



(10) **DE 11 2021 004 568 T5** 2023.07.13

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/092137**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 004 568.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/039609**  
(86) PCT-Anmeldetag: **27.10.2021**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.05.2022**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **13.07.2023**

(51) Int Cl.: **H01Q 17/00** (2006.01)  
**B32B 27/18** (2006.01)  
**B32B 15/08** (2006.01)  
**B32B 27/06** (2006.01)  
**B32B 7/025** (2019.01)

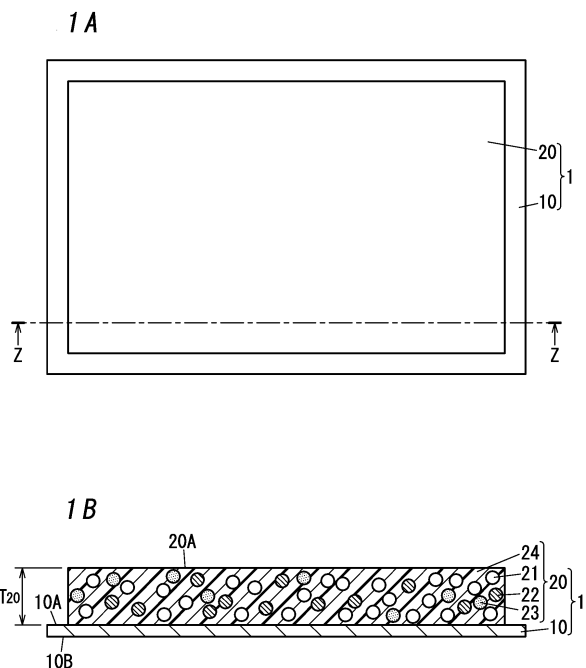
(30) Unionspriorität:  
**2020-179850 27.10.2020 JP**  
(71) Anmelder:  
**Panasonic Holdings Corporation, Kadoma-shi,  
Osaka, JP; The University of Tokyo, Tokyo, JP**  
(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft  
mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209  
Bremen, DE**

(72) Erfinder:  
**Kashihara, Keiko, Kadoma-shi, Osaka-fu, JP;  
Fujiwara, Rei, Kadoma-shi, Osaka-fu, JP;  
Ohkoshi, Shin-ichi, Tokyo, JP; Namai, Asuka,  
Tokyo, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **FOLIE ZUM ABSORBIEREN ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN**

(57) Zusammenfassung: Das Problem, das die vorliegende Offenbarung überwinden soll, besteht in der Bereitstellung einer Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die in einem ausreichend breiten Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt. Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen (1) weist eine metallische Basis (10) und einen auf der metallischen Basis (10) gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen (20) auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen (20) enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (21), schwarzes Titanoxid (22), ein leitfähiges Füllmaterial (23) und ein Harz (24). Das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (21) ist ein Kristall, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält. Das Verhältnis des leitfähigen Füllmaterials (23) zu dem Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen (20) ist gleich oder größer als 0,1 Vol.-% und gleich oder geringer als 10 Vol.-%.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft im Allgemeinen eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen und betrifft genauer eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die eine metallische Basis und einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen aufweist.

## Allgemeiner Stand der Technik

**[0002]** In jüngster Zeit ist eine zunehmende Anzahl von Fahrzeugen mit einem Kollisionsvermeidungsbremssystem ausgestattet, um jegliches Hindernis um das Fahrzeug herum zu erfassen und eine Kollision mit dem Hindernis zu vermeiden. Als Sensoren für ein solches Kollisionsvermeidungsbremssystem wurden beispielsweise eine Millimeterwellenradarvorrichtung, eine Infrarotradarvorrichtung und eine Bilderkennungs- vorrichtung, die eine Kamera verwendet, benutzt. Unter anderen hat eine Millimeterwellenradarvorrichtung viel Aufmerksamkeit in der Technik erregt, da eine Vorrichtung von dieser Art kaum nachteiligen Auswirkungen von Gegenlicht, Regen, Nebel oder irgendeinem anderen schlechten Zustand unterliegt und selbst nachts oder sogar bei schlechtem Wetter, wenn das Sichtfeld gewöhnlich sehr eng ist, wirksam zum Aufnehmen eines Bilds angewendet werden kann.

**[0003]** Die Millimeterwellenradarvorrichtung erfasst die Stelle, die relative Geschwindigkeit, die Richtung oder irgendeinen anderen Parameter des Hindernisses, indem sie für die elektromagnetische Welle, die von einer Sendeantenne gesendet wird, (nachstehend als „gesendete Welle“ bezeichnet) im Wesentlichen eine Funkwelle, die in ein 76-GHz-Band (das gleich oder höher als 76 GHz und gleich oder niedriger als 77 GHz ist) oder ein 79-GHz-Band (das gleich oder höher als 77 GHz und gleich oder niedriger als 81 GHz ist) fällt, verwendet und ihre Empfangsantenne die von dem Hindernis reflektierte elektromagnetische Welle empfangen lässt.

**[0004]** Dennoch weist die Millimeterwellenradarvorrichtung einige Nachteile auf. Zum Beispiel kann ein Teil der gesendeten Welle im Inneren der Millimeterwellenradarvorrichtung selbst intern reflektiert werden und die reflektierte elektromagnetische Welle (nachstehend als „direkte Welle“ bezeichnet) direkt an der Empfangsantenne empfangen werden. Dies könnte die Wahrscheinlichkeit, dass die Millimeterwellenradarvorrichtung Fußgänger oder andere Hindernisse nicht erkennen kann, erhöhen, da die elektromagnetischen Wellen, die von Fußgängern und anderen Hindernissen reflektiert werden, häufig eine sehr geringe Stärke aufweisen. Daher besteht zur Beseitigung einer solchen direkten Welle eine erhöhte Nachfrage nach einem Absorber für elektromagnetische Wellen, der in einem Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, eine erhöhte Rückflusddämpfung erzielt.

**[0005]** Bisher wurden in der Technik verschiedene Arten von derartigen Absorbern für elektromagnetische Wellen vorgeschlagen. Beispielsweise lehrt das Patentedokument 1, dass ein Funkwellenabsorber, der einen Funkwellenabsorptionsfilm aufweist, welcher monosubstituiertes  $\epsilon$ -Eisenoxid und Kohlenstoff-Nanoröhrchen enthält, selbst bei einer Dicke des Funkwellenabsorptionsfilms von weniger als 1 mm ein gutes Funkwellenabsorptionsvermögen zeigen würde. Das Patentedokument 2 lehrt, dass ein Funkwellenabsorber, der einen Funkwellenabsorptionsfilm aufweist, welcher trisubstituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und schwarzes Titanoxid enthält, in einem Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, eine hohe Rückflusddämpfung über eine breitere Frequenzbandbreite erzielt. Das Patentedokument 3 lehrt, dass durch Bereitstellen von mehreren Funkwellenabsorptionsschichten ein ausgezeichnetes Funkwellenabsorptionsvermögen in einem Millimeterwellenband erzielt würde. Das Patentedokument 4 lehrt indessen die Verwendung von MTC-substituiertem  $\epsilon$ -Eisenoxid als Material für den Funkwellenabsorptionsfilm. Das Nichtpatentedokument 1 lehrt das Verwenden von Ga-substituiertem  $\epsilon$ -Eisenoxid als Material für den Funkwellenabsorptionsfilm. Das Nichtpatentedokument 3 lehrt das Verwenden von Al-substituiertem  $\epsilon$ -Eisenoxid als Material für den Funkwellenabsorptionsfilm. Das Nichtpatentedokument 3 lehrt das Verwenden von Rhsubstituiertem  $\epsilon$ -Eisenoxid als Material für den Funkwellenabsorptionsfilm.

**[0006]** Doch bei jedem dieser bekannten Absorber für elektromagnetische Wellen hängt die Rückflusddämpfung stark von dem Einfallswinkel der elektromagnetischen Wellen ab und kann in einem ausreichend breiten Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen keine hohe Rückflusddämpfung erzielt werden. Somit ist keiner dieser bekannten Absorber für elektromagnetische Wellen in der Lage, elektromagnetische Wellen, die aus verschiedenen Richtungen einlangen, auszufiltern.

## Literaturliste

## Patentliteratur

Patentdokument 1: JP 2016-111341 A

Patentdokument 2: JP 2019-012799 A

Patentdokument 3: WO 2018/124131 A1

Patentdokument 4: WO 2008/149785 A1

## Nichtpatentliteratur

Nichtpatentdokument 1: S. Ohkoshi, S. Kuroki, S. Sakurai, K. Matsumoto, K. Sato, und S. Sasaki, Angew. Chem. Int. Ed., 46, 8392-8395 (2007)

Nichtpatentdokument 2: A. Namai, S. Sakurai, M. Nakajima, T. Suemoto, K. Matsumoto, M. Goto, S. Sasaki, und S. Ohkoshi, J. Am. Chem. Soc., 131, 1170-1173 (2009)

Nichtpatentdokument 3: A. Namai, M. Yoshikiyo, K. Yamada, S. Sakurai, T. Goto, T. Yoshida, T. Miyazaki, M. Nakajima, T. Suemoto, H. Tokoro, und S. Ohkoshi, Nature Communications, 3, 1035/1-6 (2012)

## Kurzdarstellung der Erfindung

**[0007]** Das Problem, das die vorliegende Offenbarung überwinden soll, besteht in der Bereitstellung einer Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die in einem ausreichend breiten Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen eine hohe Rückflussdämpfung erzielt.

**[0008]** Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung weist eine metallische Basis und einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, schwarzes Titanoxid, ein leitfähiges Füllmaterial und ein Harz. Das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist ein Kristall, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält. Das Verhältnis des leitfähigen Füllmaterials zu dem Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen ist gleich oder größer als 0,1 Vol.-% und gleich oder geringer als 10 Vol.-%.

**[0009]** Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem anderen Aspekt der vorliegenden Offenbarung weist eine metallische Basis und einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, schwarzes Titanoxid und ein Harz. Das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist ein Kristall, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält. Ein imaginärer Teil ( $\epsilon''$ ) einer relativen dielektrischen Konstanten des schwarzen Titanoxids ist gleich oder größer als 2,0, wenn das schwarze Titanoxid 30 Vol.-% des Harzes ausmacht.

## Figurenliste

**Fig. 1A** ist eine schematische Vorderansicht einer Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung;

**Fig. 1B** ist eine schematische Schnittansicht der Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen entlang der in **Fig. 1A** gezeigten Ebene Z-Z;

**Fig. 2** ist eine schematische Schnittansicht, die eine Millimeterwellenradarvorrichtung als beispielhafte Anwendung der Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach der ersten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt;

**Fig. 3A** ist eine schematische Vorderansicht einer Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung; und

**Fig. 3B** ist eine schematische Schnittansicht der Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen entlang der in **Fig. 3A** gezeigten Ebene Z-Z.

## Beschreibung von Ausführungsformen

## 1. Überblick

**[0010]** Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einer beispielhaften Ausführungsform weist eine metallische Basis und einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, schwarzes Titanoxid und ein Harz.

**[0011]** Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben herausgefunden, dass in einer Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach dieser Ausführungsform eine Korrelation zwischen einem hohen imaginären Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten von Partikeln, die in einem Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen daraus enthalten sind, und einem Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wurde, besteht. Das heißt, die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben herausgefunden, dass eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt würde und der Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen, in dem die hohe Rückflusssdämpfung erzielbar wäre, verbreitert werden könnte, wenn der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen neben dem schwarzen Titanoxid ein leitfähiges Füllmaterial enthalten würde oder wenn das schwarze Titanoxid selbst einen hohen imaginären Teil  $\epsilon''$  seiner relativen dielektrischen Konstanten aufweisen würde. Der Grund dafür ist in diesem Stadium nicht vollkommen klar, doch kann folgendes angenommen werden. Im Besonderen macht das Verwenden des schwarzen Titanoxids den imaginären Teil der relativen dielektrischen Konstanten des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen hoch genug, um eine Zunahme der Rückflusssdämpfung der Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen zu verursachen. Außerdem kann der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen entweder durch Hinzufügen eines leitfähigen Füllmaterials oder durch Verwenden von schwarzem Titanoxid, dessen relative dielektrische Konstante einen noch höheren imaginären Teil  $\epsilon''$  aufweist, wirksam vergrößert werden, was eine weitere Erhöhung der Rückflusssdämpfung ermöglicht. Als Ergebnis würde die Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen den Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen, in dem die hohe Rückflusssdämpfung erzielt werden kann, weiter verbreitern. Somit stellt die vorliegende Offenbarung eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen bereit, die in einem ausreichend breiten Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt.

**[0012]** Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung (nachstehend als „erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1“ bezeichnet) weist eine metallische Basis und einen Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, schwarzes Titanoxid, ein leitfähiges Füllmaterial und ein Harz. Das Verhältnis des leitfähigen Füllmaterials zu dem Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen ist gleich oder größer als 0,1 Vol.-% und gleich oder geringer als 10 Vol.-%.

**[0013]** Eine Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung (nachstehend als „zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2“ bezeichnet) weist eine metallische Basis und einen Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf. Der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, schwarzes Titanoxid und ein Harz. Ein imaginärer Teil  $\epsilon''$  einer relativen dielektrischen Konstanten des schwarzen Titanoxids ist gleich oder größer als 2,0, wenn das schwarze Titanoxid 30 Vol.-% des Harzes ausmacht.

**[0014]** Die Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach dieser Ausführungsform kann einen Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird, verbreitern.

## 2. Einzelheiten

## &lt;Erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1&gt;

**[0015]** **Fig. 1A** ist eine schematische Vorderansicht der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1. **Fig. 1B** ist eine schematische Schnittansicht der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 entlang der in **Fig. 1A** gezeigten Ebene Z-Z.

**[0016]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 ist eine einschichtige Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die wie in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt eine erste metallische Basis 10

und einen ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 aufweist. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 ist auf der ersten metallischen Basis 10 gebildet. Die erste metallische Basis 10 besteht aus einem Elektronenleiter. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält mehrere MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21, mehrere schwarze Titanoxidpartikel 22, mehrere leitfähige Füllmaterialpartikel 23 und ein Harz 24. Die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 22, und die mehreren leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 sind in dem Harz 24 zerstreut. Das MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ist ein Kristall, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält. Das MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ist vorzugsweise ein Kristall, der durch die allgemeine Formel  $\epsilon\text{-M}_x\text{Ti}_y\text{Co}_y\text{Fe}_{2-2y-x}\text{O}_3$  ausgedrückt ist, wobei M wenigstens ein Element ist, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, und  $0 < x < 1$ ,  $0 < y < 1$  und  $x + 2y < 2$  gilt. Wie hierin verwendet, bezeichnet das „MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21“ ein Partikel, das hauptsächlich aus MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Kristallen besteht. Das „schwarze Titanoxidpartikel 22“ bezeichnet ein Titansuboxid, dem gegenüber  $\text{TiO}_2$  ein Sauerstoffatom fehlt und das durch die allgemeine Formel  $\text{TiO}_x$  (wobei  $1 \leq x < 2$  gilt) ausgedrückt ist. Das Häufigkeitsverhältnis der Kristalle kann durch die Rietveld-Analyse auf Basis eines Röntgenbeugungsmusters erhalten werden.

**[0017]** Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 kann hoch oder nicht hoch sein. Wie hierin verwendet, bedeutet „der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist nicht hoch“, dass der imaginäre Teil geringer als 2,0 ist, wenn die schwarzen Titanoxidpartikel 30 Vol.-% des Harzes ausmachen. Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten ist vorzugsweise gleich oder größer als 1,0. Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten ist noch besser gleich oder größer als 1,5 und insbesondere gleich oder größer als 1,7. Wenn der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 groß gestaltet ist, gestattet dies der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 eine weitere Verbreiterung des Einfallswinkelbereichs der elektromagnetischen Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird. Je größer der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist, desto besser. Es genügt, wenn der imaginäre Teil höchstes 6,0 beträgt.

**[0018]** Der echte Teil ( $\epsilon'$ ) der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist normalerweise gleich oder größer als 7,0 und vorzugsweise gleich oder größer als 8,0, wenn die schwarzen Titanoxidpartikel 22 30 Vol.-% des Harzes ausmachen. Es genügt, wenn der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 22 höchstens 10,0 beträgt.

**[0019]** Das Harz, das zum Messen der relativen dielektrischen Konstanten verwendet wird, (d.h., ein Matrixharz zur Verwendung zum Messen der dielektrischen Konstanten) ist nicht auf irgendein bestimmtes Harz beschränkt, sondern kann beispielsweise ein Acrylharz, ein Epoxidharz oder ein Silikonharz sein.

**[0020]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weist einen derartigen Aufbau auf, weshalb der Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird, in einem Frequenzband von 76 GHz bis 81 GHz breiter als ein bekannter ist. Daher gestattet ein wie später beschriebenes Anordnen und Verwenden der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 im Inneren einer Millimeterwellenradarvorrichtung (deren gesendete Welle eine Frequenz aufweist, die entweder in das 76-GHz-Band oder in das 79 GHz-Band fällt), dass redundante elektromagnetische Wellen wie etwa die elektromagnetischen Wellen, die intern im Inneren der Radarvorrichtung reflektiert werden, ausreichend absorbiert werden, damit die Millimeterwellenradarvorrichtung Fußgänger und andere Hindernisse leicht erfassen kann. Wie hierin verwendet, braucht das Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, nur wenigstens den Bereich von 76 GHz bis 81 GHz abzudecken, und ist es vorzugsweise gleich oder höher als 65 GHz und gleich oder niedriger als 95 GHz. Ein Verfahren zum Messen des Einfallswinkelbereichs für elektromagnetische Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird, ist das gleiche wie das später für bestimmte Beispiele beschriebene Verfahren zum Messen „der Abhängigkeit der Rückflusssdämpfung von dem Einfallswinkel der elektromagnetischen Wellen“.

**[0021]** Wie hierin verwendet, bezeichnet die „hohe Rückflusssdämpfung“ zum Beispiel eine Rückflusssdämpfung, die gleich oder größer als 15 dB ist. Je breiter der Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen ist, in dem in der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 in einem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz eine Rückflusssdämpfung von gleich oder größer als 15 dB erzielt wird, desto besser. Dieser Bereich enthält in dem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz vorzugsweise einen Bereich von 0 Grad bis 10 Grad, noch besser einen Bereich von 0 Grad bis 15 Grad und insbesondere einen Bereich von 0 Grad bis 20 Grad.

**[0022]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 verfügt vorzugsweise in dem Bereich von 20 GHz bis 300 GHz, noch besser in dem Bereich von 65 GHz bis 95 GHz und insbesondere in dem Bereich von 76 GHz bis 81 GHz über eine Absorptionsspitze, bei der die Rückflusddämpfung maximal wird (d.h., eine Absorptionsspitze, bei der die Menge der absorbierten elektromagnetischen Wellen maximal wird).

**[0023]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weist vorzugsweise eine Dicke von gleich oder größer als 0,1 mm auf. Dies gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 über eine noch höhere Stärke verfügt. Die Dicke ist noch besser gleich oder größer als 0,15 mm und insbesondere gleich oder größer als 0,2 mm. Andererseits ist die Dicke vorzugsweise gleich oder geringer als 1 mm. In diesem Fall ist die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 dünn genug, um an einer engen Stelle eingerichtet und verwendet zu werden. Die Dicke ist noch besser gleich oder größer als 0,95 mm, insbesondere gleich oder geringer als 0,9 mm und ganz besonders günstig gleich oder geringer als 0,5 mm.

[Die erste metallische Basis 10]

**[0024]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weist die erste metallische Basis 10 auf. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 ist direkt auf die erste metallische Basis 10 gestapelt.

**[0025]** Die erste metallische Basis 10 weist die Form einer flachen Platte oder einer Folie mit einer gleichmäßigen Dicke auf. Die erste metallische Basis 10 weist eine erste Fläche 10A und eine zweite Fläche 10B auf. Die erste Fläche 10A ist eine flache Fläche. Auf der ersten Fläche 10A wird der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 gebildet. Die Abmessungen der ersten metallischen Basis 10 können zum Beispiel je nach der beabsichtigten Verwendung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 passend eingerichtet werden. Die erste metallische Basis 10 weist vorzugsweise eine Dicke von gleich oder größer als 0,1  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 0 cm, noch besser eine Dicke von gleich oder größer als 1  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 5 mm und insbesondere eine Dicke von gleich oder größer als 10  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 100  $\mu\text{m}$  auf.

**[0026]** Die erste metallische Basis 10 besteht aus einem Elektronenleiter. Dies gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 eine größere Rückflusddämpfung erzielt, als eine entsprechende Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen mit dem gleichen Aufbau wie die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 10, außer dass die erste metallische Basis 10 aus einem anderen Material und nicht aus einem Elektronenleiter besteht. Dies liegt vermutlich an den folgenden Gründen. Insbesondere werden bei einer Bestrahlung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 mit elektromagnetischen Wellen einige der elektromagnetischen Wellen von der Oberfläche des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 reflektiert (diese elektromagnetischen Wellen werden nachstehend als „erste reflektierte Wellen“ bezeichnet werden), während sich die anderen elektromagnetischen Wellen im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 fortpflanzen, durch das MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  und das schwarze Titanoxid gedämpft werden, und dann die Oberfläche der ersten metallischen Basis 10 erreichen. Die elektromagnetischen Wellen werden durch einen Wirbelstrom, der an der Oberfläche der ersten metallischen Basis 10 erzeugt wird, totalreflektiert und pflanzen sich erneut im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 fort, während sie gedämpft werden und erneut die Oberfläche des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 erreichen. Einige der elektromagnetischen Wellen werden von der Oberfläche des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 reflektiert und kehren in das Innere des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 zurück, während die anderen elektromagnetischen Wellen von der Oberfläche 20A des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 abgestrahlt werden (diese elektromagnetischen Wellen werden nachstehend als „zweite reflektierte Wellen“ bezeichnet werden). Danach werden die elektromagnetischen Wellen immer wieder auf die gleiche Weise im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen reflektiert und gedämpft werden. Das passende Steuern der Dicke des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 gestattet, dass diese reflektierten Wellen (einschließlich der ersten reflektierten Wellen, der zweiten reflektierten Wellen und so weiter) miteinander interferieren und einander auslöschen. Wie ersichtlich ist, kann durch das Dämpfen der elektromagnetischen Wellen durch die wiederholten Reflexionen und Dämpfungen im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 und das Sorgen für ein Interferieren der elektromagnetischen Wellen miteinander eine hohe Rückflusddämpfung erzielt werden. Passend wird für den Elektronenleiter ein Metall verwendet. Beispiele für Metalle umfassen Kupfer, Aluminium, Titan, Edelstahl (SUS), Messing, Silber, Gold und Platin. Wie hierin ver-

wendet, bezeichnet „Metall“ eine Substanz mit einem spezifischen Widerstand (bei 20 °C) von gleich oder weniger als  $10^{-4} \Omega \cdot m$ .

**[0027]** Die erste metallische Basis 10 weist die erste Fläche 10A mit der Form einer flachen Platte oder einer Folie auf. Das Bilden der ersten metallischen Basis 10 in der Form einer Folie gestattet, dass der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 die Flexibilität der aus dem Harz 24 bestehenden ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 bewahrt, wodurch die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 in einer gefalteten Form verwendbar gemacht wird. Die Form der ersten metallischen Basis 10 kann je nach der beabsichtigten Verwendung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 passend eingerichtet werden und kann beispielsweise eine gebogene Form aufweisen. Die erste Fläche 10A kann Unebenheiten aufweisen. In diesem Fall können erhöhte Abschnitte der Unebenheiten zum Beispiel einen halbrunden, halb elliptischen, dreieckigen, rechteckigen, diamantförmigen oder sechseckigen Querschnitt aufweisen.

[Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20]

**[0028]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weist den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 auf. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 wandelt einen Teil der Energie der einfallenden elektromagnetischen Wellen in Wärmeenergie um. Das heißt, der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 absorbiert die elektromagnetischen Wellen, die sich im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 selbst fortpflanzen. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 ist auf der ersten Fläche 10A der ersten metallischen Basis 10 gebildet. Bei dieser Ausführungsform weist die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 einen einschichtigen ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 auf. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Alternativ kann der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 aus zwei oder mehr Schichten zusammengesetzt sein.

**[0029]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 22, die mehreren leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 und das Harz 24. Die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 22 und die mehreren leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 sind in dem Harz 24 zerstreut.

**[0030]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 weist eine gleichmäßige Dicke  $T_{20}$  auf. Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 weist eine flache Oberfläche 20A auf. Die Dicke  $T_{20}$  des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 kann je nach der Frequenz der elektromagnetischen Wellen, die absorbiert werden sollen, und dem Material des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 passend eingerichtet werden. Im Besonderen ist die Dicke  $T_{20}$  des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 vorzugsweise die Summe aus einem Viertel der Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen, die absorbiert werden sollen, wenn sich die elektromagnetischen Wellen im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 fortpflanzen, und einer Hälfte der Wellenlänge multipliziert mit  $n$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl gleich oder größer als Null ist und vorzugsweise gleich oder größer als 0 und gleich oder geringer als 3 ist und noch besser entweder 0 oder 1 ist. Außerdem ermöglicht das Einrichten der Dicke  $T_{20}$  des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 zum Beispiel das Steuern der Rückflusssdämpfung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1, der Frequenz, bei der eine Spitze der Absorption auftritt, der Bandbreite des Frequenzbereichs, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird, und des Einfallswinkelbereichs der elektromagnetischen Wellen, in dem die hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird. Die Dicke  $T_{20}$  des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen kann auf Basis eines durch ein Transmissionselektronenmikroskop (TEM) betrachteten TEM-Bilds des Querschnitts des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 bestimmt werden.

**[0031]** Das Festlegen der Dicke  $T_{20}$  des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 als die Summe eines Viertels der Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen, die sich im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 fortpflanzen, und einer Hälfte der Wellenlänge multipliziert mit  $n$  kann die elektromagnetischen Wellen, die von der ersten Fläche 10A reflektiert werden, weiter verringern. Dies sollte hauptsächlich daran liegen, dass die elektromagnetischen Wellen, die von der Fläche 20A reflektiert werden, und die elektromagnetischen Wellen, die von der ersten Fläche 10A im Inneren des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 reflektiert werden und aus der Fläche 20A austreten (nachstehend als „erste intern reflektierte Wellen“ bezeichnet), zueinander entgegengesetzte Phasen aufwei-

sen würden und einander durch Interferieren miteinander auslöschen würden. Die ersten intern reflektierten Wellen enthalten nicht nur reflektierte Wellen ersten Ranges, die nur einmal von der ersten Fläche 10A reflektiert wurden, sondern auch mehrfach reflektierte Wellen, die zwei oder mehr Mal von der ersten Fläche 10A reflektiert wurden.

**[0032]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 weist vorzugsweise eine Dicke  $T_{20}$  von gleich oder größer als 0,1 mm. Dies würde die Stärke der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weiter erhöhen.  $T_{20}$  ist noch besser gleich oder größer als 0,15 mm und insbesondere gleich oder größer als 0,2 mm. Andererseits ist die Dicke vorzugsweise gleich oder geringer als 1 mm. Dies ermöglicht, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 dünn genug ausgeführt werden kann, um an einer engen Stelle eingerichtet und verwendet zu werden.  $T_{20}$  ist noch besser gleich oder geringer als 0,9 mm und insbesondere gleich oder geringer als 0,5 mm.

**[0033]** Die relative dielektrische Konstante des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 weist einen echten Teil ( $\epsilon'$ ), der bei einer Frequenz von 79 GHz vorzugsweise gleich oder größer als 5 ist, und noch besser gleich oder größer als 8 ist, und einen imaginären Teil ( $\epsilon''$ ), der bei einer Frequenz von 79 GHz vorzugsweise gleich oder größer als 2,0 ist, und noch besser gleich oder größer als 3,0 ist, auf.

**[0034]** In der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 ist die Fläche 20A des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 eine flache Fläche. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Alternativ kann die Fläche 20A des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen eine beliebige andere Form aufweisen, die gestattet, dass die einfallenden elektromagnetischen Wellen leichter in den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 eindringen, und kann zum Beispiel die Form einer Pyramide oder eines Keils aufweisen. Außerdem bedeckt der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 bei der in **Fig. 1A** dargestellten ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 die erste Fläche 10A der ersten metallischen Basis 10 nicht zur Gänze. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Alternativ kann der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 die erste Fläche 10A auch zur Gänze bedecken.

(Die MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21)

**[0035]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält die MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 mit einer oder mehreren Zusammensetzungen. Dies gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 eine hohe Rückflusddämpfung aufweist, bei der die zentrale Absorptionsfrequenz gleich oder größer als 30 GHz und gleich oder geringer als 220 GHz ist. Im Besonderen kann die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 eine breitere Absorptionsbandbreite als eine bekannte Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die  $\epsilon$ -Galliumeisenoxidpartikel enthält, aufweisen.

**[0036]** Das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist ein Kristall, der zu der gleichen Gruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört, und enthält Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist. Das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist vorzugsweise ein Kristall, der durch  $\epsilon$ -M<sub>x</sub>Ti<sub>y</sub>Co<sub>y</sub>Fe<sub>2-2y-x</sub>O<sub>3</sub> ausgedrückt ist, wobei M wenigstens ein Element ist, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, und  $0 < x < 1$ ,  $0 < y < 1$  und  $x + 2y < 2$  gilt. Das heißt, der MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall ist ein Kristall, der durch Ersetzen einiger Fe-Plätze des  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristalls durch ein Element M außer Fe, co-Dotieren des  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristalls mit Ti und Co und dann Reinigen des  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristalls gebildet wird. Der MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall ist ein Kristall, in dem einige Fe-Ionen des  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristalls durch M-Ionen, Ti-Ionen oder Co-Ionen substituiert sind.

**[0037]** Das Einrichten der Menge des substituierenden Elements M ermöglicht das Steuern der Frequenz einer Absorptionsspitze, bei der die Rückflusddämpfung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 minimal wird.

**[0038]** Die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 können entweder aus Partikeln mit einer einzelnen Zusammensetzung bestehen oder Partikel mit mehreren unterschiedlichen Zusammensetzungen enthalten. Die Zusammensetzung der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 kann je nach der Frequenz der elektromagnetischen Wellen, die absorbiert werden sollen, passend eingerichtet werden. Zum Beispiel können die MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 nur aus GTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikeln (wobei M Ga ist) bestehen oder wenigstens eine Art von Partikeln, die aus der Gruppe, die aus GTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Parti-

keln (wobei M Ga ist), ITC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikeln (wobei M In ist), ATC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikeln (wobei M Al ist) und RTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikeln wobei M Rh ist) besteht, gewählt ist, enthalten.

**[0039]** Die MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 weisen eine sphärische Form auf, die die Beladung mit den MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikeln 21 in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 erhöht. Obwohl die MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 bei dieser Ausführungsform eine sphärische Form aufweisen, können die MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 auch eine Stabform, eine flache (oder zusammengedrückte) Form oder eine unregelmäßige Form aufweisen.

**[0040]** Die mittlere Partikelgröße der MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 ist vorzugsweise groß genug, um zu gestatten, dass die MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 eine einzelne magnetische Domänenstruktur aufweisen, und ist vorzugsweise gleich oder größer als 5 nm und gleich oder geringer als 200 nm und noch besser gleich oder größer als 10 nm und gleich oder geringer als 100 nm. Die mittlere Partikelgröße der MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 wird durch Betrachten eines Querschnitts des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 durch ein Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und Berechnen eines flächenbasierten Durchschnittswerts der Partikelgrößen von 10 MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikeln 21 auf Basis des TEM-Bilds erhalten.

**[0041]** Der Gehalt der MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 ist vorzugsweise gleich oder größer als 5 Vol.-% und gleich oder geringer als 70 Vol.-%, noch besser gleich oder größer als 10 Vol.-% und gleich oder geringer als 60 Vol.-%, sogar noch besser gleich oder größer als 10 Vol.-% und gleich oder geringer als 40 Vol.-% und insbesondere gleich oder größer als 15 Vol.-% und gleich oder geringer als 30 Vol.-% in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20.

**[0042]** Der imaginäre Teil der relativen Durchlässigkeit der MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 bei einer Resonanzfrequenz davon ist vorzugsweise gleich oder größer als 0,01 und noch besser gleich oder größer als 0,03.

**[0043]** Der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ist normalerweise gleich oder größer als 2,0, vorzugsweise gleich oder größer als 3,0 und insbesondere gleich oder größer als 4,0, wenn das MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  30 Vol.-% des Harzes ausmacht. Es genügt, wenn der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  höchstens 6,0 beträgt.

**[0044]** Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ist normalerweise größer als 0,0 und vorzugsweise gleich oder größer als 0,10, wenn das MTC-substituierte  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  30 Vol.-% des Harzes ausmacht. Je höher der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  ist, desto besser. Es genügt, wenn der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$  höchstens 0,50 beträgt.

(Die schwarzen Titanoxidpartikel 22)

**[0045]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält mehrere schwarze Titanoxidpartikel 22. Dies gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 eine hohe Rückflusddämpfung über eine breitere Frequenzbandbreite erzielt, als eine entsprechende Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen mit dem gleichen Aufbau wie die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1, außer dass deren erster Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 die schwarzen Titanoxidpartikel 22 nicht enthält.

**[0046]** Die relative dielektrische Konstante der schwarzen Titanoxidpartikel 22 bei einer Frequenz von gleich oder höher als 75 GHz ist vorzugsweise gleich oder größer als 10 und noch besser gleich oder größer als 20. Dies verbreitert die Bandbreite des Frequenzbereichs, in dem die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 in dem Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, eine hohe Rückflusddämpfung erzielt.

**[0047]** Wie hierin verwendet, bezieht sich das schwarze Titanoxid auf ein Titansuboxid, dem gegenüber  $\text{TiO}_2$  ein Sauerstoffatom fehlt. Der untere Grenzwert von x in der allgemeinen Formel  $\text{TiO}_x$  (wobei  $1 \leq x < 2$  ist) ist vorzugsweise gleich oder größer als 1, noch besser gleich oder größer als 1,2 und sogar noch besser gleich oder größer als 1,5. Der obere Grenzwert von x ist vorzugsweise geringer als 2, noch besser gleich oder geringer als 1,9 und sogar noch besser gleich oder geringer als 1,85. Im Besonderen umfassen Beispiele für

das schwarze Titanoxid  $\text{TiO}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ,  $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ ,  $\gamma\text{-Ti}_3\text{O}_5$ ,  $\beta\text{-Ti}_3\text{O}_5$ ,  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ ,  $\text{Ti}_5\text{O}_9$  und  $\text{Ti}_6\text{O}_{11}$ . Unter anderem wird im Hinblick auf ihre hohe dielektrische Konstante in dem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz und andere Überlegungen vorzugsweise wenigstens eine Verbindung verwendet, die aus der Gruppe, die aus  $\text{Ti}_4\text{O}_7$  und  $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$  besteht, gewählt ist.

**[0048]** Die schwarzen Titanoxidpartikel 22 weisen die Form einer Koralle mit einer ungleichmäßigen Oberfläche auf. Dies erhöht die Beladung der mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 22 in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20. Bei dieser Ausführungsform weisen die schwarzen Titanoxidpartikel eine Korallenform auf. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Alternativ können die schwarzen Titanoxidpartikel 22 zum Beispiel auch eine sphärische, flache (oder zusammengedrückte), nadelartige oder unregelmäßige Form aufweisen.

**[0049]** Die mittlere sekundäre Partikelgröße der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist vorzugsweise gleich oder größer als 100 nm und gleich oder geringer als 10  $\mu\text{m}$ . Wie hierin verwendet, wird die mittlere sekundäre Partikelgröße der schwarzen Titanoxidpartikel 22 durch Betrachten der Form eines Power Samples durch ein Rasterelektronenmikroskop (REM) und Berechnen des Durchschnittswerts der Partikelgrößen auf Basis des REM-Bilds erhalten.

**[0050]** Der Gehalt der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist vorzugsweise gleich oder größer als 5 Vol.-% und gleich oder geringer als 70 Vol.-%, noch besser gleich oder größer als 8 Vol.-% und gleich oder geringer als 60 Vol.-%, sogar noch besser gleich oder größer als 10 Vol.-% und gleich oder geringer als 40 Vol.-% und insbesondere gleich oder größer als 10 Vol.-% und gleich oder geringer als 30 Vol.-% in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20.

(Die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23)

**[0051]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält mehrere leitfähige Füllmaterialpartikel 23. Dies gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 einen breiteren Einfallswinkelbereich für elektromagnetische Wellen, in dem eine hohe Rückflussdämpfung erzielt wird, aufweist, als eine entsprechende Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen mit dem gleichen Aufbau wie die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1, außer dass ihr erster Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 keine leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 enthält.

**[0052]** Die relative dielektrische Konstante der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 bei einer Frequenz von gleich oder höher als 75 GHz ist vorzugsweise gleich oder größer als 10 und noch besser gleich oder größer als 20. Dies ermöglicht ein weiteres Verbreitern eines Einfallswinkelbereichs für elektromagnetische Wellen, in dem in einem Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, eine hohe Rückflussdämpfung erzielt wird.

**[0053]** Die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 werden aus verschiedenen Materialien, die über elektrische Leitfähigkeit verfügen, gewählt. Beispiele für Materialien für die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 umfassen, Kohlenstoff-Füllmaterialien wie etwa Ruß, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Kohlenstoff-Mikrospulen und Graphit; metallische Füllmaterialien einschließlich von Metallpulvern wie etwa Aluminiumpulver und Nickelpulver und Metallnanopartikeln; und Partikel, die durch Aufbringen eines leitfähigen Materials um ein Keramikmaterial oder ein Harzmaterial gebildet sind.

**[0054]** In der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 weisen die leitfähigen Füllmaterialpartikel eine sphärische Form auf. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung angesehen werden. Die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 können zum Beispiel auch eine flache (oder zusammengedrückte), nadelartige oder unregelmäßige Form aufweisen. Optional können die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 zum Beispiel auch mehrere primäre Partikel sein, die koagulieren oder miteinander gekoppelt sind, um ein sekundäres Partikel oder eine Struktur zu bilden.

**[0055]** Die mittlere sekundäre Partikelgröße der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist vorzugsweise gleich oder größer als 0,1  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 1000  $\mu\text{m}$  und noch besser gleich oder größer als 1  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 100  $\mu\text{m}$ . Die mittlere sekundäre Partikelgröße der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 wird durch Betrachten der Form eines Power Samples durch ein Rasterelektronenmikroskop (REM) und Berechnen des Durchschnittswerts der Partikelgrößen auf Basis des REM-Bilds bestimmt.

**[0056]** Der Gehalt der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist vorzugsweise gleich oder größer als 0,1 Vol.-% und gleich oder geringer als 10 Vol.-% in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20. Wenn dieser Gehalt geringer als 0,1 Vol.-% wäre, könnte keine hohe Rückflusssdämpfung in einem ausreichend breiten Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen erzielt werden. Wenn dieser Gehalt andererseits größer als 10 Vol.-% wäre, könnte es sein, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 nicht geformt werden kann. Der Gehalt der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist besser gleich oder größer als 1 Vol.-% und gleich oder geringer als 9,5 Vol.-%, noch besser gleich oder größer als 2 Vol.-% und gleich oder geringer als 9 Vol.-%, sogar noch besser gleich oder größer als 3 Vol.-% und gleich oder geringer als 8,5 Vol.-% und insbesondere gleich oder größer als 4 Vol.-% und gleich oder geringer als 8 Vol.-%.

**[0057]** Der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist normalerweise gleich oder größer als 3,0, vorzugsweise gleich oder größer als 3,5 und noch besser gleich oder größer als 4,0, wenn die leitfähigen elektromagnetischen Partikel 23 6,0 Vol.-% des Harzes ausmachen. Es genügt, wenn der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 höchstens 6,0 beträgt.

**[0058]** Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist normalerweise größer als 1,0 vorzugsweise gleich oder größer als 1,5 und noch besser gleich oder größer als 2,0, wenn die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 6,0 Vol.-% des Harzes ausmachen. Je höher der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 ist, desto besser. Es genügt, wenn der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 höchstens 5,0 beträgt.

(Das Harz 24)

**[0059]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 enthält ein Harz 24. Das Harz dient hauptsächlich als Bindemittel zum Binden der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, der schwarzen Titanoxidpartikel 22 und der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 an die erste metallische Basis 10. Das Hinzufügen des Harzes 24 zu dem ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 verleiht der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 Flexibilität, was gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 in einer gefalteten Form verwendet wird.

**[0060]** Beispiele für das Harz 24 umfassen wärmehärtbare Harze und thermoplastische Harze.

**[0061]** Das wärmehärtbare Harz kann jede beliebige Art von Harz sein, das in der Lage ist, die MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die schwarzen Titanoxidpartikel 23 und die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 an die erste metallische Basis 10 zu binden, indem es durch Wärme gehärtet wird. Beispiele für die wärmehärtbaren Harze umfassen Epoxidharze, Silikonharze, Acrylharze, Phenolharze, Polyimidharze, ungesättigte Polyesterharze, Polyvinylesterharze, Polyurethanharze, Melaminharze, Cyanatesterharze, Isocyanatharze, Polybenzoxazolharze und modifizierte Harze davon. Das Verwenden eines beliebigen dieser wärmehärtbaren Harze als das Harz 24 gestattet, dass die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 vorteilhaft sogar in Hochtemperaturanwendungen verwendet werden kann. Unter anderem enthält das wärmehärtbare Harz vorzugsweise wenigstens ein Harz, das aus der Gruppe, die aus Silikonharzen, Acrylharzen und Epoxidharzen besteht, gewählt ist, zumal jedes dieser Harzes vorteilhaft selbst bei einer erhöhten Temperatur wie zum Beispiel einer fahrzeugseitigen Anwendung verwendet werden kann.

**[0062]** Das thermoplastische Harz kann jede beliebige Art von Harz sein, das in der Lage ist, die MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die schwarzen Titanoxidpartikel 23 und die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 an die erste metallische Basis 10 zu binden, indem es durch Wärme geschmolzen wird. Beispiele für die thermoplastischen Harze umfassen Polyolefine einschließlich Copolymeren von Polyethylen, Polypropylen oder Ethylen und einem  $\alpha$ -Olefin wie etwa 1-Buten oder 1-Octen; Vinylharze wie etwa Polyvinylacetat, Polyvinylchlorid und Polyvinylalkohol; Polyamide wie etwa Polyamid 66 und Polyamid 6; Polyimid; Polyphenylensulfid; Polyoxymethylen; Polyester wie etwa Polyethylenterephthalat und Polybutylenterephthalat; Polystyrol; Styrolcopolymere wie etwa ein Polyacrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer; Polycarbonat; Polyetheretherketon; und Fluorharze.

**[0063]** Der Gehalt des Harzes 24 ist vorzugsweise gleich oder größer als 5 Vol.-% und gleich oder geringer als 80 Vol.-%, noch besser gleich oder größer als 20 Vol.-% und gleich oder geringer als 70 Vol.-% und insbe-

sondere gleich oder größer als 40 Vol.-% und gleich oder geringer als 65 Vol.-% in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20.

(Zusätze)

**[0064]** Der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 weist die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 22, die mehreren leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 und das Harz 24 auf. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Falls nötig, kann der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 auch eine andere anorganische Substanz als die leitfähigen Füllmaterialpartikel 23, einen Zusatz oder beliebige andere geeignete Inhaltsstoffe aufweisen. Beispiele für die anorganische Substanz umfassen Metalloxide. Beispiele für die Metalloxide umfassen Bariumtitanat, Eisenoxid und Strontiumtitanat. Beispiele für die Zusätze umfassen Dispergiermittel, Farbstoffe, Antioxidationsmittel, Photostabilisatoren, Metalldeaktivatoren, Flammenschutzmittel und Antistatikmittel. Beispiele für die Dispergiermittel umfassen Silankopplungsmittel, Titanatkopplungsmittel, Zirkonatkopplungsmittel und Aluminatkopplungsmittel. Diese anorganischen Substanzen und die Zusätze können jede beliebige Form wie etwa zum Beispiel sphärisch, zusammengedrückt, nadelartig oder faserförmig aufweisen. Der Gehalt des Zusatzes kann passend eingerichtet werden, solange die Vorteile dieser Ausführungsform nicht aufgewogen werden.

[Anwendung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1]

**[0065]** Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht einer Millimeterwellenradarvorrichtung 100 gemäß einer ersten Anwendung der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1.

**[0066]** Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 wird vorzugsweise zum Beispiel zur Einrichtung im Inneren einer Millimeterwellenradarvorrichtung 100 als fahrzeugseitiges Ausrüstungsgerät verwendet.

**[0067]** Wie in Fig. 2 gezeigt ist, weist die Millimeterwellenradarvorrichtung 100 ein Substrat 110, eine Sendeantenne 120, eine Empfangsantenne 130, eine Schaltung 140, ein Radom 150 und die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 auf. Die Sendeantenne 120, die Empfangsantenne 130, die Schaltung 140 und die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 sind auf dem Substrat 110 angeordnet. Die Schaltung 140 ist zwischen die Sendeantenne 120 und die Empfangsantenne 130 eingefügt und befindet sich näher an der Empfangsantenne 130. Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 ist zwischen die Sendeantenne 120 und die Empfangsantenne 130 eingefügt und befindet sich näher an der Sendeantenne 120. Das Radom 150 deckt die Sendeantenne 120 und die Empfangsantenne 130 ab.

**[0068]** Die Millimeterwellenradarvorrichtung 100 detektiert durch Ausstrahlen von elektromagnetischen Wellen 200 von der Sendeantenne 120 (nachstehend als „gesendete Wellen 200“ bezeichnet) und Empfangen der von dem Hindernis reflektierten elektromagnetischen Wellen (nachstehend als „empfangene Wellen 300“ bezeichnet) den Ort, die relative Geschwindigkeit, die Richtung oder irgendeinen anderen Parameter des Hindernisses. Die elektromagnetischen Wellen 200 umfassen vorzugsweise elektromagnetische Wellen, die eine Frequenz von gleich oder höher als 30 GHz und gleich oder niedriger als 300 GHz aufweisen und besonders günstig in das 76-GHz-Band (von 76 GHz bis 77 GHz) oder in das 79-GHz-Band (von 77 GHz bis 81 GHz) fallen. Beispiele für die Hindernisse umfassen andere Fahrzeuge und Fußgänger.

**[0069]** Diese Millimeterwellenradarvorrichtung 100 gestattet, dass einige gesendete Wellen 210, die von dem Radom 150 reflektiert wurden (nachstehend als „reflektierte Wellen 210“ bezeichnet), unter den gesendeten Wellen 200, die von der Sendeantenne 120 ausgestrahlt wurden, in die erste Folie 1 zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen absorbiert werden. Die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 erzielt in dem Frequenzband, das einen Bereich von 76 GHz bis 81 GHz enthält, eine hohe Rückflusssdämpfung in einem breiteren Einfallswinkelbereich für elektromagnetische Wellen als die bekannten Folien zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, was gestattet, dass die reflektierten Wellen 210 die Schaltung 140 oder die Empfangsantenne 130 weniger leicht als bei den bekannten Absorbern für elektromagnetische Wellen erreichen. Dies erlaubt der Millimeterwellenradarvorrichtung 100, jegliche Fußgänger und andere Hindernisse in der Umgebung, von denen die elektromagnetischen Wellen mit einer geringen Stärke reflektiert werden, mit einer höheren Empfindlichkeit zu erfassen, und verringert auch die Wahrscheinlichkeit einer Fehlfunktion der Schaltung 140.

[Das Verfahren zum Herstellen der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1]

**[0070]** Ein Verfahren zum Herstellen der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 umfasst das gesonderte Bereitstellen der ersten metallischen Basis 10 und des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 und das Aneinanderbinden der ersten metallischen Basis 10 und des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20. Ein anderes Verfahren zum Herstellen der ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 umfasst das Bereitstellen der ersten metallischen Basis 10, das Aufbringen einer Zusammensetzung als Material für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen auf die erste Fläche 10A der ersten metallischen Basis 10 und zum Beispiel das thermische Härten der Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen, um den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 zu bilden.

**[0071]** Beispielhafte Verfahren zum Aufbringen der Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen umfassen ein Sprühbeschichtungsverfahren, ein Tauchbeschichtungsverfahren, ein Walzenbeschichtungsverfahren, ein Vorhangbeschichtungsverfahren, ein Schleuderbeschichtungsverfahren, ein Siebdruckverfahren, ein Rakelverfahren und ein Applikatorverfahren. Die Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen kann zum Beispiel durch Erwärmen der Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen durch ein bekanntes Verfahren thermisch gehärtet werden.

**[0072]** Die Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen enthält wenigstens ein Pulver der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, ein Pulver der schwarzen Titanoxidpartikel 22, ein Pulver der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23 und das oben beschriebene Harz 24. Optional kann die Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen erforderlichenfalls ein Dispersionsmedium enthalten, um für ein Fließvermögen zu sorgen, das hoch genug ist, um zu gestatten, dass der erste Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 jede beliebige gewünschte Dicke aufweist.

**[0073]** Beispielhafte Verfahren zum Einrichten der relativen Durchlässigkeit des so gebildeten ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 umfassen das Einrichten der Menge, die in dem MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durch das substituierende Element ersetzt werden soll, und das Einrichten des Gehalts des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 in Bezug auf den ersten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20. Beispielhafte Verfahren zum Einrichten der relativen dielektrischen Konstanten des so gebildeten ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 umfassen das Einrichten des Gehalts des Pulvers der schwarzen Titanoxidpartikel 22 und des Gehaltes der leitfähigen Füllmaterialpartikel 23.

(Das Pulver der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21)

**[0074]** Das Pulver der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 ist eine Ansammlung der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21. Die mittlere Partikelgröße des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 ist vorzugsweise klein genug, um zu verursachen, dass jedes Partikel eine einzelne magnetische Domänenstruktur aufweist. Die obere Grenze für die mittlere Partikelgröße des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 ist vorzugsweise gleich oder geringer als 200 nm, noch besser gleich oder geringer als 100 nm und insbesondere gleich oder geringer als 18 nm. Die untere Grenze der mittleren Partikelgröße des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 ist vorzugsweise gleich oder größer als 10 nm und noch besser gleich oder größer als 15 nm. Das Festlegen der unteren Grenze der mittleren Partikelgröße des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 auf innerhalb dieses Bereichs verringert die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften pro Einheitsmasse des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 verursacht wird. Die mittlere Partikelgröße des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 kann durch das gleiche Verfahren wie das später für bestimmte Beispiele beschriebene gemessen werden.

[Das Verfahren zum Herstellen des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21]

**[0075]** Ein beispielhaftes Verfahren zum Herstellen eines Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 umfasst die Schritte (a1) des Erhaltens eines Metallhydroxids durch Mischen einer wässrigen Lösung, die Eisenionen wie etwa Eisen(III)nitrat enthält, mit einer wässrigen Salpetersäurelösung, die ein metallisches Element wie etwa Ti, Co oder M als substituierendes Element enthält, und Hinzufügen einer Alkalilösung wie etwa Ammoniakwasser zu dem Gemisch; (b1) des Erhaltens eines Vorläuferpulvers durch Überziehen des Metallhydroxids mit Siliziumoxid; (c1) des Erhaltens eines wärmebehandelten Pulvers durch Wärmebehandeln des Vorläuferpulvers in einer oxidierenden Atmosphäre; und (d1) des Vornehmens eines Ätzprozesses

an dem wärmebehandelten Pulver. Bei diesem Verfahren werden diese Prozessschritte (a1), (b1), (c1) und (d1) in dieser Reihenfolge durchgeführt.

(Der Schritt (a1))

**[0076]** Der Schritt (a1) umfasst das Erhalten eines Metallhydroxids, das Eisen und ein metallisches Element wie etwa Ti, Co oder M als substituierendes Element enthält.

**[0077]** Ein beispielhaftes Verfahren zum Erhalten eines Metallhydroxids, das Eisen und ein metallisches Element als substituierendes Element enthält, umfasst das Anfertigen einer Dispersion durch Mischen eines Eisen(III)nitrat-Nonahydrats, eines Titan(IV)sulfat-n-Hydrats, eines Kobalt(II)nitrat-Hexahydrats und einer M-Verbindung mit reinem Wasser; und das Eintropfen einer wässrigen Ammoniaklösung in die Dispersion und das Aufrühren des Gemischs. Dieser Aufrührschritt verursacht, dass ein Metallhydroxid, das Eisen und ein metallisches Element wie etwa Ti, Co oder M als substituierendes Element enthält, hergestellt wird.

**[0078]** Für die M-Verbindung kann zum Beispiel ein Gallium(III)nitrat-n-Hydrat verwendet werden, wenn M Ga ist, ein Indium(III)nitrat-n-Hydrat verwendet werden, wenn M In ist, ein Aluminium(III)nitrat-n-Hydrat verwendet werden, wenn M Al ist, und ein Rhodium(III)nitrat-n-Hydrat verwendet werden, wenn M Rh ist. Die beizugebenden Mengen des Eisen(III)nitrat-Nonahydrats, des Titan(IV)sulfat-n-Hydrats, des Kobalt(II)nitrat-Hexahydrats und der M-Verbindung können je nach der gewünschten Zusammensetzung des MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passend eingerichtet werden.

**[0079]** Wenn eine wässrige Ammoniaklösung als Alkalilösung verwendet wird, ist die Menge der eingetropften wässrigen Ammoniaklösung in Ammoniak umgewandelt vorzugsweise gleich oder größer als 3 Mol und gleich oder geringer als 30 Mol pro Mol des Eisen(III)nitrats. Die Temperatur der Dispersion beim Eintropfen der wässrigen Ammoniaklösung in die Dispersion ist vorzugsweise gleich oder höher als 0 °C und gleich oder niedriger als 100 °C und noch besser gleich oder höher als 20 °C und gleich oder niedriger als 60 °C.

(Der Schritt (b1))

**[0080]** Der Schritt (b 1) umfasst das Erhalten eines Vorläuferpulvers durch Überziehen des Eisen(III)nitrats, auf das das metallische Element angewendet wurde, mit einem Siliziumoxid. Das Vorläuferpulver ist eine Ansammlung von Partikeln des mit dem Siliziumoxid überzogenen Eisen(III)nitrats.

**[0081]** Ein beispielhaftes Verfahren zum Überziehen des Eisen(III)nitrats, auf das das metallische Element angewendet wurde, mit dem Siliziumoxid umfasst zum Beispiel das Eintropfen von Tetraethoxysilan (TEOS) in die Dispersion, in die die wässrige Ammoniaklösung eingetropft wurde, das Aufrühren des Gemischs und dann das Abkühlen lassen des Gemischs auf Raumtemperatur, um eine Trennungsbehandlung vorzunehmen.

**[0082]** Die Menge des eingetropften TEOS ist vorzugsweise gleich oder größer als 0,5 Mol und gleich oder geringer als 15 Mol pro Mol des Eisen(III)nitrats. Das Rühren wird vorzugsweise für 15 bis 30 Stunden vorgenommen. Nachdem dem Gemisch ein Abkühlen gestattet wurde, wird vorzugsweise eine vorherbestimmte Menge eines Fällmittels hinzugefügt. Als Fällmittel kann zum Beispiel Ammoniumsulfat verwendet werden. Ein beispielhaftes Verfahren zum Vornehmen der Trennungsbehandlung umfasst das Sammeln der Feststoffe durch Ansaugen und Filtern der Dispersion, in die das TEOS eingetropft wurde, und dann Trocknen des so gesammelten Feststoffs. Der Trocknungstemperatur beträgt vorzugsweise etwa 60 °C.

(Der Schritt (c1))

**[0083]** Der Schritt (c1) umfasst das Erhalten eines wärmebehandelten Pulvers durch Wärmebehandeln des Vorläuferpulvers in einer oxidierenden Atmosphäre. Als Ergebnis werden die mit dem Siliziumoxid überzogenen MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 als das wärmebehandelte Pulver erhalten.

**[0084]** Die Wärmebehandlungstemperatur ist vorzugsweise gleich oder höher als 900 °C und niedriger als 1200 °C und noch besser gleich oder höher als 950 °C und gleich oder niedriger als 1150 °C. Die Wärmebehandlung wird vorzugsweise für 0,5 bis 10 Stunden und noch besser für 2 bis 5 Stunden vorgenommen. Beispiele für die oxidierenden Atmosphären umfassen die Luftatmosphäre und ein Gemisch aus Sauerstoff- und Stickstoffgas. Unter anderem wird von Kosten- und Arbeitseffizienzüberlegungen her die Luftatmosphäre bevorzugt.

(Der Schritt (d1))

**[0085]** Der Schritt (d1) umfasst das Vornehmen eines Ätzprozesses an dem wärmebehandelten Pulver, wodurch das Siliziumoxid von dem wärmebehandelten Pulver beseitigt wird und eine Ansammlung (ein Pulver) der MTC-substituierten  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 erhalten wird.

**[0086]** Ein beispielhaftes Verfahren zum Durchführen des Ätzprozesses umfasst das Pulverisieren des oben beschriebenen wärmebehandelten Pulvers, das Hinzufügen des pulverisierten Pulvers zu einer wässrigen Lösung von Natriumhydroxid (NaOH) und das Aufrühren des Gemischs. Die Flüssigkeitstemperatur der wässrigen Lösung von Natriumhydroxid (NaOH) ist vorzugsweise gleich oder höher als 60 °C und gleich oder niedriger als 70 °C. Die wässrige Lösung von Natriumhydroxid (NaOH) weist vorzugsweise eine Konzentration von 5 M auf. Das Aufrühren wird vorzugsweise für 15 bis 30 Stunden vorgenommen

(Das Pulver der schwarzen Titanoxidpartikel 22)

**[0087]** Das Pulver der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist eine Ansammlung der schwarzen Titanoxidpartikel. Die mittlere sekundäre Partikelgröße des Pulvers der schwarzen Titanoxidpartikel 22 ist vorzugsweise gleich oder größer als 100 nm und gleich oder geringer als 10  $\mu\text{m}$ . Ein beispielhaftes Verfahren zum Messen der mittleren sekundären Partikelgröße des Pulvers der schwarzen Titanoxidpartikel 21 kann das gleiche Verfahren wie das später für bestimmte Beispiele beschriebene sein.

(Das Verfahren zum Herstellen der schwarzen Titanoxidpartikel 22)

**[0088]** Für die schwarzen Titanoxidpartikel 22 werden vorzugsweise poröse  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Partikel verwendet.

**[0089]** Ein beispielhaftes Verfahren zum Herstellen der porösen  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Partikel umfasst als Schritt (a2) das Erhalten eines Aggregats durch Brennen von, zum Beispiel,  $\text{TiO}_2$ -Partikeln in einer Wasserstoffatmosphäre, und kann als Schritt (b2) auch das Erhalten von porösen  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Partikeln, indem das Aggregat erforderlichenfalls einem Pulverisierungsprozess unterzogen wird, umfassen.

(Der Schritt (a2))

**[0090]** Der Schritt (a2) umfasst das Erhalten eines Aggregats durch Brennen eines Pulvers von  $\text{TiO}_2$ -Partikeln in einer Wasserstoffatmosphäre. Dieser Brennschritt fördert die Reduktionsreaktion der  $\text{TiO}_2$ -Partikel. Daher besteht ein Aggregat aus  $\text{Ti}_4\text{O}_7$  ( $\text{Ti}^{3+}_2\text{Ti}^{4+}_2\text{O}_7$ ), was ein  $\text{Ti}^{3+}$ -haltiges Oxid ist.

**[0091]** Die Partikelgröße der  $\text{TiO}_2$ -Partikel ist vorzugsweise gleich oder geringer als 500 nm. Beispiele für die Kristallstruktur der  $\text{TiO}_2$ -Partikel umfassen einen Anatas-Typ und einen Rutil-Typ. Die Fließgeschwindigkeit des Wasserstoffgases ist vorzugsweise gleich oder größer als 0,05 l/min und gleich oder geringer als 0,5 l/min. Die Brenntemperatur ist vorzugsweise gleich oder höher als 900 °C und gleich oder niedriger als 1200 °C und noch besser gleich oder höher als 1000 °C und gleich oder niedriger als 1200 °C. Die Brenntemperatur wird vorzugsweise für höchstens 10 Stunden und noch besser für 3 bis 7 Stunden beibehalten.

[0094] (Der Schritt (b2))

**[0092]** Der Schritt (b2) umfasst das Erhalten poröser  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Partikel, indem das Aggregat einem Pulverisierungsprozess unterzogen wird. Dies gestattet, dass  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Partikel mit einer gewünschten Partikelgröße und einer gewünschten Form erhalten werden.

**[0093]** Beispielhafte Verfahren des Durchführens des Pulverisierungsprozesses umfassen ein Kugelmühlverfahren, ein Stabmühlverfahren und ein Verfahren zum Pulverisieren durch Zertrümmern.

(Das Dispersionsmedium)

**[0094]** Ein beliebiges passendes Dispersionsmedium kann zum Beispiel wie für das Material einer Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen passend angefertigt werden. Als Dispersionsmedium kann zum Beispiel Wasser, ein organisches Lösemittel oder eine wässrige Lösung eines organischen Lösemittels verwendet werden. Beispiele für die organischen Lösemittel umfassen Ketone, Alkohole, Etheralkohole, gesättigte aliphatische Monocarbonsäurealkylester, Milchsäureester und Etherester. Jedes beliebige dieser organischen Lösemittel kann entweder selbst oder in Kombination verwendet werden. Bei-

spiele für die Ketone umfassen Diethylketon und Methylbutylketon. Beispiele für die Alkohole umfassen n-Pentanol und 4-Methyl-n-Pentanol. Beispiele für die Etheralkohole umfassen Ethylenglykol, Monomethylether und Ethylenglykolmonoethylether. Beispiele für die gesättigten aliphatischen Monocarbonsäurealkylester umfassen Acetat-n-Butyl und Amylacetat. Beispiele für die Milchsäureester umfassen Ethyllactat und Lactat-n-Butyl. Beispiele für die Etherester umfassen Methylcellosolveacetat und Ethylcellosolveacetat.

<Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2>

**[0095]** Fig. 3A ist eine schematische Vorderansicht einer zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2. Fig. 3B ist eine schematische Schnittansicht der zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 entlang der in Fig. 3A gezeigten Ebene Z-Z. In Fig. 3A und Fig. 3B wird jedes Aufbauelement dieser zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2, das die gleiche Funktion wie ein Gegenstück der in Fig. 1A und Fig. 1B gezeigten ersten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 aufweist, mit dem gleichen Bezugszeichen wie dieses Gegenstück bezeichnet werden und auf seine Beschreibung hier verzichtet werden, um Redundanzen zu vermeiden.

**[0096]** Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 weist den gleichen Aufbau wie die erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 auf, außer dass die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 keine leitfähigen Füllmaterialien enthält und der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten des schwarzen Titanoxids gleich oder größer als 2,0 ist (die Partikel dieses schwarzen Titanoxids werden nachstehend als „schwarze Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten“ bezeichnet werden), wenn das schwarze Titanoxid 30 Vol.-% des Harzes ausmacht. Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 enthält die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten und kann daher trotz des Umstands, dass die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 keine leitfähigen Füllmaterialien enthält, in einem breiteren Einfallswinkelbereich der elektromagnetischen Wellen eine hohe Rückflussdämpfung erzielen.

**[0097]** Wie in Fig. 3A und 3B gezeigt ist, ist die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 eine einschichtige Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die die erste metallische Basis 10 und einen zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 aufweist. Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 ist auf der ersten metallischen Basis 10 gebildet. Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 enthält die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten und das Harz 24.

**[0098]** Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 weist vorzugsweise eine Dicke von gleich oder größer als 0,1 mm auf. Dies gestattet, dass die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 eine noch höhere Stärke aufweist. Die Dicke ist noch besser gleich oder größer als 0,15 mm und insbesondere gleich oder größer als 0,2 mm. Andererseits ist die Dicke vorzugsweise gleich oder geringer als 1 mm. In diesem Fall ist die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 dünn genug, um an einer engen Stelle eingerichtet und verwendet zu werden. Die Dicke ist noch besser gleich oder geringer als 0,95 mm, sogar noch besser gleich oder geringer als 0,9 mm und insbesondere gleich oder geringer als 0,5 mm.

[Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30]

**[0099]** Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 weist den zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 auf. Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 wandelt einen Teil der Energie der einfallenden elektromagnetischen Wellen in Wärmeenergie um. Das heißt, der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 absorbiert die elektromagnetischen Wellen, die sich im Inneren des zweiten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 selbst fortpflanzen. Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 ist auf der ersten Fläche 10A der ersten metallischen Basis 10 gebildet. Bei dieser Ausführungsform weist die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 einen einschichtigen zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 auf. Dies ist jedoch lediglich ein Beispiel dieser Ausführungsform und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Alternativ kann die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 einen zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 aufweisen, der aus zwei oder mehr Schichten besteht.

**[0100]** Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 weist die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21, die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten und das Harz 24 auf. Die mehreren MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 und die mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten sind in dem Harz 24 zerstreut.

**[0101]** Die obige Beschreibung im Hinblick auf die Dicke T<sub>20</sub>, die Fläche 20A und andere Eigenschaften des ersten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 20 gilt auch für die Dicke T<sub>30</sub>, die Oberfläche 30A und andere Eigenschaften des zweiten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30.

**[0102]** Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 weist vorzugsweise eine Dicke T<sub>30</sub> von gleich oder größer als 0,1 mm auf. Dies würde die Stärke der zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 weiter erhöhen. T<sub>30</sub> ist noch besser gleich oder größer als 0,15 mm und insbesondere gleich oder größer als 0,2 mm. Andererseits ist die Dicke T<sub>30</sub> vorzugsweise gleich oder geringer als 1 mm. Dies ermöglicht, dass die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 dünn genug ausgeführt wird, um an einer engen Stelle eingerichtet und verwendet zu werden. T<sub>30</sub> ist noch besser gleich oder geringer als 0,9 mm und insbesondere gleich oder geringer als 0,5 mm.

**[0103]** Die relative dielektrische Konstante des zweiten Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 weist einen echten Teil ( $\epsilon'$ ), der bei einer Frequenz von 79 GHz vorzugsweise gleich oder größer als 15 und noch besser gleich oder größer als 17 ist, und einen imaginären Teil ( $\epsilon''$ ), der bei einer Frequenz von 79 GHz vorzugsweise gleich oder größer als 2,0 und noch besser gleich oder größer als 3,0 ist, auf.

(Die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten)

**[0104]** Der zweite Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 enthält mehrere schwarze Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten.

**[0105]** Wie hierin verwendet, bezeichnet das schwarze Titanoxid mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ein Titansuboxid, dem gegenüber TiO<sub>2</sub> ein Sauerstoffatom fehlt und das eine relative dielektrische Konstante mit einem imaginären Teil ( $\epsilon''$ ) von gleich oder größer als 2,0 aufweist, wenn das schwarze Titanoxid 30 Vol.-% des Harzes ausmacht.

**[0106]** Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist vorzugsweise hoch. Wenn „der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel“ wie hierin verwendet „hoch ist“, bedeutet dies, dass der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten vorzugsweise gleich oder größer als 2,0 ist. Der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten ist noch besser gleich oder größer als 3,0 und insbesondere gleich oder größer als 4,0. Wenn der imaginäre Teil der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten hoch eingerichtet wird, gestattet dies der zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2, einen Einfallswinkelbereich für elektromagnetische Wellen, in dem eine hohe Rückflusssdämpfung erzielt wird, weiter zu verbreitern. Je höher der imaginäre Teil  $\epsilon''$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist, desto besser. Es genügt, wenn der imaginäre Teil höchstens 6,0 beträgt.

**[0107]** Der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist normalerweise gleich oder größer als 15, vorzugsweise gleich oder größer als 17 und noch besser gleich oder größer als 20, wenn die schwarzen Titanoxidpartikel mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten 30 Vol.-% des Harzes ausmachen. Es genügt, wenn der echte Teil  $\epsilon'$  der relativen dielektrischen Konstanten der schwarzen Titanoxidpartikel mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten höchstens 25,0 beträgt.

**[0108]** Das Harz, das zum Messen der relativen dielektrischen Konstanten verwendet wird, (d.h., ein Matrixharz zur Verwendung zum Messen der dielektrischen Konstanten) ist nicht auf irgendein bestimmtes Harz beschränkt, sondern kann beispielsweise ein Acrylharz, ein Epoxidharz oder ein Silikonharz sein.

**[0109]** Die relative dielektrische Konstante der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten bei einer Frequenz von gleich oder höher als 75 GHz ist vorzugsweise gleich oder größer als 10 und noch besser gleich oder größer als 20. Dies ermöglicht ein weiteres Verbreitern des Einfallswinkelbereichs für elektromagnetische Wellen, in dem in einem Frequenzband von 76 GHz bis 81 GHz eine hohe Rückflusdämpfung erzielt wird.

**[0110]** Die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten sind vorzugsweise elektrisch leitfähig. Wenn das schwarze Titanoxid wie hierin verwendet „elektrisch leitfähig“ ist bedeutet dies, dass seine elektrische Leitfähigkeit zum Beispiel gleich oder größer als 0,1 S/m ist. Das Einrichten der elektrischen Leitfähigkeit des schwarzen Titanoxids mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten auf einen Wert von gleich oder größer als 0,1 S/m gestattet, dass die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 den Einfallswinkelbereich für elektromagnetische Wellen, in dem eine hohe Rückflusdämpfung erzielt wird, weiter verbreitert.

**[0111]** Das schwarze Titanoxid mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist durch die allgemeine Formel  $TiO_x$ , (wobei  $1 \leq x < 2$  gilt) ausgedrückt, wobei die untere Grenze von  $x$  vorzugsweise gleich oder größer als 1, noch besser gleich oder größer als 1,2 und insbesondere gleich oder größer als 1,5 ist und die obere Grenze von  $x$  vorzugsweise geringer als 2, noch besser gleich geringer als 1,9 und insbesondere gleich oder geringer als 1,85 ist. Im Besonderen umfassen Beispiele für das schwarze Titanoxid mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten  $TiO$ ,  $Ti_2O_3$ ,  $\lambda$ - $Ti_3O_5$ ,  $\gamma$ - $Ti_3O_5$ ,  $\beta$ - $Ti_3O_5$ ,  $Ti_4O_7$ ,  $Ti_5O_9$  und  $Ti_6O_{11}$ . Unter anderen enthält das schwarze Titanoxid mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten angesichts dessen, dass  $Ti_4O_7$  und  $\lambda$ - $Ti_3O_5$  in dem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz jeweils eine hohe dielektrische Konstante aufweisen, vorzugsweise wenigstens eines, das aus der Gruppe, die aus  $Ti_4O_7$  und  $\lambda$ - $Ti_3O_5$  besteht, gewählt ist.

**[0112]** Die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten weisen die Form einer Koralle mit einer ungleichmäßigen Oberfläche auf. Dies kann die Beladung der mehreren schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten in Bezug auf den zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30 erhöhen. Bei dieser Ausführungsform weisen die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten eine Korallenform auf. Dies ist jedoch nur ein Beispiel und sollte nicht als Beschränkung aufgefasst werden. Die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten können zum Beispiel auch eine sphärische, flache (oder zusammengedrückte), nadelartige oder unregelmäßige Form aufweisen.

**[0113]** Die mittlere sekundäre Partikelgröße der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist vorzugsweise gleich oder größer als 100 nm und gleich oder geringer als 10  $\mu$ m. Wie hierin verwendet, wird die mittlere sekundäre Partikelgröße der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten durch Betrachten der Form eines Power Samples durch ein Rasterelektronenmikroskop (REM) und Berechnen des Durchschnittswerts der Partikelgrößen auf Basis des REM-Bilds bestimmt.

**[0114]** Der Gehalt der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten ist vorzugsweise gleich oder größer als 5 Vol.-% und gleich oder geringer als 70 Vol.-%, noch besser gleich oder größer als 8 Vol.-% und gleich oder geringer als 60 Vol.-%, sogar noch besser gleich oder größer als 10 Vol.-% und gleich oder geringer als 40 Vol.-% und insbesondere gleich oder größer als 12 Vol.-% und gleich oder geringer als 25 Vol.-% in Bezug auf den zweiten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen 30.

[Anwendung der zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2]

**[0115]** Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 wird so wie die oben beschriebene erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 zum Beispiel zur Einrichtung im Inneren einer Millimeterwellenradarvorrichtung 100 als fahrzeugseitiges Ausrüstungsgerät verwendet.

[Das Verfahren zum Herstellen der zweiten Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2]

**[0116]** Die zweite Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 2 kann durch das gleiche Verfahren wie die oben beschriebene erste Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen 1 hergestellt werden.

(Das Verfahren zum Herstellen der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten)

**[0117]** Die schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten können zum Beispiel durch das gleiche Verfahren wie das oben beschriebene Verfahren zum Herstellen der schwarzen Titanoxidpartikel 22 hergestellt werden.

#### Beispiele

**[0118]** Als nächstes wird die vorliegende Offenbarung durch erläuternde Beispiele ausführlicher beschrieben werden. Es ist zu beachten, dass die nachstehend beschriebenen Beispiele lediglich Beispiele für die vorliegende Offenbarung sind und nicht als Beschränkung aufgefasst werden sollen.

#### 1. Die Synthese des Pulvers der MTC-substituierten $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel

**[0119]** Als Pulver der MTC-substituierten  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel 21 wurde ein auf die folgende Weise synthetisiertes  $\epsilon$ -Eisenoxidpulver verwendet.

**[0120]** Zuerst wurde ein Vorläuferpulver durch einen Sol-Gel-Prozess synthetisiert. Im Besonderen wurden 28 g Eisen(III)nitrat-Nonahydrat, 0,69 g Titan(IV)sulfat-n-Hydrat, 0,61 g Kobalt(II)nitrat-Hexahydrat und 3,9 g Gallium(II)nitrat-n-Hydrat gewogen und in einen 1-Liter-Erlenmeyer-Kolben gegeben. Dabei wurden die Mengen der Metalle so verändert, dass die Summen der Mengen der Metalle Fe + Ga + Ti + Co auf 64,0 mMol reguliert wurde. Das Metallverhältnis wurde mit einem auf 0,23 festgelegten Gehalt von x für  $\epsilon$ -Ga<sub>x</sub>-Ti<sub>0,05</sub>Co<sub>0,05</sub>Fe<sub>1,90-x</sub>O<sub>3</sub> reguliert. Zuerst wurden einem auberginenförmigen Kolben, in den alle diese Metallsalze eingebracht worden waren, 1400 ml reines Wasser hinzugefügt. Dann wurden 57,2 ml einer 25-masseprozentigen wässrigen Ammoniaklösung mit einer Geschwindigkeit von ungefähr einem oder zwei Tropfen pro Sekunde in das Gemisch eingetropft, während das Gemisch in einem bei 30 °C gehaltenen Ölbad erwärmt wurde, und die Mischung 30 Minuten weiter aufgerührt, um ein Hydroxid mitfallen zu lassen. Auf diese Weise wurde ein Metallhydroxid, das Eisen und die metallischen Elemente Ga, Ti und Co enthielt, erhalten.

**[0121]** Danach wurden 52,8 ml Tetraethylorthosilikat (TEOS) mit einer Geschwindigkeit von ungefähr einem oder zwei Tropfen pro Sekunde in die Dispersion, in die die wässrige Ammoniaklösung eingetropft worden war, eingetropft und das Gemisch 20 Stunden weiter erwärmt und aufgerührt, wodurch Siliziumdioxid hergestellt wurde. Nachdem das Gemisch aufgerührt worden war, wurde der erzeugte Feststoff durch Ansaugen und Filtern ausgefiltert. Der hergestellte Feststoff wurde dann zu einer Petrischale übertragen und eine Nacht lang bei 60 °C getrocknet, um ein Vorläuferpulver zu erhalten.

**[0122]** Das so erhaltene Vorläuferpulver wurde dann in einen Tiegel gegeben und unter Verwendung eines Elektroofens in einer Luftatmosphäre bei 1100 °C vier Stunden lang gebrannt, wodurch ein wärmebehandeltes Pulver erhalten wurde. Dabei wurde die Temperatur mit einer Geschwindigkeit von 4 °C/min erhöht und mit einer Geschwindigkeit von 5 °C/min verringert. Die entsprechenden Partikel des wärmebehandelten Pulvers waren mit dem Siliziumdioxid überzogen.

**[0123]** Als nächstes wurde dem so erhaltenen wärmebehandelten Pulver eine wässrige 3M-NaOH-Lösung hinzugefügt und das Gemisch in einem Ölbad bei 65 °C 24 Stunden weiter erhitzt und aufgeführt, wodurch das Siliziumdioxid beseitigt wurde. Danach wurde der Überstand durch eine Zentrifugaltrennung beseitigt und der so erhaltene Feststoff eine Nacht lang getrocknet, um ein  $\epsilon$ -Eisenoxidpulver zu erhalten.

**[0124]** Das so erhaltene  $\epsilon$ -Eisenoxidpulver wurde einer Elementanalyse unter Verwendung eines RF-induktiv gekoppelten Plasmaspektrometers (ICP-Spektrometers) Agilent 7700x (hergestellt von Agilent Technologies) unterzogen. Das Ergebnis der Elementanalyse zeigte, dass Ga : Ti : Co : Fe = 0,23 : 0,05 : 0,05 : 1,67 betrug. Das heißt, das so erhaltene  $\epsilon$ -Eisenoxidpulver erwies sich als Pulver von  $\epsilon$ -Ga<sub>0,23</sub>Ti<sub>0,05</sub>Co<sub>0,05</sub>Fe<sub>1,67</sub>O<sub>3</sub>-Partikeln (nachstehend als „GTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikel“ bezeichnet).

**[0125]** Mittels eines Transmissionselektronenmikroskops JEM2000EX (hergestellt von JEOL Ltd.) wurde eine 1.000.000x-Fotografie des so erhaltenen  $\epsilon$ -Eisenoxidpulvers aufgenommen, um die Form der jeweiligen Partikel zu betrachten. Als Ergebnis wurde bestätigt, dass die Partikel eine sphärische Form aufwiesen. Außerdem wurden auf Basis dieser Fotografie die längste Achsengröße und die kürzeste Achsengröße von jeweiligen Partikeln des  $\epsilon$ -Eisenoxidpulvers gemessen und ihr Durchschnitt berechnet, um eine Partikelgröße

zu bestimmen. Der Durchschnitt der Partikelgrößen (d.h. die mittlere Partikelgröße) von wenigstens 100 unabhängigen Partikeln des  $\epsilon$ -Eisenoxidpulvers betrug ungefähr 30 nm.

## 2. Die Synthese der schwarzen Titanoxidpartikel 22

**[0126]** Als Pulver der schwarzen Titanoxidpartikel 22 wurde ein auf die folgende Weise synthetisiertes schwarzes Titanoxidpulver verwendet.

**[0127]** Ein Pulver von  $\text{TiO}_2$ -Partikeln (mit einer mittleren Partikelgröße von 7 nm und einer Anatas-Kristallstruktur) wurde in einer Wasserstoffatmosphäre gebrannt, um ein Aggregat zu erhalten. Die Fließgeschwindigkeit des Wasserstoffgases betrug 0,3 l/min. Die Brenntemperatur betrug 1000 °C und wurde für 5 Stunden beibehalten. Auf diese Weise wurde ein schwarzes Titanoxidpulver erhalten.

**[0128]** Ein Röntgenbeugungsmuster (XRD-Muster) des so erhaltenen schwarzen Titanoxidpulvers wurde analysiert. Das Ergebnis der Analyse zeigte aus den auftretenden Spitzen, dass in dem so erhaltenen schwarzen Titanoxidpulver 99 %  $\text{Ti}_4\text{O}_7$  und 1 %  $\text{Ti}_3\text{O}_5$  erzeugt worden waren. Das schwarze Titanoxidpulver wurde als  $\text{Ti}_4\text{O}_7$ -Pulver (das einen imaginären Teil mit einer niedrigen dielektrischen Konstanten darstellte) angesehen.

## 3. Die Anfertigung der Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen

**[0129]** Durch Mischen des Pulvers der MTC-substituierten  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Partikel 21 und des Pulvers der schwarzen Titanoxidpartikel (entweder der schwarzen Titanoxidpartikel 22 oder der schwarzen Titanoxidpartikel 31 mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten), die wie oben beschrieben synthetisiert worden waren, der leitfähigen Füllmaterialpartikel und des Harzes in den Verhältnissen, die in der folgenden Tabelle 1 für die Beispiele 1, 2 und 3 und die Vergleichsbeispiele 1 und 2 angegeben sind, wurden Zusammensetzungen für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen erhalten.

- Pulver der schwarzen Titanoxidpartikel

- $\text{Ti}_3\text{O}_5$ : Produktbezeichnung ENETIA-301, hergestellt von der Nippon Denko Co., Ltd.;
- $\text{Ti}_4\text{O}_7$  (mit einem imaginären Teil mit einer niedrigen dielektrischen Konstanten): schwarze Titanoxidpartikel, die durch das oben beschriebene Syntheseverfahren erhalten wurden; und
- $\text{Ti}_4\text{O}_7$  (mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten):

Produktbezeichnung ENETIA-401, hergestellt von der Sakai Chemical Industries Co., Ltd.

- Leitfähige Füllmaterialpartikel

- Ruß: Produktbezeichnung #3400B, hergestellt von der Mitsubishi Chemical Corporation.

- Harz

- Acrylharz: Esteracrylatpolymer, Produktbezeichnung Teisan Resin, hergestellt von der Nagase Chem-teX Corporation.

## 4. Die Bildung der Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen

**[0130]** Zuerst wurde die wie oben beschrieben angefertigte Zusammensetzung für den Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen in einer Dicke von 40  $\mu\text{m}$  auf einen PET-Film aufgebracht und fünf Minuten lang bei 130 °C getrocknet, um das Lösemittel zu beseitigen und dadurch einen Bogen mit einer Dicke von gleich oder größer als 100  $\mu\text{m}$  und gleich oder geringer als 140  $\mu\text{m}$  zu erhalten. Zwei so gebildete Bögen wurden aufeinander gestapelt und unter den beiden Bögen ein Bogen einer Kupferfolie mit einer Dicke von 18  $\mu\text{m}$  angeordnet. Dann wurde der so gebildete Stapel bei einem Druck von 1,0 MPa und bei 160 °C zehn Minuten lang zusammengepresst. Auf diese Weise wurden Folien zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, die die Beispiele 1, 2 und 3 und die Vergleichsbeispiele 1 und 2 repräsentierten, gebildet.

<Die Messung der physikalischen Eigenschaften>

[Die Messung der relativen dielektrischen Konstanten]

**[0131]** Die relativen dielektrischen Konstanten des MTC-substituierten  $\epsilon$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , des schwarzen Titanoxids und des Rußes wurden durch das folgende Verfahren gemessen.

**[0132]** Drei Versuchsstücke, die jeweils Abmessungen von 60 mm × 60 mm aufwiesen, wurden aus drei Bögen geschnitten, in denen entweder MTC-substituiertes  $\varepsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oder schwarzes Titanoxid und ein Harz jeweils in Volumenverhältnissen von 0 : 100, 20 : 80 und 30 : 70 vermischt waren. Vier weitere Versuchsstücke, die jeweils Abmessungen von 60 × 60 mm aufweisen, wurden aus vier Bögen, in denen der Ruß und das Harz jeweils in Volumenverhältnissen von 0 : 100, 2 : 98, 5 : 95 und 6 : 94 vermischt waren, geschnitten.

**[0133]** Diese Versuchsstücke wurden zwischen Port 1 und Port 2 eines Vektornetzwerkanalysators senkrecht aufgestellt und durch das Freiraum-Verfahren eine Messung ihrer relativen dielektrischen Konstanten ( $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ ) vorgenommen. Auf diese Weise wurden die relativen dielektrischen Konstanten in Bezug auf die relativen Beladungen dieser Materialien (d.h., die jeweiligen Volumenprozentsätze dieser Arten von Partikeln in Bezug auf das Harz) gemessen. In diesem Fall wurde ein Acrylharz (Esteracrylatpolymer, Produktbezeichnung Teisan Resin, hergestellt von der Nagase ChemteX Corporation) als das Harz verwendet. Die relativen dielektrischen Konstanten, die bei den jeweiligen Beladungen dieser Materialien gemessen wurden, sind in der folgenden Tabelle 1 gezeigt.

<Die Bewertung>

[Die Messung der dielektrischen Konstanten des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen]

**[0134]** Aus den jeweiligen Bögen, an denen der wie oben beschrieben gebildete Bogen der Kupferfolie noch nicht angebracht worden war, wurden Versuchsstücke, die jeweils Abmessungen von 60 mm × 60 mm aufwiesen, geschnitten. Diese Versuchsstücke wurden senkrecht zwischen Port 1 und Port 2 eines Vektornetzwerkanalysators senkrecht aufgestellt und die relativen dielektrischen Konstanten ( $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ ) der jeweiligen Filme zur Absorption elektromagnetischer Wellen bei 79 GHz durch das Freiraum-Verfahren gemessen.

[Die Messung der Rückflusddämpfung bei einem Einfallswinkel von 0 Grad]

**[0135]** Die wie oben beschrieben gebildeten Folien zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen wurden zwischen Port 1 und Port 2 eines Vektornetzwerkanalysators senkrecht aufgestellt und ihre Rückflusddämpfungen (dB) durch das Freiraum-Verfahren bei einer Frequenz (GHz), die einer Absorptionsspitze entsprach, und bei einem Einfallswinkel von 0 Grad gemessen.

[Die Abhängigkeit der Rückflusddämpfung von dem Einfallswinkel der elektromagnetischen Wellen]

**[0136]** Um die Breite des Einfallswinkelbereichs der elektromagnetischen Wellen, in dem eine hohe Rückflusddämpfung erzielbar war, zu bewerten, wurden die Rückflusddämpfungen mittels der folgenden Vorgangsweise durch das Ellipsometrie-Verfahren bei jeweiligen Einfallswinkeln der elektromagnetischen Wellen gemessen. Im Besonderen wurde jede der wie oben beschrieben gebildeten Folien zum Absorbieren von elektromagnetischen Wellen im Inneren eines Dunkelraums für elektromagnetische Wellen senkrecht aufgestellt. Eine von einem Sender ausgestrahlte elektromagnetische Welle wurde auf die Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen einfallen gelassen und die reflektierte Welle durch einen Detektor erfasst. Der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel wurden auf den gleichen Winkel eingerichtet. Die Rückflusddämpfungen wurden jeweils bei Einfallswinkeln der elektromagnetischen Wellen von 5, 10 und 20 Grad in einem Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz gemessen. Auf Basis der so erhaltenen Ergebnisse wurden die jeweiligen Folien zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen wie folgt klassifiziert:

Klasse A: wenn die Rückflusddämpfung über den gesamten Frequenzbereich von 76 GHz bis 1 GHz gleich oder größer als 15 dB war; oder

Klasse B: wenn die Rückflusddämpfung bei einigen Frequenzen, die in den Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz fallen, geringer als 15 dB war.

[Tabelle 1]

|                                                                                          |                                                     | Art                                                                                            | relative dielektrische Konstante |             | Beisp.<br>1 | Beisp.<br>2 | Beisp.<br>3 | Vergl.<br>1 | Vergl. 2      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Zusammensetzung des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen (Volumenteile)       | MTC-substituiertes ε-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | GaTiCo-substituiertes ε-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                         | 20 Vol.-%                        | 4,11-0,14i  | 23,5        | 20,0        | 23,5        | 10,0        | 15,0          |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | 30 Vol.-%                        | 4,86-0,16i  |             |             |             |             |               |
|                                                                                          | schwarzes Titanoxid                                 | Ti <sub>3</sub> O <sub>5</sub>                                                                 | 20 Vol.-%                        | 6,23-0,49i  | 15,0        |             |             |             |               |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | 30 Vol.-%                        | 10,41-1,31i |             |             |             |             |               |
|                                                                                          |                                                     | Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (imaginärer Teil mit einer niedrigen dielektrischen Konstanten) | 20 Vol.-%                        | 6,16-0,59i  |             | 18,0        |             | 30,0        | 20,0          |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | 30 Vol.-%                        | 8,90-1,90i  |             |             |             |             |               |
|                                                                                          |                                                     | Ti <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (imaginärer Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten)     | 20 Vol.-%                        | 10,67-1,07i |             |             | 19,0        |             |               |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | 30 Vol.-%                        | 22,83-4,51i |             |             |             |             |               |
|                                                                                          | leitfähiges Füllmaterial                            | Ruß                                                                                            | 5,0 Vol.-%                       | 4,00-1,76i  | 7,0         | 4,5         | 0,0         | 0,0         | 12,0          |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | 6,0 Vol.-%                       | 4,22-2,09i  |             |             |             |             |               |
| Harz                                                                                     | Acrylharz                                           |                                                                                                |                                  | 54,5        | 57,5        | 57,5        | 60,0        | 53,0        |               |
| gesamt                                                                                   |                                                     |                                                                                                |                                  |             | 100,0       | 100,0       | 100,0       | 100,0       |               |
| Dicke (µm) des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen                           |                                                     |                                                                                                |                                  |             |             |             |             |             |               |
| dielektrische Konstante des Films zur Absorption elektromagnetischer Wellen              | Freiraum-Verfahren                                  | 79 GHz                                                                                         | ε'                               |             | 25          | 22          | 20          | 15          | nicht formbar |
|                                                                                          |                                                     | 79 GHz                                                                                         | ε''                              |             | 4           | 4           | 5           | 2           |               |
| Rückflussdämpfung bei einem Einfallswinkel von 0 °                                       | Freiraum-Verfahren                                  | Spitze der Absorption (GHz)                                                                    |                                  | 79          | 79          | 79          | 79          | 79          |               |
|                                                                                          |                                                     | Rückflussdämpfung (dB)                                                                         |                                  | 19          | 22          | 27          | 12          | 12          |               |
| Abhängigkeit der Rückflussdämpfung von dem Einfallswinkel der elektromagnetischen Wellen | Ellipsometrie-Verfahren                             | ≤ -15 dB über den Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz                                        | Einfallswinkel: 5 °              |             | A           | A           | A           | B           |               |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | Einfallswinkel: 10 °             |             | A           | A           | A           | B           |               |
|                                                                                          |                                                     |                                                                                                | Einfallswinkel: 20 °             |             | A           | A           | A           | B           |               |

## Bezugszeichenliste

|        |                                                                                                 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1, 2   | Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen                                                |
| 10     | metallische Basis                                                                               |
| 20, 30 | Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen                                                  |
| 21     | MTC-substituiertes $\epsilon$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Partikel                          |
| 22     | schwarzes Titanoxidpartikel                                                                     |
| 23     | leitfähiges Füllmaterialpartikel                                                                |
| 24     | Harz                                                                                            |
| 31     | schwarzes Titanoxidpartikel mit einem imaginären Teil mit einer hohen dielektrischen Konstanten |
| 100    | Millimeterwellenradarvorrichtung                                                                |
| 110    | Substrat                                                                                        |
| 120    | Sendeantenne                                                                                    |
| 130    | Empfangsantenne                                                                                 |
| 140    | Schaltung                                                                                       |
| 150    | Radom                                                                                           |
| 200    | gesendete Welle                                                                                 |
| 210    | reflektierte Welle                                                                              |
| 300    | empfangene Welle                                                                                |

## **ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### **Zitierte Patentliteratur**

- JP 2016111341 A [0006]
- JP 2019012799 A [0006]
- WO 2018124131 A1 [0006]
- WO 2008149785 A1 [0006]

### **Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Esteracrylatpolymer, Produktbezeichnung Teisan Resin, hergestellt von der Nagase ChemteX Corporation [0133]

**Patentansprüche**

1. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, aufweisend  
eine metallische Basis, und  
einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen,  
wobei der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen  
MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
schwarzes Titanoxid,  
ein leitfähiges Füllmaterial, und  
ein Harz,  
enthält, wobei das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ein Kristall ist, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält,  
wobei das Verhältnis des leitfähigen Füllmaterials zu dem Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen gleich oder größer als 0,1 Vol.-% und gleich oder geringer als 10 Vol.-% ist.
2. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen, aufweisend  
eine metallische Basis, und  
einen auf der metallischen Basis gebildeten Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen,  
wobei der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen  
MTC-substituiertes  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
schwarzes Titanoxid, und  
ein Harz  
enthält, wobei das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ein Kristall ist, der zu der gleichen Raumgruppe wie ein  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Kristall gehört und Ti, Co, Fe und wenigstens ein Element, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, enthält,  
wobei ein imaginärer Teil einer relativen dielektrischen Konstanten des schwarzen Titanoxids gleich oder größer als 2,0 ist, wenn das schwarze Titanoxid 30 Vol.-% des Harzes ausmacht.
3. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen über einen Frequenzbereich von 76 GHz bis 81 GHz einen Bereich aufweist, in dem ein Einfallswinkel der elektromagnetischen Wellen, der eine Rückflusdämpfung von gleich oder größer als 15 dB verursacht, gleich oder größer als 0 Grad und gleich oder geringer als 20 Grad ist,
4. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Film zur Absorption elektromagnetischer Wellen eine Dicke von gleich oder größer als 0,1 mm und gleich oder geringer als 0,5 mm aufweist.
5. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das MTC-substituierte  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durch  $\epsilon$ -M<sub>x</sub>Ti<sub>y</sub>Co<sub>y</sub>Fe<sub>2-2y-x</sub>O<sub>3</sub> ausgedrückt ist, wobei M wenigstens ein Element ist, das aus der Gruppe, die aus Ga, In, Al und Rh besteht, gewählt ist, und  $0 < x < 1$ ,  $0 < y < 1$  und  $x + 2y < 2$  gilt
6. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das schwarze Titanoxid wenigstens eine Verbindung enthält, die aus der Gruppe, die aus Ti<sub>4</sub>O<sub>7</sub> und  $\lambda$ -Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub> besteht, gewählt ist.
7. Folie zum Absorbieren elektromagnetischer Wellen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Harz wenigstens ein Harz enthält, das aus der Gruppe, die aus Silikonharzen, Acrylharzen und Epoxidharzen besteht, gewählt ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

**FIG. 1 A**

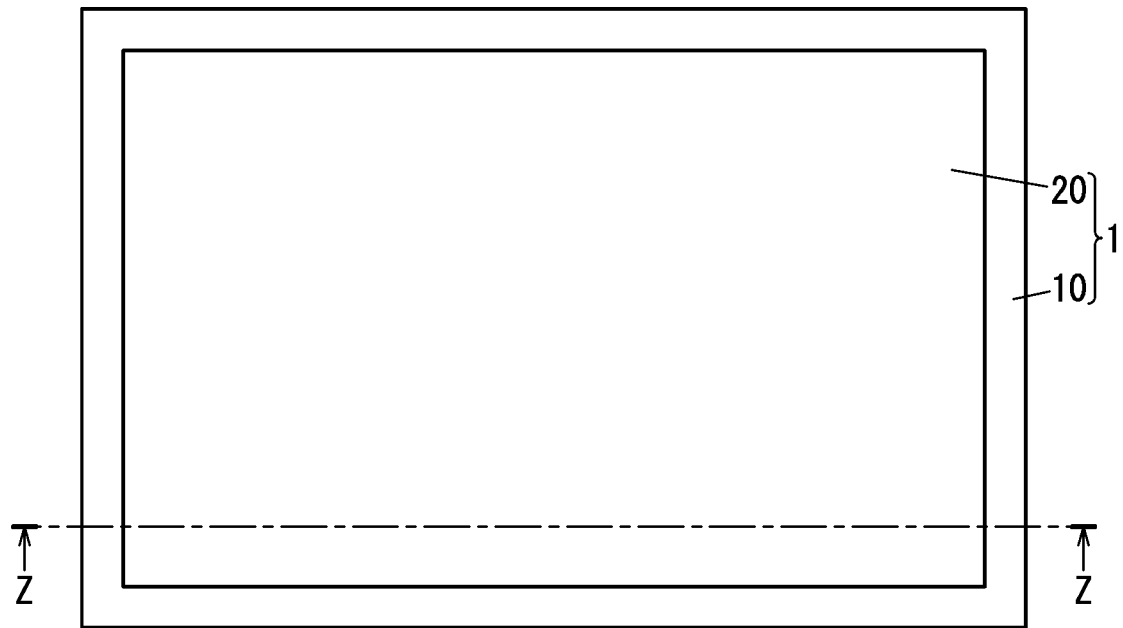


**FIG. 1 B**

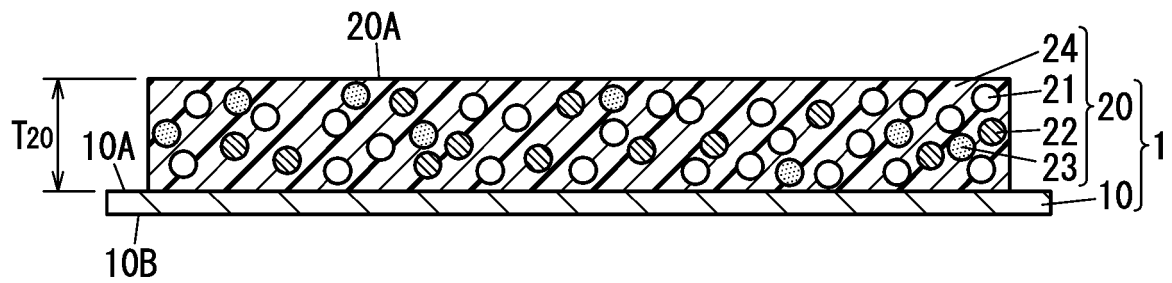


**FIG. 2**

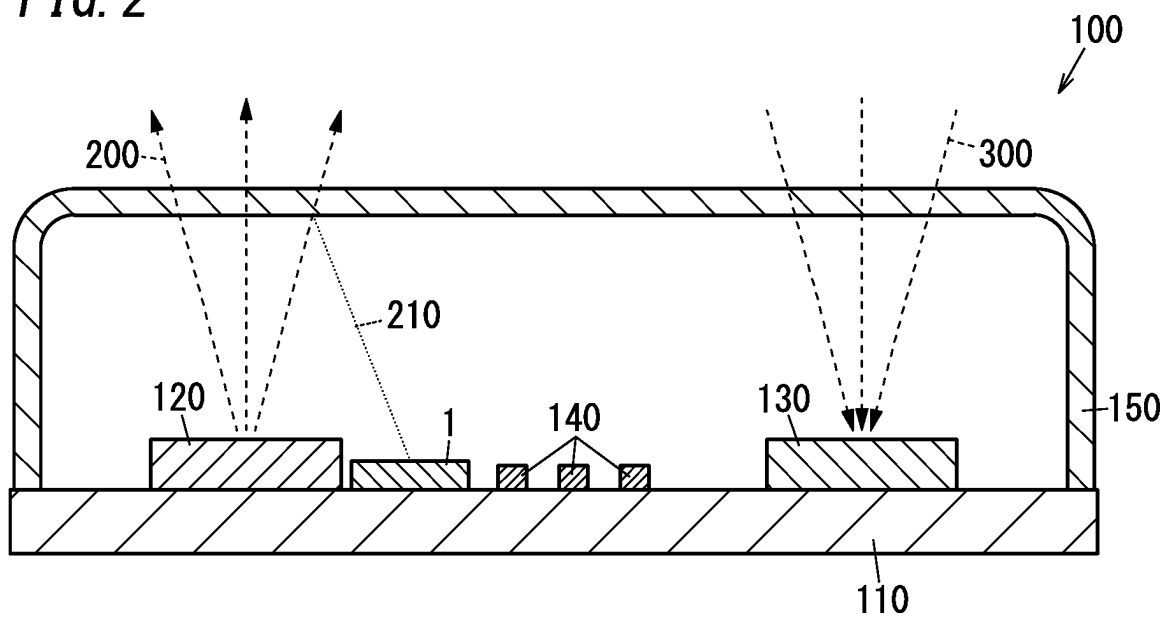


**FIG. 3A**

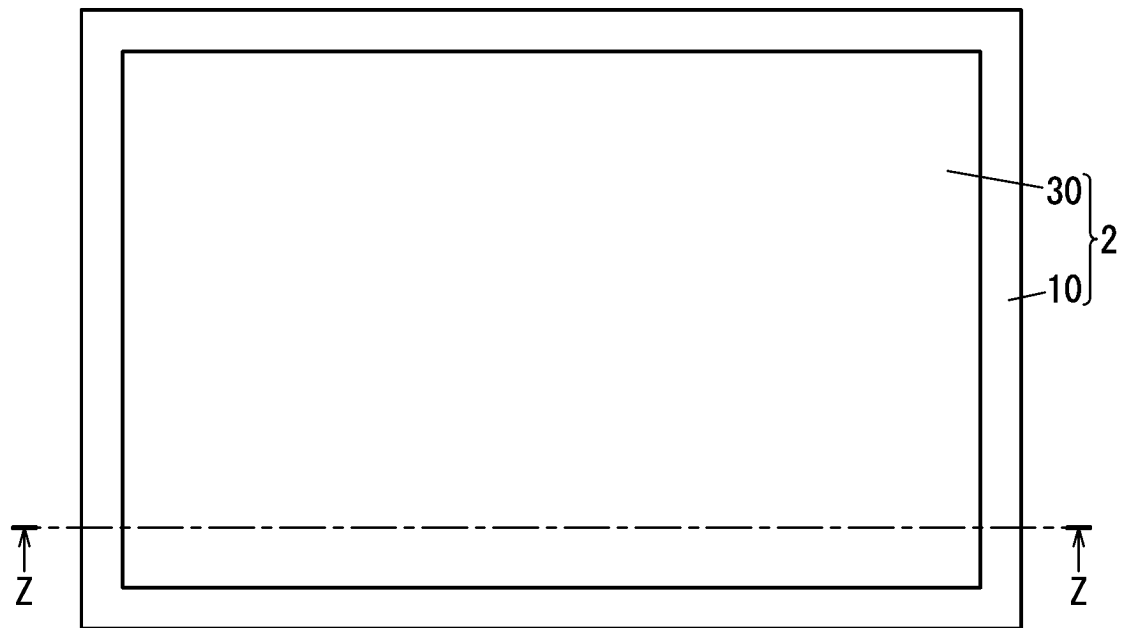


**FIG. 3B**

