



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 02 981 T2 2004.05.19**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 148 994 B1**

(51) Int Cl.7: **B41J 2/14**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 02 981.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB00/00173**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 900 740.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/44565**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.01.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **03.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.10.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.05.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.05.2004**

(30) Unionspriorität:

**9902188                      01.02.1999                      GB**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

**Xaar Technology Ltd., Cambridge, GB**

(72) Erfinder:

**CONDIE, Angus, Swaffham Prior, Cambridge, GB**

(74) Vertreter:

**Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München**

(54) Bezeichnung: **TRÖPFCHENAUFZEICHNUNGSGERÄT**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

[0001] Im Besonderen befasst sich die Erfindung mit einem Drucker oder einem Tröpfchennieder-schlagsapparat, bei dem eine akustische Druckwelle durch ein elektrisches Signal erzeugt wird, um ein Tröpfchen der Flüssigkeit (z.B. Tinte) von einer Kammer auszustoßen. Der Apparat kann eine einzelne derartige Kammer haben, aber typischer hat er einen Druckkopf mit einer Anordnung bzw. einem Array von derartigen Kammern, und zwar jede mit einer entsprechenden Düse, wobei der Druckkopf Daten tragende elektrische Signale empfängt, die die Leistung bereitstellen, die notwendig ist, um Tröpfchen aus den Kammern nach Bedarf bzw. auf Anforderung auszustoßen. Die oder jede Kammer ist durch ein piezoelektrisches Element begrenzt, das sich wölbt, was durch das elektrische Signal verursacht wird, wobei dadurch die akustische Druckwelle, die die Tröpfchen ausstößt, erzeugt wird. Für weitere Details der typischen Konstruktionen wird auf unsere veröffentlichten Spezifikationen bzw. Ausführungen EP 0 277 703, US 4,887,100 und WO 91/17051 Bezug genommen.

[0002] Es ist in derartigen Apparaten üblich, dass die Spannung des elektrischen Signals, die benötigt wird, um ein Tröpfchen auszustoßen, minimiert wird; wobei niedrigere Spannungen es der Steuerschaltung erlauben, vereinfacht und/oder bei den Kosten reduziert zu sein. Überdies wird ferner die Wärme, die während des Betriebes des Druckkopfes erzeugt wird, die sowohl in dem Druckkopf als auch in seiner Steuerschaltung proportional zu  $V^2$  ist, minimiert. Eine exzessive Wärmeerzeugung wird zu vermeiden sein, da es die Flüsigeigenschaften bzw. Fluideigenschaften der Tinte beeinflusst bzw. beeinträchtigt, wobei es zu Ungenauigkeiten bzw. Unregelmäßigkeiten beim Drucken führt, und zwar speziell, falls es signifikante Variationen der Temperatur zwischen unterschiedlichen Kammern des Druckkopfes gibt. Derartige Variationen finden statt, wenn eine der Kammern signifikant häufiger als andere in Betrieb ist, z.B. wenn eine Kammer einen dichten Bereich eines Bildes und die andere einen signifikant weniger dichten Bereich druckt. Zu diesem Zweck ist ein weiches (donator-dotiertes) Bleizirkonattitanat-(PZT)-Material oft das bevorzugte piezoelektrische Material. Weiches PZT hat eine hohe piezoelektrische Aktivität; das heißt, eine gegebene Spannung wird aus einer relativ großen physikalischen Materialdeformation produziert, die besonders effektiv beim Ausstoßen der flüssigen Tröpfchen aus der Kammer ist.

[0003] Weitere Verkleinerungen der Steuerspannung können erreicht werden, indem das piezoelektrische Material in "Chevron"-Konfiguration bzw. „Kurven“-Konfiguration angeordnet wird, wie es in dem Kontext eines "End-Ausstoßer"-Druckkopfes in unserer EP-A-277 703 beschrieben ist. Alternativ oder zusätzlich kann der Druckkopf als ein "Seiten-Ausstoßer" konfiguriert sein, wie es in unserer WO 91/17051

beschrieben ist. Beide dieser Designs bzw. Ausführungen halbieren die Steuerspannung für eine gegebene Tröpfchenausstoßungsleistung bzw. -durchführung relativ zu einem "End-Ausstoßer"-Design bzw. einer "End-Ausstoßer"-Ausführung, die ein monolithisch-piezoelektrisches Element verwendet; wobei angenommen wird, dass beide die Steuerspannung um einen Faktor von vier reduzieren.

[0004] Bei bzw. unter einem "End-Ausstoßer" verstehen wir eine Konfiguration, in der die Düse am Ende der langgezogenen Kammer ist, wobei das piezoelektrische Material entlang der Seiten der Kammer angeordnet ist. Bei einem Seiten-Ausstoßer ist stattdessen die Düse in einer der langen Seiten der Kammer angeordnet, die nicht durch piezoelektrisches Material begrenzt ist. Bei einem "Chevron"-Design bzw. einer "Kurven"-Ausführung wird eine longitudinale Seite der Kammer durch piezoelektrisches Material begrenzt, das gegensätzlich gepolte Bereiche hat, die sich longitudinal von der Kammer erstrecken, so dass ein Anlegen des elektrischen Signals beide Regionen des Materials derselben Richtung in eine "Chevron"-Form bzw. "Kurven"-Form deformiert, wenn es in einem Querprofil bzw. Schnittbild betrachtet wird.

[0005] Während die vorangehenden Maßnahmen bzw. Hilfsmittel gedacht sein können, um sowohl niedrige Steuerspannungen als auch niedrige Wärmeeffekte anzubieten bzw. zu offerieren, haben sie einen beträchtlichen Nachteil, nämlich, dass verglichen zu einem monolithischen End-Ausstoßer beide ungefähr die Kapazität der Kammerwand verdoppeln, und zwar aus dem Blickwinkel der Steuerschaltung. Ein Chevron-Seiten-Ausstoßer-Design bzw. eine Chevron-Seiten-Ausstoßer-Ausführung hat somit viermal die Kapazität eines vergleichbaren monolithischen End-Ausstoßers. Eine hohe Kapazität hat zwei Effekte. Zuerst, werden die Kapazitätswärmeeffekte mit den Nachteilen, die schon diskutiert sind, erhöht, und zweitens erhöht die hohe Kapazität die Zeitkonstante (RC) der Vorrichtung. Die Wellenform der steuernden bzw. treibenden elektrischen Signale ist vorzugsweise so nahe wie möglich eine Rechteckwelle, so dass die Schärfe der akustischen Druckwellen maximiert ist. Eine große Zeitkonstante erhöht die Anstiegszeit der Schaltung in Antwort auf eine Schrittänderung bzw. Stufenänderung, und zwar mit dem Ergebnis, dass seine Fähigkeit, eine effektive Wellenform bei hohen Frequenzen zu produzieren bzw. herzustellen, verschlechtert wird. Die Frequenz des Steuersignals muss somit nicht limitiert bzw. begrenzt werden, wobei dadurch die Geschwindigkeit, bei der der Drucker betrieben werden kann, reduziert wird. Dies ist besonders wichtig bei variablen Dichte-("Graustufen" bzw. "Grauskalen")-Druckern, bei denen jedes abgeschiedene Tröpfchen bzw. Nieder-schlagströpfchen aus einer steuerbaren Anzahl von kleineren Untertröpfchen gemacht bzw. hergestellt ist, die bei sehr hohen Frequenzen hergestellt sind.

[0006] Die bevorzugten Ausführungsformen der

vorliegenden Erfindung sind auf diese Probleme gerichtet.

[0007] Die Erfindung stellt einen Tröpfchenniederschlagsapparat mit einer Flüssigkeitströpfchenausstoßdüse, einer Druckkammer, mit der die Düse in Verbindung steht und von der die Düse mit Flüssigkeit zum Tröpfchenausstoß versorgt wird, wobei eine Wand der Kammer ein akzeptor-dotiertes piezoelektrisches Material umfasst, das bei Anwendung eines elektrischen Signals verformbar ist, um das Tröpfchen von der Düse auszustoßen.

[0008] Vorzugsweise hat das Material einen Hystereseverlust ( $\tan \delta$ ) von im Wesentlichen nicht mehr als 0,05 bei der Spannung des angelegten elektrischen Signals.

[0009] Der Hystereseverlusttangens wird gegeben durch

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon'$$

wobei  $\varepsilon''$  der imaginäre Teil und  $\varepsilon'$  der reale Teil der Permittivität ist.

[0010] Vorzugsweise hat das Material einen Gütefaktor (wie hierin definiert) von zwischen 15 und 30 und vorzugsweise von etwa 25.

[0011] Bei "Gütefaktor" bzw. „Gütezziffer“ meinen wird die Quantität bzw. Menge

$$d_{15}/(S_{55} \cdot \varepsilon_0)^{1/2}$$

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon'$$

wobei  $d_{15}$  = Scherverformungs/elektrisches Feld – piezoelektrische Konstante

$S_{55}$  = elektrische Scher-Compliance bzw. elektrische Schernachgiebigkeit

$\varepsilon_0$  = elektrische Permittivität des freien Raumes bzw. elektrische Feldkonstante

[0012] Eine Untersuchung eines Bereiches von PZT-Materialien hat gezeigt, dass der allgemeine Trend, dass ein hoher Gütefaktor sowohl mit einem hohen Verlusttangens als auch mit einer relativ hohen Permittivität verbunden ist.

[0013] Wie bereits angezeigt, ist die Erfindung besonders geeignet für Apparate, bei denen das piezoelektrische Material in einem Schermodus verformt wird, wobei der Apparat einen oder vorzugsweise sowohl die "Seiten-Ausstoßer"- als auch "Chevron"-Konfiguration hat.

[0014] Das bevorzugte piezoelektrische Material, das bei der Erfindung benutzt wird, ist ein akzeptor-dotiertes PZT-Material, wie z.B. das durch Morgan Matroc unter der Bezeichnung PC4D verkauft wird.

[0015] Die Erfindung wird nun bloß auf dem Weg von Beispielen mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt;

[0016] **Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht eines

monolithischen End-Ausstoßer-Druckkopfes vom Stand der Technik (mit einigen Teilen, die zum Zwecke der Klarheit entfernt wurden), und zwar ähnlich zu **Fig. 1** der US 4,887,100.

[0017] **Fig. 2** ist ein Abschnitt bzw. Querschnitt durch einen End-Ausstoßer-Chevron-Druckkopf, der ähnlich zu dem von **Fig. 2** der US 4,887,100 ist.

[0018] **Fig. 3** ist ein longitudinaler Abschnitt bzw. Querschnitt durch einen Seiten-Ausstoßer-Chevron-Druckkopf entsprechend der Erfindung.

[0019] **Fig. 4** zeigt die Variation von  $\tan \delta$  mit einer Steuerspannung für verschiedene Materialien.

[0020] **Fig. 5** zeigt die Variation von  $\tan \delta$  mit einer Wellenform für verschiedene Materialien.

[0021] **Fig. 6** zeigt die Variation der Wärmeenerzeugung in Druckköpfen, die verschiedene Materialien verwenden; und

[0022] **Fig. 7** zeigt die Variation der Wärmeenerzeugung in verschiedenen PZT-Materialien.

[0023] Um die Erfindung im Kontext zu platzieren bzw. einzuordnen, werden zuerst verschiedene Typen von Tröpfchenabscheidungsrichtungen bzw. Tröpfchenniederschlagsapparate beschrieben. In den Zeichnungen ist gleichen Teilen das gleiche Bezugszeichen gewährt bzw. erteilt worden.

[0024] Bezieht man sich zuerst auf **Fig. 1**, so umfasst ein ebener Array-Tropfen-nach-Bedarf-Tintenstrahldrucker einen Druckkopf **10**, der mit einer Vielzahl von parallelen Tintenkammern oder -kanälen **2** ausgebildet ist, wobei nur neun davon gezeigt werden und die longitudinalen Achsen bzw. Längsachsen davon in einer Ebene angeordnet sind. Die Kanäle **2** sind durch einen Deckel (nicht gezeigt) geschlossen, der sich über die ganze obere Oberfläche des Druckkopfes erstreckt.

[0025] Die Kanäle **2** beinhalten die Tinte **4** und sind eine End-Ausstoßer-Konfiguration, die bei entsprechenden Enden davon in einer Düsenplatte **5**, in der Düsen **6** ausgebildet sind, und zwar eine für jeden Kanal, abschließt. Tintentröpfchen **7** werden nach Bedarf aus den Kanälen **2** ausgestoßen und auf einer Drucklinie **8** einer Druckoberfläche abgeschieden bzw. niedergeschlagen, wobei zwischen der und dem Druckkopf **10** es eine relative Bewegung normal bzw. senkrecht zu der Ebene der Kanalachsen gibt.

[0026] Der Druckkopf **10** hat einen ebenen Basisteil **20**, in dem die Kanäle **2** abgeschnitten oder auf andere Weise aus einem weichen PZT piezoelektrischen Material ausgebildet sind, um sich parallel rückwärts von der Düsenplatte **5** zu erstrecken. Die Kanäle **2** sind lang und schmal mit einem rechteckigen Querschnitt und haben gegenüberliegende Seitenwände **11**, die sich über die Länge der Kanäle erstrecken. Die Seitenwände **11** werden mit Elektroden bereitgestellt (nicht gezeigt), die sich entlang der Länge der Kanäle erstrecken, wobei die Seitenwände bei einem Schermodus versetzbar sind, und zwar relativ schräg zu den Kanalachsen im Wesentlichen entlang der ganzen Länge davon, um Änderungen des Druckes in der Tinte in den Kanälen zu verursachen, um eine

Tröpfchenausstoßung von der Düse auszuführen bzw. zu erwirken. Die Kanäle **2** sind bei ihren Enden verbunden, und zwar entfernt von den Düsen mit einem Querkanal (nicht gezeigt), der wiederum mit einem Tintenreservoir (nicht gezeigt) durch ein Rohr **14** verbunden ist. Elektrische Verbindungen (nicht gezeigt), um die Kanalseitenwände **11** zu aktivieren, sind auf einem LSI-Chip **16** auf dem Basisteil **20** gemacht bzw. hergestellt.

[0027] Wie in dieser Figur veranschaulicht, sind die Kanalseitenwände monolithisch mit und effektiv freigezogen von dem Basisteil **20**, das aus einem einzelnen Stück des piezoelektrischen Materials geschnitten worden ist.

[0028] **Fig. 2** zeigt eine modifizierte Form des Kopfes von **Fig. 1**, in der die Kanalseitenwände **11** gegenüber liegend – gepolte bzw. gegensätzlich – gepolte Regionen bzw. Bereiche besitzen, so dass das Anlegen eines elektrischen Feldes sie in eine Chevronform bzw. Kurvenform umlenkt bzw. verlagert. In **Fig. 2** beinhaltet das Array bzw. die Anordnung versetzbare Seitenwände **11**, in der Form von Schermodusaktoren **15**, **17**, **19**, **21** und **23**, die zwischen der Basis und den oberen Wänden **25** und **27** gesandwichet bzw. eingeschoben sind, und jeder ist aus den oberen und den unteren Wandteilen **29** und **31** ausgebildet, die wie durch die Pfeile **33** und **35** angezeigt, gepolt sind, und zwar im entgegengesetzten Sinn normal bzw. senkrecht zu der Ebene, die die Kanalachsen beinhaltet. Die Elektroden **37**, **39**, **41**, **43** und **45** decken jeweils alle inneren Wände der jeweiligen Kanäle **2** ab. Somit, wenn eine Spannung an die Elektrode eines besonderen bzw. bestimmten Kanals angelegt wird, sagt man die Elektrode **41** des Kanals **2** zwischen den Schermodusaktoren **19** und **21**, während die Elektroden **39** und **43** der Kanäle **2** auf beiden Seiten von jener der Elektrode **41** auf Masse gehalten werden, wird ein elektrisches Feld im entgegengesetzten Sinn zu den Aktoren **19** und **21** angelegt. Auf Grund der entgegengesetzten Polung der oberen und unteren Wandteile **29** und **31** von jedem Aktor, werden diese im Schermodus in den Kanal **2** dazwischen in Chevronform bzw. Kurvenform, wie durch die gestrichelten Linien **47** und **49** angezeigt, umgelenkt bzw. verlagert. Ein Impuls wird somit an die Tinte **4** in dem Kanal **2** zwischen den Aktoren **19** und **21** angelegt, die eine akustische Druckwelle verursachen, um entlang der Länge des Kanals zu reisen bzw. zu wandern und ein Tintentröpfchen **7** daraus auszustoßen.

[0029] **Fig. 3** zeigt einen longitudinalen Abschnitt bzw. einen Längsquerschnitt durch einen Seiten-Ausstoßer-Druckkopf. Die Düse **6** wird in der Abdeckung **27** bereitgestellt, die die obere Wand des Kanals ausbildet, und mit dem Kanal **2** in Verbindung steht, dessen Seiten davon durch Seitenwände aus PZT-Material in der Form von Schermodusaktoren begrenzt wird, wobei einer davon bei **21** gezeigt ist. Wie in **Fig. 2**, hat jeder Schermodusaktor gegensätzlich gepolte Bereich **29**, **31**, die in eine Chevronform

bzw. Kurvenform umlenken bzw. verlagern, wenn sie einem elektrischen Feld durch die Elektroden (**41**, **43**) auf ihrer longitudinalen Oberfläche unterworfen werden. Die Abschlüsse bzw. Anschlüsse **34** verbinden die Elektroden mit dem LSI-Chip **16**. Querkanäle **13** verbinden den Kanal **2** an jedem Ende zu einem Tankreservoir. Außer für die Position der Düse **6** ist der Druckkopf im Querschnitt von Linie **2.2** ähnlich zu der **Fig. 2**.

[0030] Er ist auch zu der **Fig. 1(d)** unserer Spezifikation WO 91/17051 ähnlich, außer für die erfinderische Wahl des piezoelektrischen Materials, das nun beschrieben wird, und für den Gebrauch von Chevron-Schermodus-Aktorentypen, obwohl monolithische Aktoren, die in eine einzelne Richtung gepolt sind, anstatt in einem Seiten-Ausstoßer-Druckkopf entsprechend der vorliegenden Erfindung benutzt werden können.

[0031] PZT-Materialien sind bzw. bestehen aus zwei Grundtypen, "weich" oder donator-dotiert und "hart" oder akzeptor-dotiert. Wie in "Electroceraamics" von A. J. Moulson (Chapman & Hall, 1990) diskutiert, verringert Donatordotierung (Dotierung mit Ionen von höherer Ladung als solche, die sie ersetzen) die Konzentration von domainstabilisierenden Defektpaaren und vermindert so die Alterungsraten. Die sich ergebene Erhöhung bzw. Ausweitung der Bereichswandmobilität bzw. Domain-Wand-Mobilität erhöht die Permittivität, den Hystereseverlust ( $\tan \delta$ ), die elastische bzw. biegsame oder dehnbare Compliance bzw. Nachgiebigkeit und die Kopplungskoeffizienten. Die Mechanische Q bzw. der mechanische Gütefaktor und die Koerzitivität bzw. Koerzitivkraft werden reduziert bzw. verringert. Die konsequent hohe piezoelektrische Aktivität macht das Weich-PZT zum herkömmlichen Material der Wahl für piezoelektrische Druckköpfe.

[0032] Dagegen unterdrückt die Akzeptordotierung von PZT eine Bereichswandbewegung bzw. Domain-Wand-Bewegung, wobei es zu verringerter Permittivität, zu verringerten Hystereseverlust ( $\tan \delta$ ), zu verringerter elastischer bzw. dehnbare oder biegsamer Compliance bzw. Nachgiebigkeit und zu verringerten gekoppelten Koeffizienten und einem Ansteigen der Koerzitivität bzw. Koerzitivkraft führt. Das Material zeigt weniger piezoelektrische Aktivität und ist konsequenterweise bisher nicht für piezoelektrische Druckköpfe benutzt worden.

[0033] Wir haben die Leistung bzw. Performance von einer Anzahl von PZT-Materialien analysiert und haben die überraschende Entdeckung gemacht, dass in einigen Umständen ein hartes Material eine geeignetere Wahl als ein weiches Material sein kann.

[0034] Vier PZT-Materialproben wurden zur Analyse gewählt – nämlich Motorola HD 3202, Sumitomo H5E, Motorola HD 3195 und Morgan Matroc PC4D. Sie wurden gewählt, so dass sie den Bereich der verfügbaren Aktorenmaterialien abdecken und waren im Hinblick auf die piezoelektrische Schermodusaktivität gleichmäßig verteilt bzw. beabstandet. Die Schermo-

aktivität ist durch den dimensionslosen Gütefaktor  $d_{15}/(S_{55} \times \epsilon_0)^{1/2}$  charakterisiert -, der gleich bzw. äquivalent zu der konvertierten elektromechanischen Energie pro Volumeneinheit pro Volteinheit ist. Im Hinblick auf die piezoelektrische Aktivität wird das Material eingeordnet, und zwar HD 3203 > H5E > HD 3195 > PC4D, wobei der gemessene niedrige Signalgütefaktor jeweils 48,2, 37,4, 31,5 und 25,7 ist.

[0035] Vier Scheiben bzw. Wafer von 128-zeiligen Druckköpfen wurden aus den vier PZTs hergestellt und Kapazitäts- und Hystereseverlustmessungen wurden an den Druckköpfen unter typischen Betriebsbedingungen wie folgt durchgeführt:

Steuerspannung: 10-50 V.

Steuerfrequenz: 20, 50, 100 und 200 kHz

Steuerwellenformtyp: im Wesentlichen eine Rechteckwelle (Spannung bei Spitze für 75% des Zyklus)  
Druckkopftemperatur: 18°C, 40°C, 50°C (Messungen wurden in kurzen Bursts bzw. Unterbrechungen gemacht und es wurde angenommen bzw. vorausgesetzt, dass die Temperatur des Druckkopfes nicht signifikant ansteigt).

[0036] Die Hystereseverlust-(tan  $\delta$ )-Messungen wurden mit dem Verfahren, das in dem Papier "Dielectric Non-Linearity in Hard Piezoelectric Ceramics" von D. A. Hall, P. J. Stevenson und T. R. Mullins (Band 57, Brit. Cer. Proc., S. 197-211) beschrieben ist, gemacht bzw. durchgeführt.

[0037] Diese Messungen zeigten, dass sich die Kapazität und Hysterese nicht mit der Frequenz für ein gegebenes Material verändert. Jedoch gibt es ein signifikantes Ansteigen bei sowohl der Kapazität als auch dem Hystereseverlust (tan  $\delta$ ) mit der Steuerspannung.

[0038] Ein Vergleich der vier PZTs der Variation von tan  $\delta$  mit der Steuerspannung bei 200 kHz wird in **Fig. 4** gegeben bzw. ist in **Fig. 4** zu sehen. Die Hersteller angegebenen Niedrigfeldkatalogdaten sind für jedes Material auch in **Fig. 4** gegeben bzw. zu sehen. Das Ergebnis zeigt, dass die drei "weicheren" großen PZTs eine ähnliche Charakteristik mit einem signifikanten Ansteigen in tan  $\delta$  mit der Steuerspannung haben. Es gibt ferner einen großen Unterschied zwischen dem angegebenen bzw. angebotenen "Katalog", den Niedrigfeld tan  $\delta$  und jenen für die Steuerspannung, die für einen Druckkopfbetrieb (ungefähr 25 V) benötigt wird. Dagegen zeigen die "härtesten" PZT, PC4D einen viel kleineren tan  $\delta$  und eine reduzierte Variation mit der Steuerspannung.

[0039] Die Hystereseverluste für eine äquivalente bzw. gleichwertige Druckkopf-Steuerspannung von 25 V für HD 3203 wird auch in **Fig. 4** gegeben bzw. sind auch in **Fig. 4** zu sehen, wobei geringere bzw. niedrigere Aktivitäts-PZTs höhere Steuerspannung benötigen. Sie zeigen, dass für äquivalente Druckkopfbetriebsbedingungen, die HD3203, H5E und HD3195 ähnliche Verluste haben, und zwar mit dem vorhergesagten bzw. erwarteten Hystereseverlust für PC4D, der beträchtlich geringer ist und nicht größer als 0,05 ist, und zwar verglichen mit vier oder fünf Mal

jener Figur bzw. Zahl für die anderen Materialien.

[0040] Die äquivalente Steuerspannung V wurde unter Verwendung des relativen Gütefaktors M von jeder PZT berechnet, z.B.

$$V_{H5E} = V_{HD3203} M_{HD3203/MH5E}$$

[0041] Die Messungen wurden auch mit variierenden Wellenformtypen bei einer fixierten bzw. gleich bleibenden Frequenz und Steuerspannung genommen. Die **Fig. 5** zeigt den Effekt des Übergangs zwischen einer dreieckförmigen Wellenform bzw. Dreieckswellenform (0% bei Spitzenspannung) und einer Rechteckwelle (ideal 100 % bei Spitzenspannung, aber praktisch bzw. in der Praxis weniger) für eine konstante Steuerspannung (30V) und eine fixierte bzw. feste Steuerfrequenz von 200 kHz. Im Gegensatz zur Steuerfrequenz hat ein Wellenformtyp einen signifikanten Effekt auf den tan  $\delta$ , z.B. steigt der tan  $\delta$  für HD3203, bis 85% , wenn von einer Dreieckswellenform auf eine Wellenform mit der Spannung bei ihrer Spitze für 87,5% des Zyklus geändert bzw. gewechselt wird. Dies ist konsistent bzw. übereinstimmend mit der erhöhten Wärmeerzeugung von dem PZT, wenn der Druckkopf durch eine Rechteckwellenform angetrieben wird.

[0042] Die Hystereseverlust-/Steuerspannungsergebnisse wurden benutzt, um die Wärme, die innerhalb verschiedener Designs bzw. Ausführungen von Druckköpfen erzeugt wird, zu berechnen. Die Wärme, die innerhalb des Druckkopfes erzeugt wird und die Proportion innerhalb des PZT wurde für die vier PZT-Typen berechnet. Dies wurde für drei Druckkopfkonstruktionen getan; und zwar für einen herkömmlichen monolithischen Träger-End-Ausstoßer, einen Chevron-End-Ausstoßer und einen Chevron-Seiten-Ausstoßer. Die Steuerspannungen für den letzteren der zwei Fälle wurden angenommen bzw. vorausgesetzt, jeweils 0,5-mal und 0,25-mal zu sein, und zwar verglichen mit bzw. zu dem monolithischen Träger, wohingegen die Kapazitäten angenommen wurden, jeweils zweimal und viermal zu sein. Ein Tabellenmodell bzw. ein Tabellenkalkulationsmodell wurde benutzt, um diese Konfigurationen für verschiedene Betriebsbedingungen zu berechnen. Die Kalkulationen basierten auf den folgenden Annahmen:

1. Wärmeerzeugung innerhalb der Steuerschaltung durch Aufladungs-/Entladungsflanke =  $2 \times \frac{1}{2}CV^2$  (zwei Wände, jede mit einer Kapazität C, betätigt für jeden Tropfen, der ausgestoßen wird).
2. Der Anteil bzw. die Proportion der Wärme, die innerhalb des PZT pro Kanal verschwendet wird =  $\pi CV^2 \tan \delta / 2$ .
3. Die Steuerschaltungsanstiegszeit (10 bis 90%) =  $6,6RC$  (für Wände mit der Kapazität C, die parallel verbunden sind, die aufgeladen sind von einer und entladen in eine Impedanz R).
4. Maximaltemperaturanstieg für Tinte analog = Wärme, die erzeugt ist / spezifische Wärmekapa-

zität  $\times$  Tropfenvolumen (nimmt man an, dass die Gesamtwärme, die innerhalb des PZT erzeugt ist, mit dem ausgeworfenen Tropfen entfernt ist).

[0043] Der folgende Parametersatz wurde für eine typische Graustufen- bzw. Grauskalenbetriebsbedingung angenommen:

Steuerspannung (V) = 25 V (für den monolithischen Träger HD 3203 und proportioniert, wie oben diskutiert, für andere Materialien)

Wandkapazität (C) = 200 pF

Graustufenniveau (L) = 8 Niveaus

Ausstoßsequenz: Triple-Zyklus bzw. Dreifachzyklus (das heißt die Kanäle werden in drei verschachtelten Gruppen ausgestoßen)

Wellenformtyp: DRR (Ziehen, Freigeben, Verstärken, wie in der **Fig. 4c** unserer Spezifikation WO 95/25011 gezeigt).

Zeilenfrequenz (F9 = 6,19 kHz (Tröpfchenfrequenz = 130 kHz)

volles Dichtetropfenvolumen = 55 pl

[0044] Die Gesamtwärme, die erzeugt wurde, wurde per Steuerchip (das heißt per 64 Zeilen) berechnet und ein Verhältnis wurde auf dem Basisfall (HD 3203, monolithischer Träger) für jede Konfiguration berechnet. Diese Ergebnisse sind für jeden Fall in den **Fig. 6** und **7** summiert bzw. zusammengefasst. Der erstere zeigt die Gesamtwärme, die innerhalb der Steuerung zusammen mit der berechneten Anstiegszeit erzeugt wurde, und der letztere zeigt die Wärme, die innerhalb des PZT alleine zusammen mit dem Temperaturanstieg der Tinte erzeugt wurde.

[0045] Aus **Fig. 7** kann man sehen, dass die Wärme, die in dem Druckkopfmaterial erzeugt wurde, in allen Fällen am niedrigsten ist, wenn das PC4D-Material verwendet wird, obwohl die Steuerspannung höher ist. Aus **Fig. 6** ist es klar bzw. bewiesen, dass, wenn die Wärme, die in dem Steuerchip erzeugt wurde, auch berücksichtigt wurde, die Gesamtwärme, die in dem Druckkopf erzeugt wird, am niedrigsten mit dem herkömmlichen – bevorzugt HD 3203 ist, dass aber der PC4D-Druckkopf nicht signifikant schlechter als jener ist, der das nächstbeste Material H5E verwendet. Die Steuerspannung, die für das PC4D-Material benötigt wird, ist größer, aber die Anstiegszeit ist ungleichförmig weniger als eine Hälfte von jener für das HD3203-Material in derselben Druckkopfkonfiguration. In absoluter Hinsicht bzw. in absoluten Ausdrücken ist die Wärme, die in dem Chevron-End-Ausstoßer erzeugt wird, weniger als jene, die in dem monolithischen End-Ausstoßer erzeugt wird, und zwar um einen Faktor von mehr als zwei, und die Wärme, die in dem Chevron-Seiten-Ausstoßer erzeugt wird, ist im Allgemeinen weniger, und zwar wieder um ungefähr denselben Faktor. Jedoch sind die Anstiegszeiten des Chevron-End-Ausstoßers und Chevron-Seiten-Ausstoßers größer als jene des monolithischen End-Ausstoßers, und zwar um etwa dieselben Faktoren.

[0046] Während diese Ergebnisse auf den ersten

Blick auf das HD3203-Material zeigen, das weiter fortführt, das geeignetste zu sein, wobei es in der Tat Umstände gibt, in der eine zahl-intuitive Wahl des PC4D Vorteile bringen kann.

[0047] Falls eine schnelle Anstiegszeit benötigt wird und eine hohe Steuerspannung und Wärmeerzeugung toleriert werden kann, ist somit, der PC4D in einem monolithischen End-Ausstoßer einfach der beste (145 ms im Vergleich zu 316 ms für HD 3203).

[0048] Falls eine Verbesserung in der Anstiegszeit im Vergleich zum HD 3203 benötigt wird, und zwar bei derselben reduzierten Wärmeerzeugung, ist der Gebrauch des PC4D in einem Chevron-End-Ausstoßer angezeigt. Die Anstiegszeit wird von 356 auf 251 ms reduziert und die Hitze, die erzeugt wird, wird um 40% reduziert. Ein ähnliches Ergebnis könnte erwartet werden, falls PC4D in einem monolithischen Seiten-Ausstoßer benutzt wird.

[0049] Für eine angemessene Anstiegszeit (456 ms im Vergleich zu 356 ms eines monolithischen End-Ausstoßers), kombiniert mit sehr geringer Wärmeerzeugung (nur etwa 30% des Grundlinienfalles) und niedriger Steuerspannung (12V im Vergleich zu 25 V) sollte PC4D in einer Chevron-Seiten-Ausstoßer-Konfiguration verwendet werden. In einem derartigen Druckkopf würde der Temperaturanstieg der Tinte geringfügig bei etwa 0,5°C liegen, und zwar verglichen mit 21°C in einem monolithischen End-Ausstoßer, der HD 3203 verwendet. Ein PC4D-Druckkopf, der als ein Chevron-Seiten-Ausstoßer konstruiert bzw. konfiguriert ist, würde somit sehr gut für Hochdefinitionsgraustufendrucker bzw. Hochdefinitionsgrauskalendrucker geeignet sein, da es wenig wenn überhaupt irgendeine wärmeinduzierte Variation der Tröpfchengeschwindigkeit mit der Druckdichte gibt.

[0050] Während die Erfindung in dem Kontext des PC4D-Materials beschrieben worden ist, können andere akzeptor-dotierte piezoelektrische Materialien dieselben Charakteristiken und Vorteile zeigen bzw. aufweisen.

[0051] Jedes Merkmal, das in dieser Spezifikation offenbart ist (welcher Ausdruck die Ansprüche beinhaltet) und/oder in den Zeichnungen gezeigt ist, können in dieser Erfindung unabhängig von anderen offenbarten und/oder veranschaulichten Merkmalen beinhaltet sein.

[0052] Angaben bzw. Statements in dieser Spezifikation der "Aufgabe der Erfindung" bezieht sich auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung, aber nicht notwendigerweise auf alle Ausführungsformen der Erfindung, die innerhalb der Ansprüche fallen.

[0053] Der Text des Abstracts bzw. der Text der Zusammenfassung, der hiermit eingereicht wird, ist hier als Teil der Spezifikation bzw. Beschreibung wiederholt.

[0054] Ein akzeptor-dotiertes "Hart"-PZT ist in einem piezoelektrischen Druckkopf verwendet, anstatt des herkömmlichen "weichen" donator-dotierten Materials. Der Druckkopf ist vorzugsweise von einer

Chevron-Seiten-Ausstoßer-Konfiguration und ist vorteilhaft zum Hochdefinitionsgraustufendruckern bzw. Hochdefinitionsgrauskalendruckern.

### Patentansprüche

1. Tröpfchenniederschlagsapparat mit einer Flüssigkeitströpfchen-Ausstoßdüse (**6**), einer Druckkammer (**2**) mit der die Düse in Verbindung steht und von der die Düse mit Flüssigkeit (**4**) zum Tröpfchenausstoß versorgt wird, wobei eine Wand (**11**) der Kammer ein Akzeptor-dotiertes piezo-elektrisches Material umfasst, das bei Anwendung eines elektrischen Signals verformbar ist, um das Tröpfchen von der Düse auszustoßen.

2. Apparat, wie im Anspruch 1 beansprucht, bei welchem das Material einen Hysterese-Verlusttangens ( $\tan \delta$ ) von im Wesentlichen nicht mehr als 0,05 bei der Spannung des angelegten elektrischen Signals hat.

3. Apparat, wie im Anspruch 1 oder Anspruch 2 beansprucht, bei welchem das Material eine Gütezahl zwischen 15 und 30 und vorzugsweise etwa 25 hat, wobei die Gütezahl als  $d_{15}/(S_{55} \epsilon_0)^{1/2}$  definiert ist, wobei

$d_{15}$ =Scherverformungs/elektrisches Feld – piezoelektrische Konstante

$S_{55}$ =elektrische Scher-Compliance

$\epsilon_0$ =elektrische Feldkonstante.

4. Apparat, wie in einem der vorhergehenden Ansprüche beansprucht, bei welchem die Düse (**6**) in einer weiteren Wand (**27**) der Kammer angeordnet ist, und zwar zwischen den Enden der Kammer.

5. Apparat, wie in einem vorhergehenden Anspruch beansprucht, bei welchem das piezo-elektrische Material derartig ist, dass ein Anlegen des elektrischen Signals es im Schermodus deformiert, um eine akustische Druckwelle in der Kammer zu erzeugen und um dadurch das Tröpfchen auszustoßen.

6. Apparat, wie im Anspruch 5 beansprucht, bei welchem das piezo-elektrische Material, das in der Wand enthalten ist, zwei Bereiche (**19**, **29**) hat, die sich Seite an Seite erstrecken, wobei die Bereiche derartig gepolt sind, dass ein Anlegen des elektrischen Signals die Bereiche in eine Kurven-Form bzw. Chevron-Form deformiert.

7. Apparat, wie in einem vorhergehenden Anspruch beansprucht, bei welchem das piezo-elektrische Material PZT ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

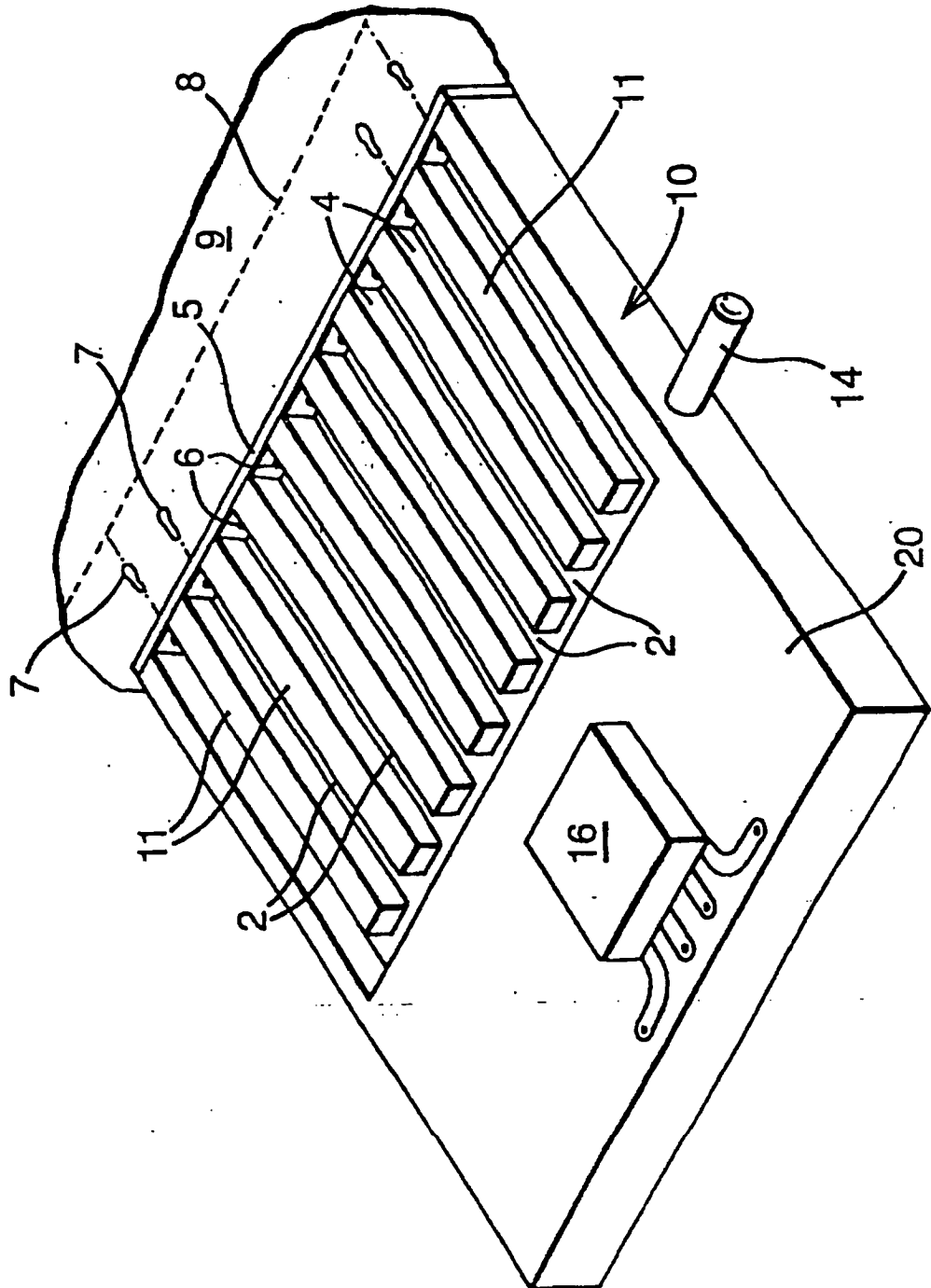




FIG. 2

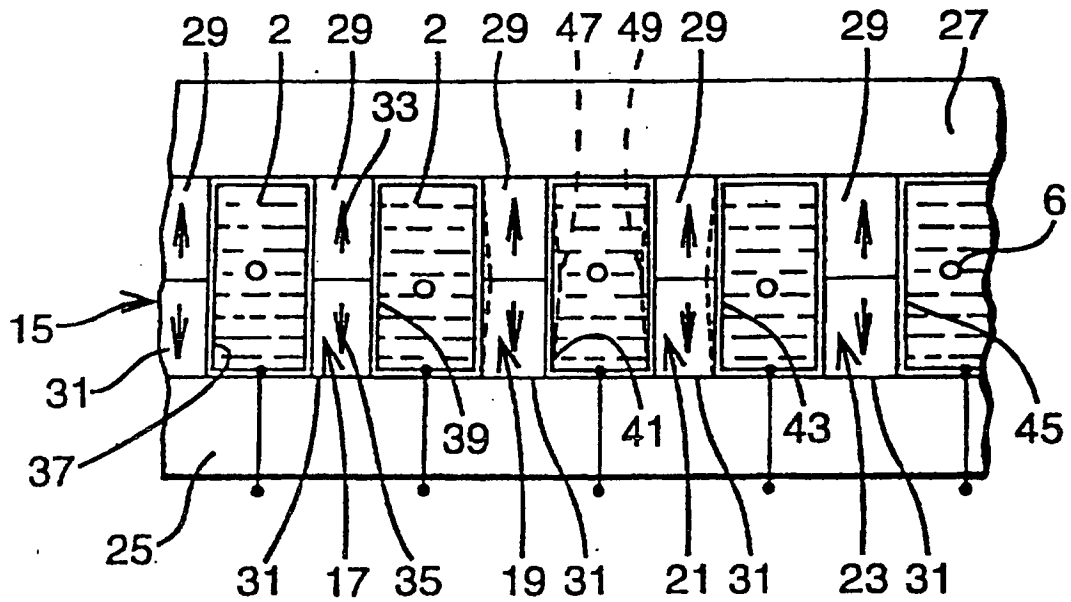
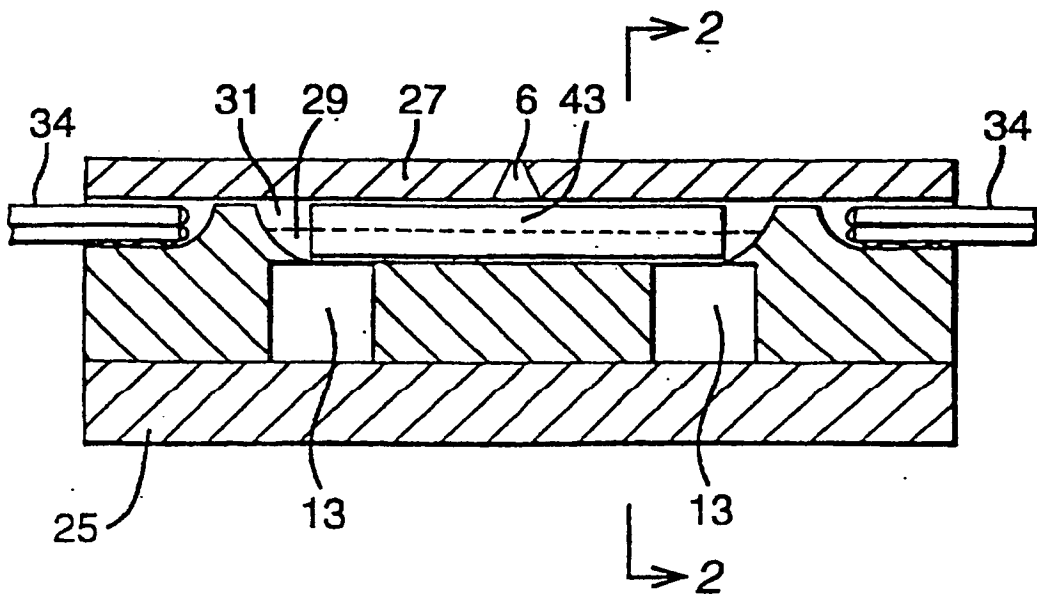
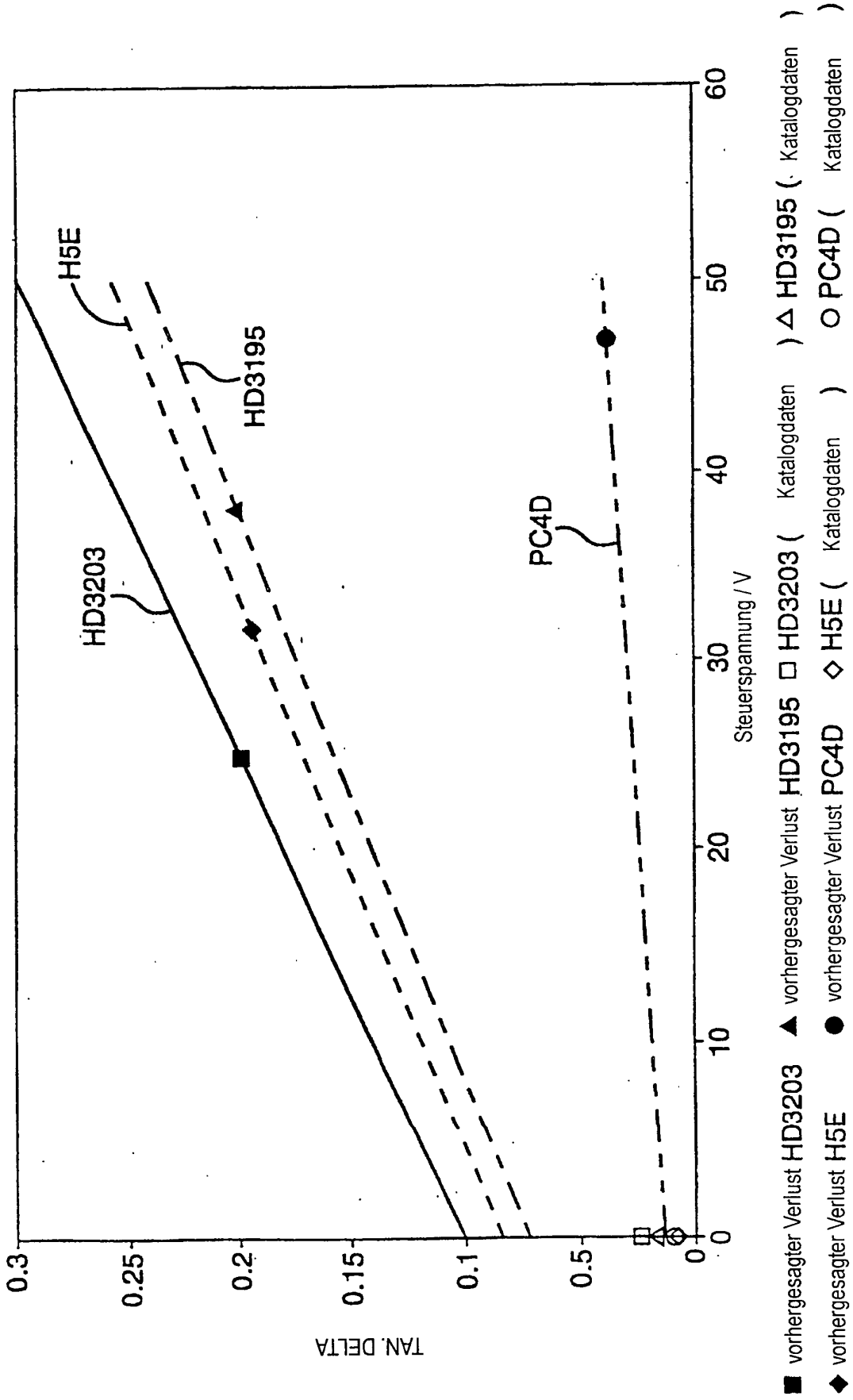


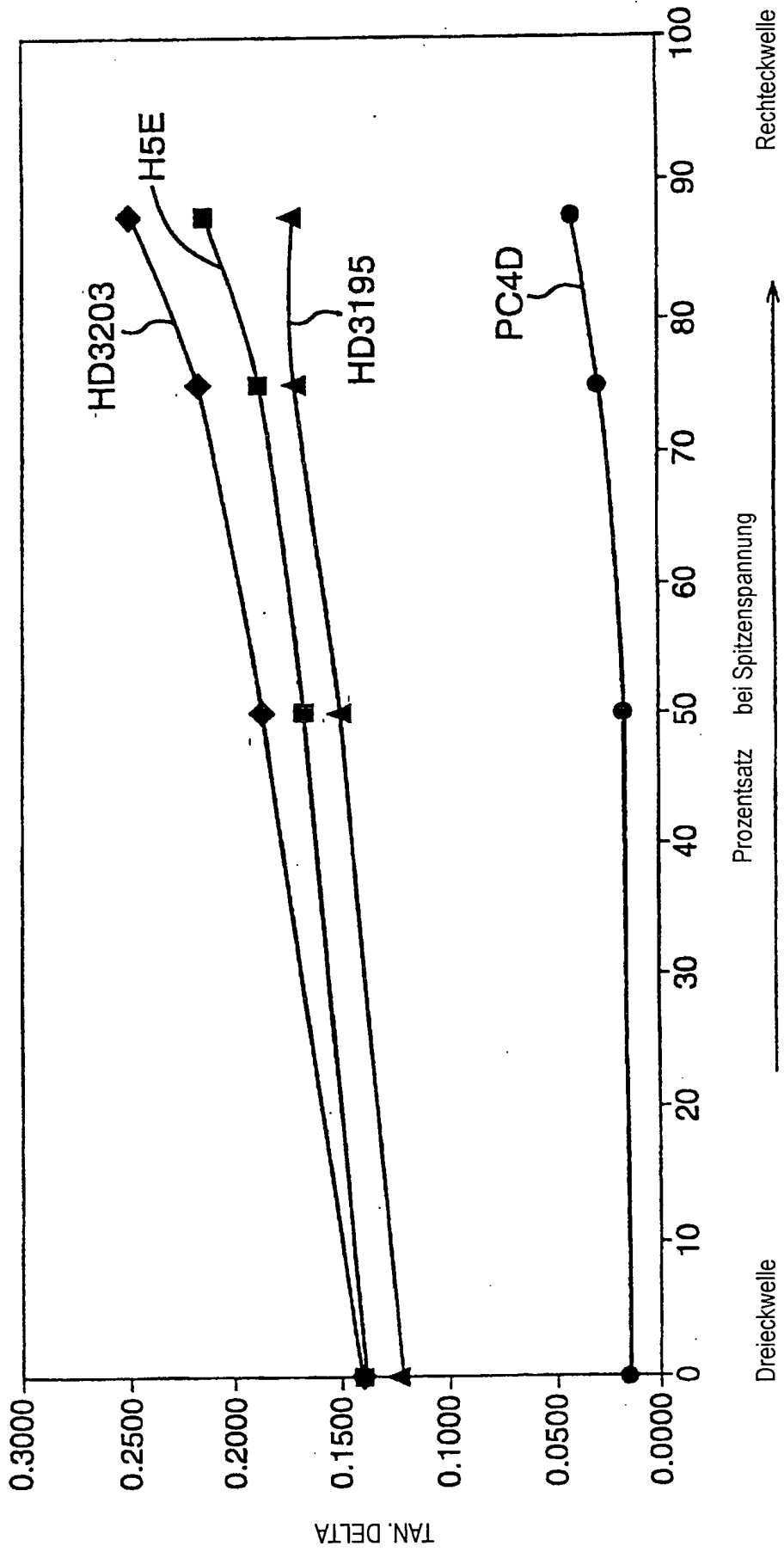
FIG. 3



**FIG. 4** Vergleich der Hystereseverluste für Druckköpfe, die aus verschiedenen PZTs hergestellt sind. Tan. delta bei 200 kHz ("Rechteck"-Wellenform: 75% bei Spitzenspannung), vorhergesagter Verlust für Steuerspannung von 25 V für HD3203 HD3203  
25V

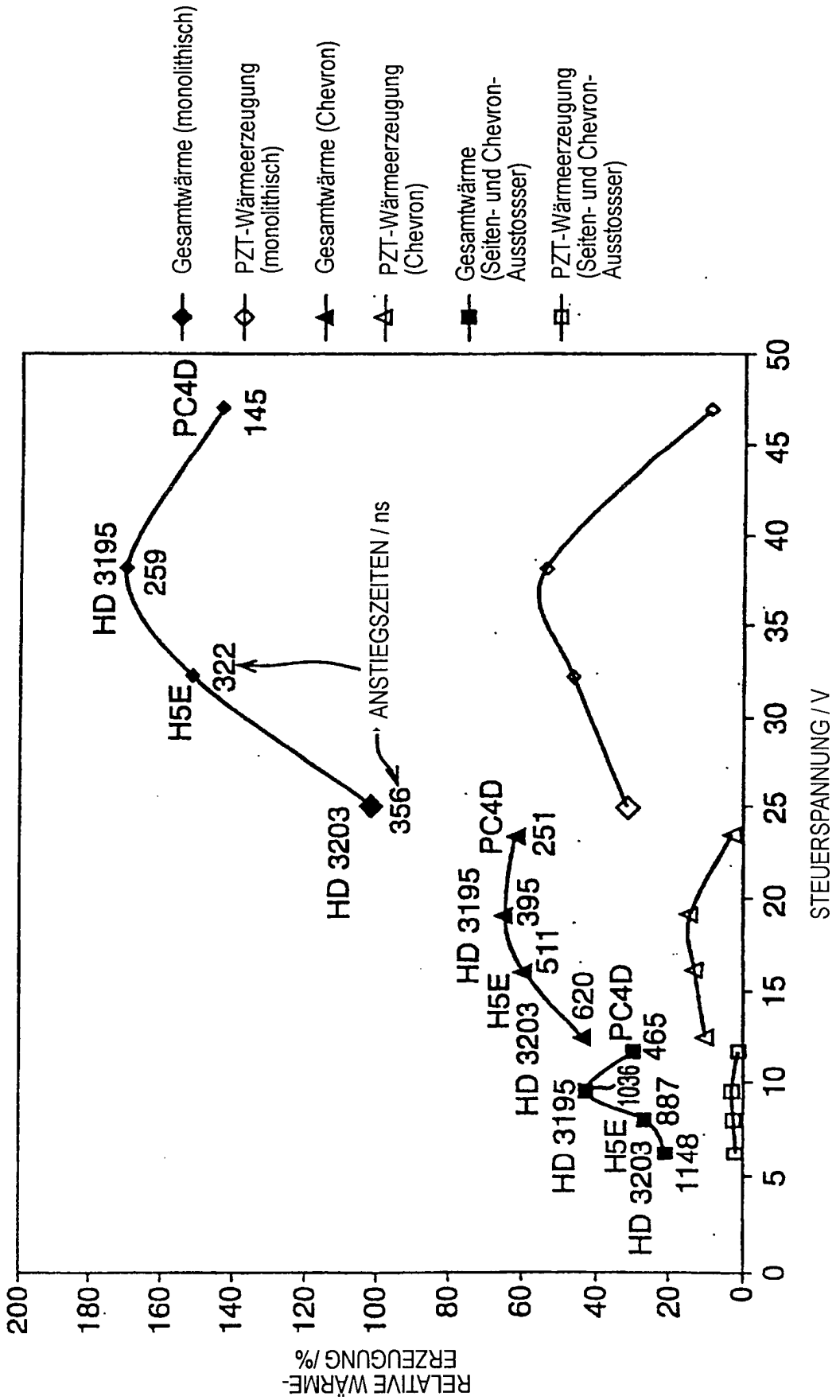


**FIG. 5** Variation bei Hystereseverlust für verschiedene PZT's und verschiedene Wellenformen bei 200 kHz  
Spitzenspannung = 30 V



**FIG. 6**

Relative Wärmezeugung für alternative PZT und unterschiedliche Druckkopfkonstruktionen  
 Relativ zu Motorola HD3203, monolithischer Träger (100%) - Gesamtwärme = 2,81 W/Chip, Steuerspannung = 25,00 V  
 "Rechteck"-Wellenform: Spannung bei Spitze für 75% des Zyklus (z.B. Anstiegszeit = 475 ns)



**FIG. 7** Relative Wärmeezeugung von PZT für alternative PZT und unterschiedliche Druckkopfkonstruktionen  
 Relativ zu Motorola HD3203, monolithische Träger (100%) - PZT-Wärmeverlust = 0,88 W/64 Zeilen, Steuerspannung = 25,00 V  
 "Rechteck"-Wellenform bei Spitzenspannung für 75% des Zyklus (z.B. Anstiegszeit = 475 ns bei 130 KHz)

