichtung
15 zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien großflächig supraleitende Strukturen hergestellt werden.

20 Die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag kann dazu konfiguriert sein, in der Dünnschicht Temperaturen zwischen 200 °C und 2000 °C zu erreichen und kann daher in einer Vielzahl von relevanten supraleitenden Materialien einen Phasenübergang in die supraleitende Phase einleiten.

25 Durch das erfindungsgemäße Verfahren, sowie durch die erfindungsgemäße Vorrichtung, lassen sich somit eine Vielzahl von Problemen, die bei der mikrotechnischen Herstellung von supraleitenden Strukturen auftreten, lösen. Es kann auf eine einfache Weise ein Materialverbund aus supraleitender Phase und isolierender Phase aus einer Dünnschicht hergestellt werden, sodass die supraleitenden Strukturen zueinander elektrisch isoliert sind. Da keine nachträgliche Strukturierung mittels Ätzvorgängen oder Laserablation erfolgt, nehmen die Strukturen keine Schäden, die ihre Leistungsfähigkeit mindern könnten. Die Herstellung kann in-situ erfolgen, um die Prozesszeiten und den Geräteaufwand weiter zu reduzieren.

35 Die beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens und der Vorrichtung zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus

supraleitenden Materialien können dabei sowohl einzeln verwendet als auch kombiniert werden, um zusätzliche Effekte zu erzielen und die Herstellung von Strukturen aus supraleitenden Materialien zu vereinfachen und für eine Vielzahl von Materialien und Anwendungsbereichen zu ermöglichen.

5

Die bereits erwähnten sowie weitere Aspekte der Erfindung werden ersichtlich anhand der detaillierten Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die mit Hilfe der folgenden Figuren gegeben wird, von welchen:

10

Fig. 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

Fig. 2 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

15

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

Fig. 4 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

20

Fig. 5 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

25

Fig. 7 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

30

Fig. 8 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt,

Fig. 9 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt, und

35

Fig. 10 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch darstellt.

5 Im Folgenden sollen das beanspruchte Verfahren auf Basis der begleitenden Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei beziehen sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche Elemente.

10 Fig. 1 bis 5 stellen erfindungsgemäße Verfahren sowie die verwendeten Vorrichtungen schematisch dar, in denen der lokale Wärmeeintrag in-situ mit der Abscheideanlage 3 erfolgt. Fig. 6 bis 10 hingegen stellen erfindungsgemäße Verfahren sowie die verwendeten Vorrichtungen dar, in denen der lokale Wärmeeintrag ex-situ mit einer Heizkammer 12 erfolgt.

15 Die Figuren zeigen jeweils den Schritt des lokalen Wärmeeintrags in die Dünnschicht 1 sowie die resultierenden Strukturen in der supraleitenden Phase 8. Die Dünnschicht 1 in der keramischen oder isolierenden Phase des supraleitenden Materials wird zuvor in einem nicht dargestellten Prozessschritt durch eine Abscheideanlage 3 auf das Trägersubstrat 2 abgeschieden. Die Abscheidung kann durch ein gängiges Beschichtungsverfahren der Dünnschichttechnologie wie PVD, CVD, ALD, PLD oder ECD erfolgen werden. Ebenso kann die
20 Dünnschicht 1 mittels Druckverfahren erzeugt werden.

Bei dem Trägersubstrat 2 handelt es sich um einen Chip, einen Wafer oder ein Panel aus Halbleitermaterial, Keramik, Glas, Metall, Diamant oder auch Polymer. Das Material des Trägersubstrats wird nach dem geplanten Verwendungszweck und dem verwendeten supraleitenden Material gewählt. Das Trägersubstrat 2 kann während des Abscheidevorgangs durch die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag geheizt werden.
25

30 Die Dünnschicht 1 besteht aus einem supraleitenden Material. Es kann sich um einen Hochtemperatursupraleiter aus der Gruppe der Cuprat-basierten Supraleiter, wie YBCO, REBaCuO oder BiSCCO, oder der Eisen-basierten Supraleiter, wie Eisenpniktide oder Eisenselenide handeln. Ebenso kann es sich um ein supraleitendes Material aus der Gruppe der amorphen oder kristallinen Legierungen, metallischer Supraleiter oder A15-Phasen handeln.
35

In Fig. 1 ist der lokale Wärmeeintrag mittels direkter Induktionserwärmung in die Dünnschicht 1 in-situ in der Abscheideanlage 3 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in der Substrathalterung 5 angeordneten Induktionsspule 6. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme direkt in der Dünnschicht 1 induziert. Durch den Widerstand des Schichtmaterials wird die Dünnschicht 1 lokal erwärmt. Die Anordnung der Induktionsspule 6 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. Durch eine hinreichende Erwärmung, je nach verwendetem supraleitendem Material zwischen 200 °C und 2000 °C, findet in den Bereichen, auf die der lokale Wärmeeintrag wirkt, eine Phasenumwandlung von der keramischen oder isolierenden Phase des supraleitenden Materials in die supraleitende Phase 8 statt. Somit ergeben sich in der Dünnschicht 1 Strukturen aus der supraleitenden Phase 8, die in die nicht-umgewandelte Phase eingebettet sind und so zueinander isoliert sind.

In Fig. 2 ist eine weitere Ausführungsform des lokalen Wärmeeintrags mittels direkter Induktionserwärmung in die Dünnschicht 1 in-situ in der Abscheideanlage 3 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 angeordneten Induktionsspule 6. Diese ist in eine isolierende Schicht 9 eingebettet. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme direkt in der Dünnschicht 1 induziert. Durch den Widerstand des Schichtmaterials wird die Dünnschicht 1 lokal erwärmt. Die Anordnung der Induktionsspule 6 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. Da in dieser Ausführung die Induktionsspule 6 in das Trägersubstrat 2 integriert ist, muss für eine Änderung der gewünschten Geometrie der zu erzeugenden Strukturen nicht die gesamte Substrathalterung 5 angepasst werden. Stattdessen kann für jede gewünschte Geometrie ein eigenes Trägersubstrat 2 hergestellt werden.

In Fig. 3 ist der indirekte lokale Wärmeeintrag mittels Induktionserwärmung in ein Triggermaterial 10 und Wärmeleitung in die Dünnschicht 1 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in die Substrathalterung

5 integrierten Induktionsspule 6. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme in dem Triggermaterial 10 induziert. Dieses ist in eine elektrisch isolierende Schicht 9 des Trägersubstrats 2 eingebettet. Durch den Widerstand des Triggermaterials 10 wird dieses erwärmt.

5 Die lokale Erwärmung der Dünnschicht 1 erfolgt durch die Wärmeleitung des Triggermaterials 10 in die Dünnschicht 1. Die Anordnung des Triggermaterials auf dem Trägersubstrat gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. In dieser Ausführung ist die Induktionsspule 6 fest in Substrathalterung 5 integriert, jedoch wird die Geometrie der supraleitenden Phase 8 durch die Geometrie des Triggermaterials 10 auf dem Trägersubstrat 2 vorgegeben, sodass

10 bei einer Änderung der gewünschten Geometrie lediglich das Trägersubstrat 2 geändert werden muss.

Die Ausführungsform der Fig. 4 ähnelt der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform, jedoch sind hier sowohl die Induktionsspule 6, als auch das Triggermaterial 10 in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 integriert. Diese sind in isolierende Schichten 9 eingebettet, bei denen es sich um zwei getrennte Schichten oder auch um eine durchgängige Schicht handeln könnte. In dieser Ausführungsform sind die Strukturen in der supraleitenden Phase 8 gänzlich von

15 der Substrathalterung 5 unabhängig.

In Fig. 5 ist der indirekte lokale Wärmeeintrag mittels Widerstandserwärmung resistiver Heizelemente 11 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Erwärmung erfolgt mittels in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 integrierter resistiver Heizelemente 11. Diese sind in eine elektrisch isolierende Schicht 9 eingebettet. Durch den Widerstand der resistiven Heizelemente erhitzen sich diese unter Stromfluss.

25 Die lokale Erwärmung der Dünnschicht 1 erfolgt durch die Wärmeleitung der Heizelemente 11. Die Anordnung der resistiven Heizelemente 11 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche und somit auch die Geometrie der erzeugten Strukturen in der supraleitenden Phase 8 vor.

30

Die in Fig. 1 bis Fig. 5 dargestellten Ausführungsformen haben gemeinsam, dass der lokale Wärmeeintrag in-situ in der Abscheideanlage 3 stattfindet.

35 Dies ermöglicht, dass der lokale Wärmeeintrag gleichzeitig mit der Abscheidung der Dünnschicht 1 stattfinden kann.

In Fig. 6 ist hingegen der lokale Wärmeeintrag mittels direkter Induktionserwärmung in die Dünnschicht 1 ex-situ in der Heizkammer 12 schematisch dargestellt. Der Vorgang entspricht ansonsten der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform: Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4

5 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in der Substrathalterung 5 angeordneten Induktionsspule 6. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme direkt in der Dünnschicht 1 induziert. Durch den Widerstand des Schichtmaterials wird die Dünnschicht 1 lokal erwärmt. Die Anordnung der Induktionsspule 6 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. Durch eine hinreichende Erwärmung, je nach verwendeten supraleitendem Material zwischen 200 °C und 2000 °C, findet in den Be-

10 reichen, auf die der lokale Wärmeeintrag wirkt, eine Phasenumwandlung von der keramischen oder isolierenden Phase des supraleitenden Materials in die supraleitende Phase 8 statt. Somit ergeben sich in der Dünnschicht 1 Strukturen aus der supraleitenden Phase 8, die in die nicht-umgewandelte Phase eingebettet sind und so zueinander isoliert sind.

15

In Fig. 7 ist eine weitere Ausführungsform des lokalen Wärmeeintrags mittels direkter Induktionserwärmung in die Dünnschicht 1 ex-situ in der Heizkammer 12 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 angeordneten Induktionsspule 6. Diese ist in eine isolierende Schicht 9 eingebettet. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein

20 elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme direkt in der Dünnschicht 1 induziert. Durch den Widerstand des Schichtmaterials wird die Dünnschicht 1 lokal erwärmt. Die Anordnung der Induktionsspule 6 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. Da in dieser Ausführung die Induktionsspule 6 in das Trägersubstrat 2 integriert ist, muss für eine Änderung der gewünschten Geometrie der zu erzeugenden Strukturen nicht die gesamte Substrathalterung 5 angepasst werden. Stattdessen kann für jede gewünschte Geometrie ein eigenes Trägersubstrat 2 hergestellt werden.

25

30

In Fig. 8 ist der indirekte lokale Wärmeeintrag mittels Induktionserwärmung in ein Triggermaterial 10 und Wärmeleitung in die Dünnschicht 1 ex-situ in der

35

Heizkammer 12 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Induktionserwärmung erfolgt mittels einer in die Substrathalterung 5 integrierten Induktionsspule 6. Die Induktionsspule 6 erzeugt ein elektromagnetisches Feld 7, das Wirbelströme in dem Triggermaterial 10 induziert. Dieses ist in eine elektrisch isolierende Schicht 9 des Trägersubstrats 2 eingebettet. Durch den Widerstand des Triggermaterials 10 wird dieses erwärmt. Die lokale Erwärmung der Dünnschicht 1 erfolgt durch die Wärmeleitung des Triggermaterials 10. Die Anordnung des Triggermaterials auf dem Trägersubstrat gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche vor. In dieser Ausführung ist die Induktionsspule 6 fest in Substrathalterung 5 integriert, jedoch wird Geometrie der supraleitenden Phase 8 durch die Geometrie des Triggermaterials 10 auf dem Trägersubstrat 2 vorgegeben, sodass bei einer Änderung der gewünschten Geometrie lediglich das Trägersubstrat 2 geändert werden muss.

Die Ausführungsform der Fig. 9 entspricht wiederum der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform, jedoch sind hier wieder sowohl die Induktionsspule 6, als auch das Triggermaterial 10 in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 integriert. Diese sind in isolierende Schichten 9 eingebettet, bei denen es sich um zwei getrennte Schichten oder auch um eine durchgängige Schicht handeln könnte. In dieser Ausführungsform sind die Strukturen in der supraleitenden Phase 8 gänzlich von der Substrathalterung 5 unabhängig.

In Fig. 10 ist der indirekte lokale Wärmeeintrag mittels Widerstandserwärmung resistiver Heizelemente 11 ex-situ in der Heizkammer 12 schematisch dargestellt. Der lokale Wärmeeintrag findet unter Sauerstoffatmosphäre 4 statt. Die Erwärmung erfolgt mittels in den Schichtstapel des Trägersubstrats 2 integrierter resistiver Heizelemente 11. Diese sind in eine elektrisch isolierende Schicht 9 eingebettet. Durch den Widerstand der resistiven Heizelemente erhitzen sich diese unter Strom. Die lokale Erwärmung der Dünnschicht 1 erfolgt durch die Wärmeleitung der Heizelemente 11. Die Anordnung der resistiven Heizelemente 11 gibt dabei die Geometrie der erwärmten Bereiche und somit auch die Geometrie der erzeugten Strukturen in der supraleitenden Phase 8 vor.

35

- Die Verwendung einer externen Heizkammer 12 erfordert zwar einen zusätzlichen Prozessschritt und das Übertragen des Trägersubstrats 2 aus der Abscheideanlage 3 in die Heizkammer 12, kann jedoch auch zusätzliche Möglichkeiten bei dem lokalen Wärmeeintrag ermöglichen. So könnten die Induktionsspule 6, das Triggermaterial 10 oder die resistiven Heizelemente 12 bei dieser Vorgehensweise beispielweise auch oberflächenseitig, also in der Darstellung der Figuren oberhalb der Dünnschicht 1, oder sogar beidseitig angeordnet sein.
- Wie anhand der gezeigten Ausführungen ersichtlich wird, ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien die Herstellung von supraleitenden Strukturen aus einer Vielzahl von supraleitenden Materialien. Die Herstellung erfordert dabei im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren weniger Prozessschritte und liefert zuverlässig supraleitende Strukturen mit vorteilhaften Eigenschaften. Aufgrund der guten Skalierbarkeit der verwendeten Methoden des lokalen Wärmeeintrags kann das Verfahren auch zur Strukturierung größerer Flächen genutzt werden, was eine industrielle Anwendbarkeit ermöglicht.
- Die hier gezeigten Ausführungsbeispiele sind nicht begrenzend. Insbesondere können die Merkmale dieser Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden, um zusätzliche Effekte zu erzielen. Für den Fachmann ist offensichtlich, dass Änderungen an diesen Ausführungsbeispielen vorgenommen werden können, ohne die grundlegenden Prinzipien des Gegenstandes dieser Schutzanmeldung zu verlassen, deren Bereich in den Ansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

- 5
1. Verfahren zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien, umfassend die Schritte:
- 10 Abscheidung einer Dünnschicht (1) aus einem supraleitenden Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf einem Trägersubstrat (2) in einer Abscheideanlage (3),
- lokaler Wärmeeintrag in die Dünnschicht (1), wobei Bereiche der Dünnschicht (1) erwärmt werden und eine Phasenumwandlung in eine supraleitende Phase (8) erfahren, sodass Bereiche der supraleitenden Phase (8) in der isolierenden Phase eingebettete Strukturen bilden.
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag zusammen mit einer Erwärmung des Trägersubstrats (2) erfolgt.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag durch Induktionserwärmung direkt in die Dünnschicht (1) durch eine Induktionsspule (6), die in einer Substrathaltung angeordnet ist, erfolgt.
- 25
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag durch Induktionserwärmung direkt in die Dünnschicht (1) durch eine Induktionsspule (6), die in dem Trägersubstrat (2, 9) der Dünnschicht (1) integriert ist, erfolgt.
- 30
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag durch indirekte Wärmeleitung in die Dünnschicht mittels Induktionserwärmung in ein Triggermaterial (10) auf dem Trägersubstrat (2) erfolgt.

- 5 6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag durch indirekte Wärmeleitung in die Dünnschicht (1) mittels Widerstandserwärmung von resistiven Heizelementen (11) erfolgt, die in dem Trägersubstrat (2, 9) der Dünnschicht (1) angeordnet sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag in-situ in der Abscheideanlage (3) unter Sauerstoffatmosphäre (4) erfolgt.
- 10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag ex-situ in einer Heizkammer (12) unter Sauerstoffatmosphäre (4) erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der lokale Wärmeeintrag in-situ während der Abscheidung erfolgt und nachfolgend eine Wärmebehandlung ex-situ erfolgt.
- 15 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dünnschicht (1) eine HTSL-Schicht ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dass die Dünnschicht (1) zusätzlich aus weiteren metallischen Supraleitern, A15-Phasen oder einer amorphen oder kristallinen Legierung besteht.
- 20 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung der Dünnschicht (1) mittels PVD, CVD, ALD, PLD, ECD oder durch Druckverfahren erfolgt, und/oder die Dünnschicht (1) nach der Abscheidung eine Dicke von weniger als 100 µm aufweist.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägersubstrat (2) dreidimensional vorstrukturiert ist, und/oder das Trägersubstrat (2) ein Chip, ein Wafer oder ein Panel ist.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch den lokalen Wärmeeintrag eine lokale Temperatur von 200 °C bis 2000 °C in der Dünnschicht (1) erreicht wird.
- 5 15. Vorrichtung zur lokalen Phasenumwandlung und Strukturierung von Dünnschichten aus supraleitenden Materialien, umfassend
eine Abscheideanlage zur Abscheidung einer Dünnschicht (1) aus einem supraleitenden Material in einer keramischen oder isolierenden Phase auf einem Trägersubstrat (2),
10 eine Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) in die Dünnschicht (1), wobei Bereiche der Dünnschicht (1) erwärmt werden und eine Phasenumwandlung in eine supraleitende Phase (8) erfahren, sodass Bereiche der supraleitenden Phase (8) in der isolierenden Phase eingebettete Strukturen bilden.
- 15 16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6,) dazu konfiguriert ist auch das Trägersubstrat (2) zu erwärmen.
17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (6, 11) zum lokalen Wärmeeintrag eine Induktionsspule (6) in einer Substrathalterung (5) umfasst.
- 20 18. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) eine Induktionsspule (6) im Trägersubstrat (2, 9) umfasst.
- 25 19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem Trägersubstrat (2, 9) ein Triggermaterial (10) angeordnet ist, das durch Induktionserwärmung erwärmt wird.
20. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11, 12) resistive Heizelemente (11) im Trägersubstrat (2, 9) umfasst.
- 30 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) Teil

der Abscheideanlage (3) ist, sodass ein lokaler Wärmeeintrag in-situ in der Abscheideanlage (3) erfolgen kann.

- 5 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) Teil einer externen Heizkammer (12) ist, sodass ein lokaler Wärmeeintrag ex-situ nach der Abscheidung der Dünnschicht (1) erfolgen kann.
- 10 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) dazu konfiguriert ist, in-situ während der Abscheidung den lokalen Wärmeeintrag auszuführen und nach der Abscheidung eine zweite Wärmebehandlung ex-situ auszuführen.
- 15 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideanlage (3) konfiguriert ist, eine Dünnschicht (1) aus einem HTSL abzuscheiden.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideanlage (3) konfiguriert ist, zusätzliche Dünnschichten (1) aus weiteren metallischen Supraleitern, A15-Phasen oder einer amorphen oder kristallinen Legierung abzuscheiden.
- 20 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideanlage (3) konfiguriert ist, eine Dünnschicht (1) mittels PVD, CVD, ALD, PLD, ECD oder Druckverfahren abzuscheiden, und/oder die Abscheideanlage (3) konfiguriert ist, eine Dünnschicht (1) mit einer Dicke von bis zu 100 µm abzuscheiden.
- 25 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideanlage (3) dazu konfiguriert ist, eine Dünnschicht (1) auf ein dreidimensional vorstrukturiertes Trägersubstrat (2) abzuscheiden und/oder die Abscheideanlage (3) und die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) dazu konfiguriert sind, Trägersubstrate (2) in Chip-, Wafer- oder Panelgröße zu verarbeiten.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zum lokalen Wärmeeintrag (6, 11) dazu konfiguriert ist, Temperaturen von 200 °C bis 2000 °C in der Dünnschicht (1) zu erreichen