

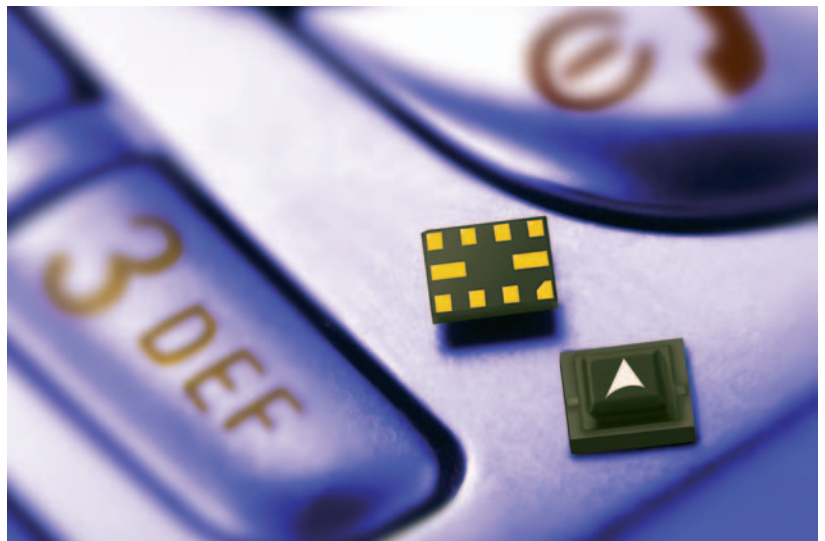
## Oberflächliche Winzlinge

*Handys und andere Vertreter der kabellosen Kommunikation vereinen immer mehr Funktionen auf immer kleinerem Raum. Das verdanken sie nicht zuletzt Bauteilen, welche akustische Oberflächenwellen verwenden. Diese entdeckte man zwar zuerst im ganz großen Maßstab, nämlich bei Erdbeben, aber sie erweisen sich auch als außerordentlich nützlich, wenn es darum geht, Signale möglichst platzsparend in einem elektronischen Gerät zu verarbeiten oder zu übertragen.*

Handys sind nicht allein zum Telefonieren da, mittlerweile lässt sich mit ihnen auch im Internet surfen, fotografieren, Radio hören und wahrscheinlich ist es nur eine Frage der Zeit, bis man mit ihnen auch noch bequem fernsehen kann. Trotz immer mehr Funktionen sollen Handys immer kleiner und leichter werden. Daher wachsen die Anforderungen an die Miniaturisierung der Bauteile enorm. Das kommerzielle Potenzial dieses Marktes ist momentan die größte Triebfeder für die Weiterentwicklung von elektronischen Bauteilen, die auf dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen (Surface Acoustic Waves, SAW) aufbauen. Vor allem als Frequenzfilter finden diese Bauteile Verwendung. Sie sind aber aufgrund ihres Funktionsprinzips auch für andere Zwecke geeignet. Ihren Ursprung haben die SAW allerdings in einem ganz anderen Bereich der Physik.

### Vom Beben zur Elektronik

Akustische Oberflächenwellen breiten sich an der Oberfläche eines Festkörpers mit Schallgeschwindigkeit aus. Im Gegensatz zur Dichtemodulation normaler Schallwellen fallen dabei aber die mechanische Auslenkung der Oberfläche und sämtliche anderen mit der Welle assoziierten Größen exponentiell über etwa eine Wellenlänge in den Festkörper hinein ab. Theoretisch beschrieben wurden die akustischen Oberflächenwellen zum ersten Mal



Frequenzfilter für Handys, welche auf so genannten akustischen Oberflächenwellenelementen (SAW) beruhen, werden immer winziger. Hier ist ein typischer

SAW-Frequenzfilter (Kantenlänge 2 mm) für ein modernes Dualband-Handy zu sehen. (Quelle: Epcos)

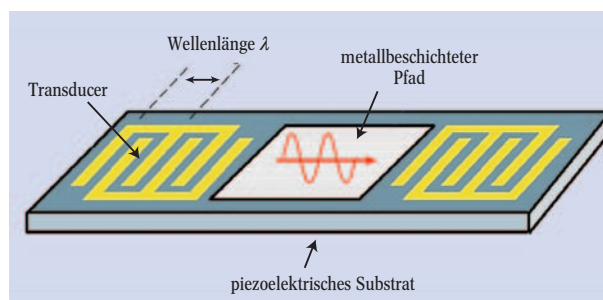
schon 1885 von Lord Rayleigh – im Rahmen einer Arbeit über Erdbeben. In diesem Bereich der Physik haben sie sehr schnell an Bedeutung gewonnen. Bevor sie aber in elektronischen Bauelementen auftauchen konnten, musste man zuerst noch einen Weg finden, die mechanischen Wellen in elektrische Signale umzuwandeln und umgekehrt. Das hierfür geeignete Prinzip, der piezoelektrische Effekt, war zwar schon vor den SAW bekannt, aber lange Zeit technisch nicht realisierbar. 1880 hatten Pierre und Jacques Curie diesen Effekt entdeckt, aber etablieren konnten sich piezoelektrische Elemente erst etwa hundert Jahre später, als schließlich im Rahmen der Mikroelektronik die Voraussetzungen für die Massenproduktion geschaffen worden waren.

Bei piezoelektrischen Kristallen gehen mechanische Deformationen des Kristallgitters mit der Erzeugung elektrischer Ladungen – und damit eines elektrischen Feldes – an ihrer Oberfläche einher. Bringt man photolithographisch eine geeignete metallische Struktur, im einfachsten Fall zwei ineinandergreifende Käme, auf ein piezoelektrisches Substrat (z. B. Lithiumniobat, Lithium-

tantalat oder sog. Piezokeramiken) auf und legt eine Wechselspannung an, dann kommt es zu einer zeitlich und räumlich periodischen Deformation an der Oberfläche des Substrats. Die Frequenz dieser Schwingungen wird durch die Wellenlänge, d. h. durch den Abstand zwischen den Zinken des Kamms im Schallwandler (Transducer), und die Schallgeschwindigkeit im Kristall (in dieser Richtung) bestimmt. Die Welle breitet sich entlang des Kristalls aus und wird typischerweise von einem zweiten Transducer mit identischer Struktur wieder in elektromagnetische Signale umgewandelt.

Diese Umwandlung der elektromagnetischen in akustische Oberflächenwellen hat verschiedene Aspekte. Die etwa 100000-mal geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit der SAW bedeutet, dass sich solche Bauelemente als Verzögerungsleitungen, z. B. für Koinzidenzschaltungen, eignen. Interessanter jedoch ist der mögliche Einfluss der akustischen Wegstrecke auf das übertragene Signal. Ähnlich wie sich Meereswellen anders verhalten, wenn ein dicker Ölfilm auf ihnen lastet, so ändern sich auch akustische Oberflächenwellen, genauer gesagt die Schallgeschwindigkeit im Substrat, wenn sich Materie anlagert. Damit ändert sich auch die Resonanzfrequenz, was Rückschlüsse auf Art und Menge des auf dem Sensor deponierten Materials erlaubt. SAW-Sensoren erreichen so Empfindlichkeiten beim Nachweis von Gasen bis in den ppb-Bereich bei Messzeiten unterhalb einer Sekunde. Wegen ihres geringen

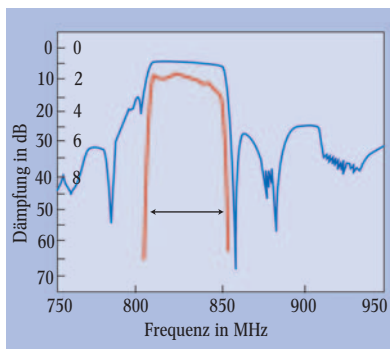
Bauelemente, die akustische Oberflächenwellen ausnutzen, beruhen darauf, dass sich mit kammförmigen Transducern (Schallwandlern) elektrische Signale in mechanische Wellen umwandeln lassen und umgekehrt. Die hier gezeigte Oberflächenwellen-Verzögerungsleitung (vgl. Text) lässt sich auch als hochempfindlicher Sensor nutzen.



Gewichts und Stromverbrauchs eignen sie sich z. B. auch für Flugzeug gestützte („airborne“) Messungen etwa von atmosphärischem  $\text{NO}_x$ , das für die Produktion von Ozon mit verantwortlich ist.

### Berührung mit Durchblick

SAW-Sensoren haben sich aber vor allem in PDAs, den tastaturlosen Handcomputern, bewährt: Hier macht man Eingaben inzwischen fast durchweg handschriftlich mit einem Stift auf Touchpanels<sup>1)</sup>. Also muss die druckempfindliche Schicht eine ausreichende Ortsauflösung besitzen, damit man auf ihr schreiben und auch zeichnen kann, aber sie soll gleichzeitig das Bild des darunter liegenden Displays nicht beeinträchtigen. Genau das ist nun der Schwachpunkt der bisher dominierenden „Resistive-Thin-Film-Touchpanels“. Diese Technik verwendet Indium-Zinn-Oxid-Keramiken, die in mehreren Schichten auf einem flexiblen Plastikfilm abgeschieden werden. Drückt ein Finger oder ein Stift auf diesen transparenten, leitenden Film, dann wird ein elektrischer Kontakt zu der darunter liegenden ebenfalls transparenten, leitenden Scheibe hergestellt. Über horizontale und vertikale Widerstandsmessungen lässt sich der Kontaktpunkt zwar sehr genau bestimmen, aber jede der Schichten reduziert die Transmission. So sind selbst mit vergüteten Schichten nur



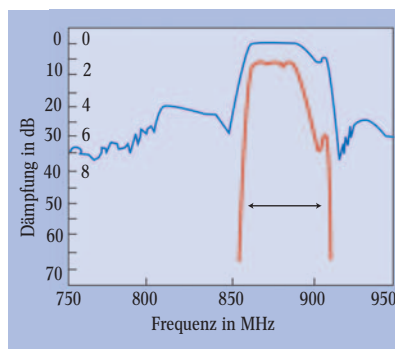
Akustische Oberflächenwellen-Bauelemente lassen sich als Frequenzfilter in Handys nutzen. Hier sieht man, wie ein SAW-Filter zwei verschiedene Frequenzbänder (rot, links: ca. 800–850 MHz, rechts: ca. 850–920 MHz) aus dem

Transmissionen von etwa 86 % zu erreichen. Touchpanels mit Transmissionen von 98 % lassen sich hingegen mit einlagigen SAW-Elementen erreichen. Dabei werden auf einem kleinen Rand rund um das Glassubstrat die Transducer angeordnet, die akustische Oberflächenwellen in verschiedenen Richtungen

über das gesamte aktive Touchpanel senden. Finger oder Stifte auf diesem Touchpanel verändern die Frequenz der vorbeilaufenden Wellen, sodass der Kontaktpunkt mit über 100 dpi Auflösung ermittelt werden kann. Entsprechend hoch sind aber die Anforderungen an die Ingenieurskünste wegen der dafür notwendigen Miniaturisierung der Sensoren und ihrer trickreichen Geometrie und Anordnung am Rand des Substrats.

### Platzsparend filtern

Viel wichtiger ist die Miniaturisierung aber für die verbreitetste und kommerziell wichtigste Anwendung der akustischen Oberflächenwellen, denn SAW-Bauelemente eignen sich hervorragend als Frequenzfilter im interessanten Bereich zwischen einigen MHz und GHz.<sup>2)</sup> Vom sendenden Transducer wird zwar der gesamte Frequenzbereich des Eingangssignals abgestrahlt, jedoch werden nur Frequenzen nahe der Resonanz des Elements tatsächlich als SAW zum empfangenden Transducer gelangen und dort wieder in ein elektronisches Signal umgewandelt werden. Je nach Substratmaterial und Geometrie der Transducer lassen sich so Filter realisieren, die klein und preiswert sind, aber gleichzeitig hohe Transmissionen in einem relativ scharf abgegrenzten Bereich um die gewünschte Resonanzfrequenz und



Gesamtspektrum (blau) herausfiltert. Die Außenskala der (nach unten ansteigenden) Signaldämpfung bezieht sich dabei auf die blauen, die Innenskala auf die roten Kurven. (Quelle: Murata)

gute Dämpfungen außerhalb dieses Bereichs erzielen.

Man findet solche SAW-Filter in Fernsehern, Radios und Transpondern – vor allem aber in Handys. Die mögliche Miniaturisierung dieser Filter (bis unter  $2 \times 2 \times 1$  mm) macht sie im mobilen Kommunikationssektor so interessant,

besonders bei den Dualband- und Tripleband-Handys, die auf verschiedenen Netzen und Frequenzen arbeiten müssen und entsprechend den doppelten oder dreifachen Platzbedarf für Filter haben. „Platz“ ist ein zentraler Aspekt beim Design von Handys, da die Digitalkameras, die hochwertigeren Lautsprecher, die größeren Displays und generell



Dieses Touchpanel, welches z. B. in PDAs eingesetzt wird, ist nur 0,7 Millimeter dick. Der Rahmen, in dem sich die SAW-Elemente befinden, ist nur 1,4 Millimeter breit. (Quelle: Fujitsu)

die mächtigere Elektronik für Web-Anwendungen, Infrarot, Bluetooth, GPS oder Ähnliches auch untergebracht werden wollen und das neueste Modell immer noch klein, leicht und elegant sein soll. Gleichzeitig sind aber auch die guten Filtereigenschaften nötig, um hohe Übertragungsqualitäten zu erreichen und die notwendigen Sendeleistungen zu reduzieren bzw. den Empfangsbereich zu vergrößern. Beides sind weitere wichtige Verkaufsargumente im nach wie vor hart umkämpften, milliardenschweren Markt.

Trotz der vielfältigen anderen Möglichkeiten werden Handys und kabellose Netzwerke die SAW-Anwendungen noch für lange Zeit dominieren. Ohne SAW-Bauteile wäre auf jeden Fall die Miniaturisierung in diesem Bereich in der heutigen Form kaum möglich gewesen – und Lord Rayleigh hat sich sicher nicht träumen lassen, als er seine Arbeit über Erdbeben schrieb, dass dies einmal zu Handys führen würde, die überall auf der Welt mit drei verschiedenen Frequenzbändern arbeiten können, eine Digitalkamera eingebaut haben und immer noch in die Hemdtasche passen.

PATRICK VOSS-DE HAAN

1) Vgl. Physik Journal, September 2002, S. 64

2) Inzwischen wurden schon Frequenzen über 30 GHz erreicht.

Dr. Patrick Voss-de Haan, voss\_de@mail.uni-mainz.de