



österreichisches  
patentamt

(10) **AT 503 306 B1** 2007-09-15

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 114/2006

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **H01L 29/786** (2006.01)  
**H01L 29/51** (2006.01)

(22) Anmeldetag: 2006-01-26

(43) Veröffentlicht am: 2007-09-15

(56) Entgegenhaltungen:

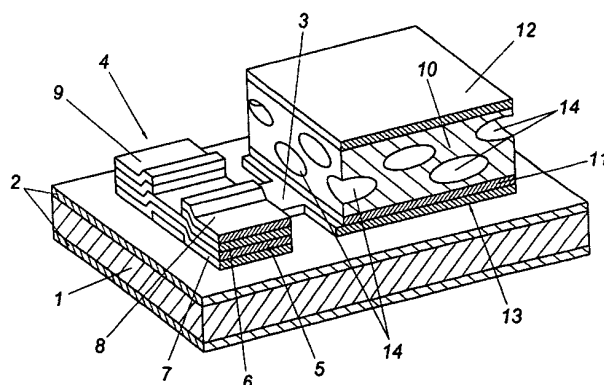
DE 3823901A US 2005/0020002A  
LINDNER, M. ET AL. "CHARGED  
CELLULAR POLYMERS WITH  
"FERROELECTRIC" BEHAVIOR", IEEE  
TRANSACTIONS ON DIELECTRICS  
AND ELECTRICAL INSULATION;  
APRIL 2004, VOL. 11, NR. 2,  
SEITEN 255-263 GELINCK G.H. ET AL  
"ALL POLYMER FERROELECTRIC  
TRANSISTORS"; APPLIED PHYSICS  
LETTERS, 2005, VOL. 87,  
SEITEN 092903-1 - 092903-3

(73) Patentanmelder:

UNIVERSITÄT LINZ  
A-4040 LINZ (AT)

### (54) FERROISCHES BAUELEMENT

(57) Es wird ein ferroisches Bauelement mit einer zwischen zwei Elektroden (12, 13) angeordneten ferroischen Schicht (10), mit einem Dünnschichtfeldeffekttransistor (4), dessen Gate-Elektrode (3) eine der beiden Elektroden (12, 13) der ferroischen Schicht (10) bildet, die mit der Gate-Elektrode (3) über eine dielektrische Zwischenschicht (11) als Haftvermittler verbunden ist, und mit einem als Träger dienenden Substrat beschrieben. Um ein biegeeweiches Bauelement zu erhalten, wird vorgeschlagen, daß auf dem als biegeeweiche Kunststoffolie (1) ausgebildeten Substrat gegebenenfalls unter Zwischenlage einer Isolierschicht (2) einerseits der Dünnschichtfeldeffekttransistor (4) und andererseits die aus einem intern geladenen zellulären Polymer bestehende ferroische Schicht (10) aufgetragen sind.



AT 503 306 B1 2007-09-15

DVR 0078018

Die Erfindung bezieht sich auf ein ferroisches Bauelement mit einer zwischen zwei Elektroden angeordneten ferroischen Schicht, mit einem Dünnschichtfeldeffekttransistor, dessen Gate-Elektrode eine der beiden Elektroden der ferroischen Schicht bildet, die mit der Gate-Elektrode über eine dielektrische Zwischenschicht als Haftvermittler verbunden ist.

5 Unter Ferroika werden Materialien verstanden, deren Symmetrie durch Temperatur oder Druck verändert werden kann, wie dies z. B. bei ferroelektrischen und/oder ferromagnetischen Bauelementen der Fall ist. Ferroische Bauelemente weisen somit ferromagnetische, ferroelektrische oder gekoppelte ferromagnetisch-ferroelektrische Funktionen auf. So ist es beispielsweise bei  
10 einem als Druck- oder Temperatursensor einsetzbaren, ferroelektrischen Bauelement bekannt (DE 38 23 901 C2), eine ferroelektrische Schicht, beispielsweise eine Folie aus Polyvinylidenfluorid, mit Hilfe einer thermoplastischen Zwischenschicht, vorzugsweise aus Polyisobutylen, auf einem Halbleitersubstrat aufzubringen, das zur Bildung eines Feldeffekttransistors auf der der ferroelektrischen Schicht zugewandten Seite mit den Source- und Drain-Elektroden sowie  
15 mit einer Gate-Elektrode versehen wird. Da die ferroelektrische Schicht über die dielektrische Zwischenschicht aus einem thermoplastischen Kunststoff auf der Gate-Elektrode aufgebracht ist, bildet die Gate-Elektrode eine von zwei Elektroden, zwischen denen sich die ferroelektrische Schicht befindet. Damit ist nicht nur eine entsprechende Polarisierung der ferroelektrischen Schicht, sondern auch eine Ansteuerung des Feldeffekttransistors aufgrund der piezo- bzw.  
20 pyroelektrischen Wirkungen der ferroelektrischen Schicht möglich, die ja über die dielektrische Zwischenschicht mit der Gate-Elektrode kapazitiv gekoppelt ist. Der Aufbau dieser ferroelektrischen Bauelemente setzt allerdings ein die ferroelektrische Schicht tragendes Halbleitersubstrat des Feldeffekttransistors voraus, was die Anwendung solcher Bauelemente auf im wesentlichen  
25 starre Konstruktionen beschränkt, selbst wenn von biegeweichen ferroelektrischen Schichten ausgegangen wird. Biegeweichere Schichten mit quasiferroelektrischen Eigenschaften ergeben sich, wenn zelluläre Polymere durch Mikroplasmaentladungen dauerhaft intern aufgeladen werden (Lindner, M. et al. „Charged cellular polymers with „ferroelectric“ behavior“, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation; April 2004, Vol. 11, Nr. 2, Seiten 255-263). Für  
30 eine solche Aufladung eignen sich insbesondere geschäumte, unpolare Polymere, die hervorragende Isolatoren sind. Voraussetzung für eine interne Ladung ist eine Ionisierung des Gases in den zellenartigen Hohlräumen, so daß freie Ladungsträger in Form von Elektronen und Ionen vorhanden sind, die beim Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes nach ihrer Polarität getrennt werden und sich als Ladungsschichten an den Wänden der Hohlräume anlagern. Durch  
35 eine gegensinnige Polung des äußeren elektrischen Feldes können auch die Ladungsschichten umgepolt werden, so daß sich diesbezüglich ferroelektrischen Eigenschaften vergleichbare Verhältnisse ergeben. Es können aber auch piezoelektrische Wirkungen festgestellt werden, und zwar aufgrund der unterschiedlichen elastischen Eigenschaften des Gases in den Hohlräumen des zellulären Polymers und des Polymers selbst. Dabei ergeben sich in vorteilhafter  
40 Weise sehr geringe dynamische piezoelektrische Koeffizienten  $d_{31}$  von beispielsweise 2 pC/N und einen großen piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  von beispielsweise 250 pC/N, so daß die durch Scherkräfte bedingten elektrischen Spannungen vielfach vernachlässigt werden können und die zu messenden Druckbelastungen mit einer vergleichsweise hohen Auflösung in elektrischen Spannungen umgesetzt werden können. Da zelluläre Polymere biegeweichere Schichten  
45 ergeben, stellen sie eine vorteilhafte Voraussetzung beispielsweise für biegeweichere druckempfindliche Sensoren dar. Allerdings ist der bekannte Aufbau ferroelektrischer Bauelemente ungeeignet, die Biegeweichheit von Schichten aus zellulären Polymeren für die biegeweichere Ausbildung solcher Bauelemente zu nützen.

Schließlich ist es bekannt (US 2005/0020002 A1), auf einem biegsamen Substrat aus Kunststoff Feldeffekttransistoren zum Schalten von ebenfalls auf dem Substrat angeordneten Flüssigkristallen aufzubringen. Als Transistoren können zu diesem Zweck auch ferroelektrische Feldeffekttransistoren eingesetzt werden (Gelinck G.H. et al. „All polymer ferroelectric transistors“, Applied Physics Letters, 2005, Vol. 87, Seiten 092903-1 - 092903-3). Dieser Stand der Technik betrifft jedoch nur biegsame Anzeigeeinrichtungen.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein ferroisches Bauelement der eingangs geschilderten Art so auszubilden, daß es aufgrund seiner Flexibilität einem Einsatzgebiet zugänglich gemacht werden kann, das biegeeweiche Sensorelemente voraussetzt.

5 Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, daß auf dem als biegeeweiche Kunststoffolie ausgebildeten Substrat gegebenenfalls unter Zwischenlage einer Isolierschicht einerseits der Dünnschichtfeldeffekttransistor und andererseits die aus einem intern geladenen zellulären Polymer bestehende ferroische Schicht aufgetragen sind.

10 Da zufolge dieser Maßnahme die Halbleiterschicht des Dünnschichtfeldeffekttransistors nicht als Trägersubstrat für die ferroische Schicht zu dienen braucht, sondern hierfür eine gesonderte, biegeeweiche Folie zum Einsatz kommt, auf der einerseits die ferroische Schicht und andererseits der mit der ferroischen Schicht verbundene Feldeffekttransistor aufgebracht sind, sind alle Voraussetzungen für ein biegeeweiches ferroisches Bauelement erfüllt, wenn die ferroische  
15 Schicht selbst eine entsprechende Flexibilität aufweist, wie dies beim Einsatz von intern aufgeladenen zellulären Polymeren der Fall ist. Mit dem Aufbringen der Halbleiterschicht des Dünnschichtfeldeffekttransistors auf ein Trägersubstrat kann ja auch für diese Halbleiterschicht eine für das geforderte Biegeverhalten ausreichend geringe Schichtdicke sichergestellt werden. Ein erfindungsgemäßes ferroisches Bauelement kann somit in Form einer biegeweichen beschichteten Folie in unterschiedlichen Anwendungsfällen als Schaltelement, als Drucksensor, als  
20 Mikrophon od. dgl. eingesetzt werden.

Besonders einfache Konstruktionsbedingungen ergeben sich, wenn der Dünnschichtfeldeffekttransistor mit der Gate-Elektrode auf der dem Substrat zugewandten und mit den Source- und Drain-Elektroden auf der vom Substrat abgewandten Seite aufgebracht ist. Bei einer solchen  
25 Konstruktion kann zunächst die Gate-Elektrode auf das Trägersubstrat aufgebracht werden, was die kapazitive Ankoppelung der ferroischen Schicht an die Gate-Elektrode über eine dielektrische Zwischenschicht erheblich vereinfacht. In ähnlich vorteilhafter Weise können auch die Anschlußverbindungen der Source- und Drain-Elektroden hergestellt werden, die sich ja auf der der Gate-Elektrode gegenüberliegenden Seite der Halbleiterschicht des Dünnschichtfeldeffekttransistors befinden.  
30

In der Zeichnung wird der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt, und zwar wird ein erfindungsgemäßes ferroisches Bauelement in einem schematischen Schaubild vereinfacht  
35 dargestellt.

Das dargestellte ferroische Bauelement weist eine 50 µm dicke, biegeeweiche Kunststoffolie 1 aus einem thermostabilen Polyimid, beispielsweise einem Poly-(diphenyloxid-pyromellithimid) auf, die trotz ihrer elektrisch isolierenden Eigenschaften beidseits mit einer Siliziumnitridschicht 2 in einer Dicke von 300 nm abgedeckt ist. Auf diese beidseits zusätzlich isolierte Kunststoffolie 1 ist eine 100/10 nm dicke Aluminium/Chrom-Schicht als Gate-Elektrode 3 eines Dünnschichtfeldeffekttransistors 4 aufgebracht, dessen Halbleiterschicht sich aus einer Lage 5 einer undotierten, amorphen, wasserstoffhaltigen Siliziumschicht mit einer Dicke von 150 nm und einer Lage 6 aus einer n<sup>+</sup>-dotierten, amorphen, wasserstoffhaltigen Siliziumschicht mit einer Dicke  
45 von 50 nm zusammensetzt. Eine 290 nm dicke Siliziumnitridschicht ist als dielektrische Schicht 7 zwischen der Gate-Elektrode 3 und der Halbleiterschicht 5, 6 vorgesehen. Die Source-Elektrode 8 und die Drain-Elektrode 9 bestehen je aus einer dreilagigen Schicht aus Chrom/Aluminium/Chrom mit einer Dicke von 10/100/10 nm, wobei sich Kanalabmessungen für den Dünnschichtfeldeffekttransistor von ca. 40 x 370 µm ergeben. Technologisch vergleichbare Lösungen können durch die Verwendung anderer Dünnschichttransistortechniken, z. B. auf der Basis  
50 organischer Halbleiter, erhalten werden.

Die ferroische Schicht 10 aus einem intern geladenen zellulären Polymer wird über eine dielektrische Zwischenschicht 11 auf die Gate-Elektrode 3 aufgebracht. Diese dielektrische Zwischenschicht 11 dient einerseits als Haftvermittler und andererseits zur kapazitiven Ankopplung  
55

der ferroischen Schicht 10 an die Gate-Elektrode 3 des Dünnschichtfeldeffekttransistors 4. Die Gate-Elektrode 3 bildet außerdem die eine von zwei Elektroden 12, 13, zwischen denen die ferroische Schicht 10 zur Polarisierung bzw. zur Umpolarisierung einem elektrischen Gleichfeld ausgesetzt werden kann. Aufgrund eines solchen elektrischen Feldes werden die in den schematisch angedeuteten Hohlräumen 14 vorhandenen freien Ladungsträger voneinander getrennt und lagern sich auf den einander gegenüberliegenden Innenflächen der Hohlräume 14 an, was die quasiferroelektrischen Eigenschaften begründet. Die Elastizität der Gase in den Hohlräumen 14 und des Polymers der ferroischen Schicht 10 bedingen im Zusammenwirken mit den voneinander getrennten Ladungsträgern einen piezoelektrischen Effekt, so daß sich Feldstärkeänderungen aufgrund einer Druckbelastung der ferroischen Schicht 10 über den Dünnschichtfeldeffekttransistor 4 feinfühlig in elektrische Signale umsetzen lassen. Die biegeeweiche Kunststoffolie 1 als tragendes Substrat erlaubt zusammen mit der biegeweichen ferroischen Schicht 10 ein flexibles Bauelement, zumal der auf der Kunststoffolie 1 aufgebrachte Dünnschichtfeldeffekttransistor 4 keine tragende Funktion für die ferroische Schicht 10 übernehmen muß. Die Anordnung der Gate-Elektrode 3 auf der der Kunststoffolie 1 zugekehrten Seite der Halbleiterschicht 5, 6 und der Source- und der Drain-Elektrode 8, 9 auf der gegenüberliegenden Seite davon stellt außerdem einen bezüglich der Herstellung vorteilhaften Aufbau des ferroischen Bauelementes sicher, und zwar auch im Hinblick auf die geforderte Biegeweichheit des gesamten Bauelementes, weil die bei einer Biegebelastung auftretenden mechanischen Kräfte vergleichsweise klein gehalten werden können.

### Patentansprüche:

1. Ferroisches Bauelement mit einer zwischen zwei Elektroden angeordneten ferroischen Schicht, mit einem Dünnschichtfeldeffekttransistor, dessen Gate-Elektrode eine der beiden Elektroden der ferroischen Schicht bildet, die mit der Gate-Elektrode über eine dielektrische Zwischenschicht als Haftvermittler verbunden ist, und mit einem als Träger dienenden Substrat, *dadurch gekennzeichnet*, daß auf dem als biegeeweiche Kunststoffolie (1) ausgebildeten Substrat gegebenenfalls unter Zwischenlage einer Isolierschicht (2) einerseits der Dünnschichtfeldeffekttransistor (4) und andererseits die aus einem intern geladenen zellulären Polymer bestehende ferroische Schicht (10) aufgetragen sind.
2. Ferroisches Bauelement nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, daß der Dünnschichtfeldeffekttransistor (4) mit der Gate-Elektrode (3) auf der dem Substrat zugewandten und mit den Source- und Drain-Elektroden (8, 9) auf der vom Substrat abgewandten Seite aufgebracht ist.

### Hiezu 1 Blatt Zeichnungen



österreichisches  
patentamt

Blatt: 1

AT 503 306 B1 2007-09-15

Int. Cl.<sup>8</sup>:

H01L 29/786 (2006.01)  
H01L 29/51 (2006.01)

