

Description

This invention relates to pulsed droplet deposition apparatus. Typical of this kind of apparatus are pulsed droplet ink jet printers, often also referred to as "drop-on-demand" ink jet printers. Such printers are known, for example, from United States patent specifications 3,946,398 (Kyser & Sears), 3,883,212 (Zoltan) and 3,747,120 (Stemme). In these specifications an ink or other liquid channel is connected to an ink ejection nozzle and a reservoir of the liquid employed. A piezo-electric actuator forms part of the channel and is displaceable in response to a voltage pulse and consequently generates a pulse in the liquid in the channel due to change of pressure therein which causes ejection of a liquid droplet from the channel.

The configuration of piezo-electric actuator employed by Kyser and Sears and Stemme is a diaphragm in flexure whilst that of Zoltan takes the form of a tubular cylindrically poled piezo-electric actuator. A flexural actuator operates by doing significant internal work during flexure and is accordingly not efficient. It is also not ideally suitable for mass production because fragile, thin layers of piezo-electric material have to be cut, cemented as a bimorph and mounted in the liquid channel. The cylindrical configuration also generates internal stresses, since it is in the form of a thick cylinder and the total work done per ejected droplet is substantial because the amount of piezo-electric material employed is considerable. The output impedance of a cylindrical actuator also proves not to be well matched to the output impedance presented by the liquid and the nozzle aperture. Both types of actuator, further, do not readily lend themselves to production of high resolution droplet deposition apparatus in which the droplet deposition head is formed with a multi-channel array, that is to say a droplet deposition head with a multiplicity of liquid channels communicating with respective nozzles.

Another form of pulsed droplet deposition apparatus is known from United States patent specification 4,584,590 (Fishbeck & Wright). This specification discloses an array of pulsed droplet deposition devices operating in shear mode in which a series of electrodes provided on a sheet of piezo-electric material divides the sheet into discrete deformable sections extending between the electrodes. The sheet is poled in a direction normal thereto and deflection of the sections takes place in the direction of poling. Such an array is difficult to make by mass-production techniques. Further it does not enable a particularly high density array of liquid channels to be achieved as is required in apparatus where droplets are to be deposited at high density, as for example, in high quality pulsed droplet, ink jet printers.

It is accordingly one object of the present invention to provide single or multi-channel pulsed droplet

deposition apparatus in which the piezo-electric actuator means are of improved efficiency and are better matched in the channel - or as the case may be, each channel to the output impedance of the liquid and nozzle aperture. Another object is to provide a pulsed droplet deposition apparatus with piezo-electric actuator means which readily lends itself to mass production. A still further object is to provide a pulsed droplet deposition apparatus which can be manufactured, more easily than the known constructions referred to, in high density multi-channel array form. Yet a further object is to provide a pulsed droplet deposition apparatus in multi-channel array form in which a higher density of channels, e.g. two or more channels per millimetre, can be achieved than in the known constructions referred to.

The present invention consists in a pulsed droplet deposition apparatus characterised in that a liquid droplet ejection nozzle, a pressure chamber with which said nozzle communicates and from which said nozzle is supplied with liquid for droplet ejection, a shear mode actuator comprising poled piezo-electric material and electrode means for applying an electric field thereto, and liquid supply means for replenishing in said chamber liquid expelled from said nozzle by operation of said actuator, characterised in that said actuator is disposed so as to be able under an electric field applied between said electrode means to move in relation to said chamber in shear mode in the direction of said field to change the liquid pressure in said chamber and thereby cause droplet ejection from said nozzle.

Suitably said chamber has a side wall of which said actuator forms a part at least, the liquid of said chamber and said actuator being thereby closely coupled.

Advantageously, said chamber is of generally rectangular cross-section formed by a pair of opposed longer walls and a pair of opposed shorter side walls and said actuator provides part at least of one of said longer side walls.

In one form of the invention said chamber comprises a channel and is characterised in that said shear mode actuator is provided in a wall of piezo-electric material having inner and outer faces extending alongside said channel and said electrode means comprise electrodes which are provided on and extend over substantial parts of said wall faces for applying an electric field in a direction transversely to said wall faces, said piezo-electric material being disposed so as to be displaceable in shear mode in the direction of said field transversely to said channel to cause droplet ejection from said nozzle. Suitably, said actuator wall extends a substantial part of the length of said channel from said nozzle. In one preferred version, said actuator wall has opposite substantially parallel edge surfaces extending normal to said inner and outer wall faces along which it is connected to said

channel in liquid tight manner, one of said edge surfaces being rigidly connected to said channel and a compliant sealing strip connecting the other of said edge surfaces to said channel. Advantageously said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls and opposed side walls, one of said side walls providing said actuator wall, and is characterised in that said side and base walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

In a further form of the invention said actuator wall is formed with upper and lower oppositely orientated parts and opposite edge surfaces of said actuator wall which extend normal to said inner and outer faces thereof and lengthwise of said channel are secured to said channel in liquid tight manner whereby said applied electric field serves to deflect said actuator wall transversely to said channel.

Suitably, said actuator wall is formed with an inactive part intermediate said oppositely orientated parts.

In another form of the invention said actuator wall of piezo-electric material is formed with opposite edge surfaces extending normal to said inner and outer faces and lengthwise of said channel which are secured to said channel and said field electrodes comprise two pairs of opposed electrodes, one electrode of each pair being provided on and extending lengthwise of each of said inner and outer wall faces and said electrodes on the same face of each of said wall faces being spaced apart transversely thereof, whereby fields in respective opposite senses can be imparted to said actuator wall between the electrodes of each of said pairs of opposed electrodes to deflect said actuator wall transversely to said channel.

Suitably, said actuator wall is formed with upper and lower parts and with an inactive part between said upper and lower parts.

In another embodiment, the invention consists in a pulsed droplet deposition apparatus comprising a liquid droplet ejection nozzle, a pressure chamber with which said nozzle communicates and from which said nozzle is supplied with liquid for droplet ejection, a shear mode actuator comprising piezo-electric material and electrode means for applying an electric field thereto, and liquid supply means for replenishing in said chamber liquid expelled from said nozzle by operation of said actuator, characterised in that said actuator comprises unpoled crystalline material orientated for shear mode displacement, under an electric field applied by way of said electrode means, transversely to said field and is disposed so as to be able to move in relation to said chamber under said applied field to change the pressure in the chamber and thereby cause drop ejection from said nozzle.

Preferably, said shear mode actuator is a wall of piezo-electric material having inner and outer faces extending alongside said channel and said electrodes are disposed normal to said faces for applying an

electric field in a direction lengthwise of said wall, said piezo-electric material being orientated so as to be displaceable in shear mode in a direction transversely to said field direction and to said channel to cause droplet ejection from said nozzle. Suitably, said actuator wall is formed with upper and lower oppositely orientated parts and opposite edge surfaces of said actuator wall which extend normal to said inner and outer faces thereof and lengthwise of said channel are secured to said channel in liquid tight manner whereby said applied electric field serves to deflect said actuator wall parts transversely to said channel.

Advantageously, each of said upper and lower wall parts is provided with a series of electrodes correspondingly spaced along the length of said wall, each disposed normal to said inner and outer wall faces and alternate electrodes in each series are electrically connected for application of electric fields in opposite senses in the lengthwise direction of said wall between successive electrodes, the field directions in adjoining parts of the upper and lower wall parts between corresponding pairs of electrodes in the series of the upper and the series of the lower wall part being opposed.

There is for many applications a need to produce multi-channel array pulsed droplet deposition apparatus. The attraction of using piezo-electric actuators for such apparatus is their simplicity and their comparative energy efficiency. Efficiency requires that the output impedance of the actuators is matched to that of the liquid in the associated channels and the corresponding nozzles apertures. An associated requirement of multi-channel arrays is that the electronic drive voltage and current match available, low cost, large scale integrated silicon chip specifications. Also, it is advantageous to construct drop deposition heads having a high linear density, i.e. a high density of liquid channels per unit length of the line of droplets which the head is capable of depositing, so that the specified deposited droplet density is obtained with at most one or two lines of nozzle apertures. A further requirement is that multi-channel array droplet deposition heads shall be capable of mass production by converting a single piezo-electric part into several hundred or thousand individual channels in a parallel production process stage.

It has already been mentioned that the energy efficiency of a cylindrical actuator is not sufficiently good. Mass production of apparatus employing flexural actuators in arrays of sufficiently high density is not feasible. Also, sufficiently high density arrays are not achievable in known shear mode operated systems. The further requirements referred to of multi-channel droplet deposition heads are also not satisfactorily met by flexural or cylindrical forms of actuator. It is accordingly a further object of the invention to provide an improved multi-channel array

pulsed droplet deposition apparatus and method of making the same in which the requirements referred to are better accomplished than in known constructions.

Accordingly, the present invention further consists in a multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus, characterised by opposed top and base walls and shear mode actuator walls of piezo-electric material extending between said top and base walls and arranged in pairs of successive actuator walls to define a plurality of separated liquid channels between the walls of each of said pairs, a nozzle means providing nozzles respectively communicating with said channels, liquid supply means for supplying liquid to said channels for replenishment of droplets ejected from said channels and field electrode means provided on said actuator walls for forming respective actuating fields therein, said actuator walls being so disposed in relation to the direction of said actuating fields as to be laterally deflected by said respective actuating fields to cause change of pressure in the liquid in said channels to effect droplet ejection therefrom. Suitably, said channels are separated by less than the width of a channel. Each channel can be divided longitudinally thereof into two channels by an inactive wall which extends between said top and base walls and normal thereto.

In one form of the array, said piezo-electric material is a piezo-electric ceramic material, such as lead zirconium titanate (PZT), poled in the direction normal to said top and base walls and said electrode means comprise electrode means provided on opposite faces of said actuator walls disposed normal to said top and base walls.

In another form of the array, said piezo-electric material is a crystalline material, such as gadolinium molybdate or Rochelle salt and said electrode means comprise electrodes disposed normal to said actuator walls and to said channels.

The invention further consists in a method of making a multi-channel array pulsed droplet deposition apparatus, characterised by the steps of forming a base wall with a layer of piezo-electric material; forming a multiplicity of parallel grooves in said base wall which extend through said layer of piezo-electric material to afford walls of piezo-electric material between successive grooves, pairs of opposing walls defining between them respective liquid channels; locating electrodes in relation to said walls so that an electric field can be applied to effect shear mode displacement of said walls transversely to said channels; connecting electrical drive circuit means to said electrodes; securing a top wall to said walls to close said liquid channels and providing nozzles and liquid supply means for said liquid channels.

In one form the method of the invention may further be characterised by providing two layers of piezo-electric material on said base wall and forming

said grooves so as to extend through both of said layers to provide said upright walls, with upper and lower parts of each of said upright walls adapted when said electrodes are disposed relatively thereto and subjected to electric fields to deflect in shear mode in the same direction transversely to said channels.

In another form the method of the invention is characterised by providing a layer of piezo-electric material on each of said base and top walls, forming at corresponding spacings in each of said layers of piezo-electric material a multiplicity of parallel grooves to provide upstanding walls on said base wall and on said top wall and securing said top wall to said upright walls of the base wall by securing said upright walls formed on said top wall to corresponding upright walls of said upright walls formed on said base wall, the upright walls on the top wall and the upright walls on the base wall being adapted so that when an electric field is applied thereto at said electrodes the upright walls of said top and base walls deflect in the same direction transversely to said channels.

Suitably, an upright inactive wall can be provided between the walls of each of said pairs of walls between which said channels are disposed, thereby to divide each of said channels longitudinally into two channels.

The invention will now be described, by way of example, with reference to the accompanying diagrammatic drawings, in which:

FIGURE 1(a) is a sectional side elevation of one embodiment of single channel pulsed droplet deposition apparatus in the form of a single channel pulsed ink droplet printhead;

FIGURE 1(b) is a cross-sectional elevation of the printhead of Figure 1(a) taken on the line A-A of that figure;

FIGURE 1(c) is a view similar to Figure 1(b) showing the printhead in the condition where a voltage impulse is applied to the ink channel thereof;

FIGURES 2(a) and 2(b) are cross-sectional elevations of a second embodiment of the printhead of the previous figures, Figure 2(a) showing the printhead before, and Figure 2(b) showing the printhead at the instant of application of an impulse to the ink channel thereof;

FIGURES 3(a) and 3(b) and FIGURES 4(a) and 4(b) are cross-sectional elevations similar to Figures 2(a) and 2(b) of respective third and fourth embodiments of the printhead of the earlier figures;

FIGURES 5(a) and 5(b) illustrate a modification applicable to the embodiments of Figures 1(a), 1(b) and 1(c) and Figures 4(a) and 4(b);

FIGURE 6(a) is a perspective view illustrating the behaviour of a different type of piezo-electric material from that employed in the embodiments of the earlier figures;

FIGURE 6(b) illustrates how field electrodes may

be employed with the material of Figure 6(a); FIGURE 7 is a sectional plan view of a modification applicable to the embodiments of the invention illustrated in the previous figures of drawings;

FIGURE 8 is a cross-section of a modified printhead according to this invention;

FIGURE 9(a) is a sectional end elevation of a pulsed droplet deposition apparatus in the form of a multi-channel array pulsed ink jet printhead; FIGURE 9(b) is a sectional plan view on the line B-B of Figure 9(a);

FIGURE 10(a) is a view similar to Figure 9(a) of a modification of the array printhead of that Figure;

FIGURE 10(b) is a view showing one arrangement of electrode connections employed in the array printhead of Figure 10(a); and

FIGURE 11 is a partly diagrammatic perspective view illustrating a still further modification.

In the Figures, like parts are accorded the same reference numerals.

Referring first to Figures 1(a), 1(b) and 1(c), a single channel pulsed ink droplet printhead 10 consists of a base wall 20 and a top or cover wall 22 between which a single ink channel 24 is formed employing a sandwich construction. The channel is closed by a rigid wall 26 on one side and a shear mode wall actuator 30 on the other. Each of the walls 26 and 30 and the base and cover walls 20 and 22 extend the full length of the channel 24.

The shear-mode actuator consists of a wall 30 of piezo-electric ceramic material, suitably, lead zirconium titanate (PZT), poled in the direction of the axis Z, see Figure 1(b). The wall 30 is constructed in upper and lower parts 32 and 33 which are respectively poled in opposite senses as indicated by the arrows 320 and 330 in Figure 1(c). The parts 32 and 33 are bonded together at their common surface 34 and are rigidly cemented to the cover and base walls. The parts 32 and 33 can alternatively be parts of a monolithic wall of piezo-electric material, as will be discussed. The faces 35 and 36 of the actuator wall are metallised to afford metal electrodes 38, 39 covering substantially the whole height and length of the actuator wall faces 35 and 36.

The channel 24 formed in this way is closed at one end by a nozzle plate 41 in which nozzle 40 is formed and at the other end an ink supply tube 42 is connected to an ink reservoir 44 (not shown) by a tube 46. Typically, the dimensions of the channel 24 are 20-200 μm by 100-1000 μm in section and 10-40 mm in length, so that the channel has a long aspect ratio. The actuator wall forms one of the longer sides of the rectangular cross-section of the channel.

The wall parts 32 and 33 each behave when subjected to voltage V as a stack of laminae which are parallel to the base wall 20 and top or cover wall 22

and which are rotated in shear mode about an axis at the fixed edge thereof, the cover wall in the case of wall part 32 and the base wall in the case of wall part 33, which extends lengthwise with respect to the wall 30. This produces the effect that the laminae move transversely increasingly as their distance from the fixed edge of the stack increases. The wall parts 32 and 33 thus deflect to a chevron disposition as depicted in Figure 1(c).

The single channel printhead 10 described is capable of emitting ink droplets responsively to applying differential voltage pulses V to the shear mode actuator electrodes 38, 39. Each such pulse sets up an electric field in the direction of the Y axis in the two parts of the actuator wall, normal to the poled Z axis. This develops shear distortion in the piezo-electric ceramic and causes the actuator wall 30 to deflect in the Y axis direction as illustrated in Figure 1(c) into the ink jet channel 24. This displacement establishes a pressure in the ink the length of the channel. Typically a pressure of 30-300 kPa is applied to operate the printhead and this can be obtained with only a small mean deflection normal to the actuator wall since the channel dimension normal to the wall is also small.

Dissipation of the pressure developed in this way in the ink, provided the pressure exceeds a minimum value, causes a droplet of ink to be expelled from the nozzle 40. This occurs by reason of an acoustic pressure step wave which travels the length of the channel to dissipate the energy stored in the ink and actuator. The volume strain or condensation as the pressure wave recedes from the nozzle develops a flow of ink from the nozzle outlet aperture for a period L/a , where a is the effective acoustic velocity of ink in the channel which is of length L. A droplet of ink is expelled during this period. After time L/a the pressure becomes negative, ink emission ceases and the applied voltage can be removed. Subsequently, as the pressure wave is damped, ink ejected from the channel is replenished from the ink supply and the droplet expulsion cycle can be repeated.

A shear mode actuator of the type illustrated is found to work most efficiently in terms of the pressure generated in the ink and volume of ink droplet expelled when a careful choice of optimum dimensions of the actuator and channel is made. Improved design may also be obtained by stiffening the actuator wall with layers of a material whose modulus of elasticity on the faces of the actuator exceeds that of the ceramic: for example, if the metal electrodes are deposited with thickness greater than is required merely to function as electrodes and are formed of a metal whose elastic modulus exceeds that of the piezo-electric ceramic, the wall has substantially increased flexural rigidity without significantly increasing its shear rigidity. Nickel or rhodium are materials suitable for this purpose. The wall thickness and ink channel width can then be reduced and a

more compact printhead thus made. The same effect is accomplished by applying a passivation coating to the wall surfaces, such as aluminium oxide (Al_2O_3) or silicon nitride (Si_3N_4) over the metal electrodes of the actuator whose thickness exceeds that required for insulation alone, since these materials are also more rigid than the piezo-electric ceramic. Other means of stiffening the actuator wall are discussed hereinafter and one such means in particular with reference to Figure 7.

A shear mode actuator such as that described possesses a number of advantages over flexural and cylindrical types of actuator. Piezo-electric ceramic used in the shear mode does not couple other modes of piezo-electric distortion. Energisation of the actuator illustrated therefore causes deformation into the channel efficiently without dissipating energy into the surrounding printhead structure. Such flexure of the actuator as occurs retains stored energy compliantly coupled with the energy stored in the ink and contributes to the energy available for droplet ejection. The benefit obtained from rigid metal electrodes reinforces this advantage of this form of actuator. When the actuator is provided in an ink channel of long aspect ratio which operates using an acoustic travelling pressure wave, the actuator compliance is closely coupled with the compliance of the ink and very small actuator deflections (5-200 nm) generate a volume displacement sufficient to displace an ink droplet. For these reasons a shear mode actuator proves to be very efficient in terms of material usage and energy, is flexible in design and capable of integration with low voltage electronic drive circuits.

Single channel shear mode actuators can be constructed in several different forms, examples of which are illustrated in Figures 2 to 7. Each of the actuators illustrated in Figures 2 to 5 and 7 is characterised in that it is formed from poled material and the poled axis Z of the actuator lies parallel to the actuator wall surfaces extending between the base wall 20 and cover wall 22 and the actuating electric field is normal to the poled axis Z and the axis of the channel. Deflection of the actuator is along the field axis Y. In each case also the actuator forms one wall of a long aspect ratio acoustic channel, so that actuation is accomplished by a small displacement of the wall acting over a substantial area of the channel side surface. Droplet expulsion is the consequence of pressure dissipation via an acoustic travelling wave.

The shear mode actuator in Figures 2(a) and 2(b) is termed a strip seal actuator. The illustration shows the corresponding printhead 10 including the base wall 20, cover wall 22 and rigid side wall 26. The shear mode wall actuator enclosing the ink jet channel 24 is in this instance a cantilever actuator 50 having a compliant strip seal 54. This is built using a single piece of piezo-electric ceramic 52 poled in the direction of the axis Z and extending the length of the ink jet chan-

nel. The faces 55, 56 of the ceramic extending between the base and cover are metallised with metal electrodes 58, 59 covering substantially the whole areas thereof. The ceramic is rigidly bonded at one edge to the base 20 and is joined to the cover 22 by the compliant sealing strip 54 which is bonded to the actuator 50 and the cover 22. The channel as previously described is closed at one of its respective ends by a nozzle plate 41 formed with a nozzle 40 and, at the other end, tube 42 connects the channel with ink reservoir 44.

In the case of Figures 2(a) and 2(b), actuation by applying an electric field develops shear mode distortion in the actuator, which deflects in cantilever mode and develops pressure in the ink in the channel. The performance of the actuator has the best characteristics when careful choice is made of the dimensions of the actuator and channel, the dimensions and compliance of the metal electrodes 58, 59 being also preferably optimised. The deflection of the actuator is illustrated in Figure 2(b).

An alternative design of shear mode actuator is illustrated in Figures 3(a) and 3(b), in which case a compliant seal strip 541 is continuous across the surface of the cover 22 adjoining the fixed wall 26 and the actuator 50. A seal strip of this type has advantages in construction but is found to perform less effectively after optimisation of the parameters is carried out than the preceding designs.

Referring now to Figures 4(a) and 4(b) a shear mode wall actuator 60 comprises a single piece of piezo-electric ceramic 61 poled in the direction of the axis Z normal to the top and base walls. The ceramic piece is bonded rigidly to the base and top walls. The faces 65 and 66 are metallised with metal electrodes 68, 69 in their lower half and electrodes 68' and 69' in their upper half, connections to the electrodes being arranged to apply field voltage V in opposite senses in the upper and lower halves of the ceramic piece. A sufficient gap is maintained between the electrodes 68 and 68', 69 and 69' to ensure that the electric fields in the ceramic are each below the material voltage breakdown. Although in this embodiment the shear mode wall actuator is constructed from a single piece of ceramic, because of its electrode configuration which provides opposite fields in the upper and lower half thereof it has a shear mode deflection closely similar to that of the two part actuator in Figures 1(a) and 1(b).

Referring now to Figures 5(a) and 5(b), an actuator wall 400 has upper and lower active parts 401, 402 poled in the direction of the Z axis and an inactive part 410 therebetween. Electrodes 403, 404 are disposed on opposite sides of wall part 401 and electrodes 405 and 406 are disposed on opposite sides of wall part 402. If the wall parts 401 and 402 are poled in opposite senses, a voltage V is applied through connections (not shown) in the same sense

along the Y axis to the electrode pairs 403, 404 and 405, 406 but if the wall parts 401, 402 are poled in the same sense the voltage V is applied in opposite senses to the electrode pairs 403, 404 and 405, 406. In either case the deflection of the wall actuator is as shown in Figure 5(b).

In the case of the embodiments described, with the exception of that form of Figure 1(b) where the actuator wall parts are joined at the surface 34, the base wall 20, side wall 26 and actuator wall facing wall 26 can be made from material of rectangular cross-section comprising a single piece of piezo-electric ceramic material or a laminate including one or more layers of piezo-electric ceramic material and cutting a groove of rectangular cross-section through the piezo-electric material to form channel 24 side wall 26 and the facing actuator wall which is then or previously has been electrically poled in known manner as required. Cover or top wall 22 is then secured directly or by a sealing strip as dictated by the embodiment concerned to the uppermost surfaces of the side walls to close the top side of the channel 24. Thereafter, nozzle plate 41 in which nozzle 40 is formed is rigidly secured to one end of the channel.

As an alternative to piezo-electric ceramic, certain crystalline materials such as gadolinium molybdate (GMO) or Rochelle salt can be employed in the realisation of the above described embodiments. These are unpoled materials which provided they are cut to afford a specific crystalline orientation, will deflect in shear mode normal to the direction of an applied field. This behaviour is illustrated in Figure 6(a) which shows a wall 500 of GMO having upper and lower wall parts 502, 504 disposed one above the other and secured together at a common face 506. The wall parts are cut in the plane of the 'a' and 'b' axes and so that the 'a' and 'b' axes in the upper wall part are normal to those axes in the lower wall part. When upper face 508 of wall part 502 and lower face 510 of wall part 504 are held fixed and electric fields indicated by arrows 512 and 514 (which can be oppositely directed or directed in the same sense) are applied respectively to the wall parts 502 and 504, lateral shear mode deflection occurs. As shown in broken lines 516, 518, 520 this deflection is a maximum on the common face 506 and tapers to zero at the faces 508 and 510. It will be apparent that as with the embodiment of Figures 5(a) and 5(b) the wall parts 502 and 504 may be provided therebetween with an inactive wall part. This arrangement is appropriate with GMO whose activity is typically 100 times that of PZT.

The preferred electrode arrangement is shown in Figure 6(b) where electrodes 522 and 524 are provided at opposite ends of the wall 500 and electrodes 526 and 528 are provided at intermediate equally spaced locations along the wall. The electrodes 522 and 528 are connected together to terminal 530 as are

the electrodes 524 and 526 to terminal 532. A voltage is applied between said terminals resulting in electric fields 534 and 540 in the wall parts between the electrodes 522 and 526, electric fields 536 and 542 in the wall parts between the electrodes 526 and 528, and electric fields 538 and 544 between the electrodes 528 and 524, all the fields being directed as shown by the arrows. Rochelle salt behaves generally in a similar manner to GMO.

In the modification illustrated in sectional plan view in Figure 7, which is applicable to all the previously described embodiments of the invention as well as to those depicted in Figures 9(a) and 9(b) and 10(a) and 10(b), the rigid wall 26 and the opposite actuator wall (30, 50, 60 and 400 of the embodiments illustrated in the previous drawings) with its electrodes are of sinuous form in plan view to afford stiffening thereof as an alternative to using thickened or coated electrodes as previously described.

An alternative way of stiffening the actuator walls is to taper the walls where they are single part active walls and to tape each active part where the walls each have two active parts from the root to tip of each active part. By "root" is meant the fixed location of the wall or wall part. The tapering is desirably such that the tip is 80 per cent or more of the thickness of the root. With such a configuration, the field across the tip of the actuator wall or wall part is stronger than the field across the root so that greater shear deflection occurs at the tip than at the root. Also, the wall or wall part is stiffer because it is thicker where it is subject to the highest bending moment, in the root.

It will be appreciated that other forms of single channel printheads apart from those so far described, can be made within the ambit of the invention. Referring for example to Figure 8, a channel 29 is made by cutting or otherwise forming generally triangular section grooves 801 in respective facing surfaces of two similar pieces of material 803 which may comprise piezo-electric ceramic material or may each include a layer of such material in which the generally triangular groove is formed. The facing surfaces 805 of said pieces of material are secured together to form the channel after the piezo-electric material at the side of the groove of one of the pieces and at a corresponding side of the groove of the other of said pieces has been applied thereto the field electrodes 807. The actuator thus formed is of the two part wall form shown in Figures 1(a) and 1(b) but with the actuator wall parts forming two adjacent side walls of the channel.

Referring now to Figures 9(a) and 9(b), a pulsed droplet ink jet printhead 600 comprises a base wall 601 and a top wall 602 between which extend shear mode actuator walls 603 having oppositely poled upper and lower wall parts 605, 607 as shown by arrows 609 and 611 the poling direction being normal to the top and base walls. The walls 603 are arranged in pairs to define channels 613 therebetween and bet-

ween successive pairs of the walls 603 which define the channel 613 are spaces 615 which are narrower than the channels 613. At one end of the channels 615 is secured a nozzle plate 617 formed with nozzles 618 for the respective channels and at opposite sides of each actuator wall 603 are electrodes 619 and 621 in the form of metallised layers applied to the actuator wall surfaces. The electrodes are passivated with an insulating material (not shown) and the electrodes which are disposed in the spaces 615 are connected to a common earth 623 whilst the electrodes in the channels 613 are connected to a silicon chip 625 which provides the actuator drive circuits. As already described in connection with Figures 1 to 5 the wall surfaces of the actuator walls carrying the electrodes may be stiffened by thickening or coating of the electrodes or, as described in relation to Figure 7, by making the walls of sinuous form.

In operation, a voltage applied to the electrodes in each channel causes the walls facing the channel to be displaced into the channel and generate pressure in the ink in the channel. Pressure dissipation causes ejection of a droplet from the channel in a period L/a where L is the channel length and a is the velocity of the acoustic pressure wave. The voltage pulse applied to the electrodes of the channel is held for the period L/a for the condensation of the acoustic wave to be completed. The droplet size can be made smaller by terminating the voltage pulse before the end of the period L/a or by varying the amplitude of the voltage. This is useful in tone and colour printing.

The printhead 600 is manufactured by first laminating pre-poled layers of piezo-electric ceramic to base and top walls 601 and 603, the thickness of these layers equating to the height of the wall parts 605 and 607. Parallel grooves are next formed by cutting with parallel, diamond dust impregnated, disks mounted on a common shaft or by laser cutting at the spacings dictated by the width of the channels 613 and spaces 615. Depending on the linear density of the channels this may be accomplished in one or more passes of the disks. The electrodes are next deposited suitably, by vacuum deposition, on the surfaces of the poled wall parts and then passivated by applying a layer of insulation thereto and the walls parts 605, 607 are cemented together to form the channels 613 and spaces 615. Next the nozzle plate 617 in which the nozzles have been formed is bonded to the part defining the channels and spaces at common ends thereof after which, at the ends of the spaces and channels remote from the nozzle plate 617, the connections to the common earth 623 and chip 625 are applied.

The construction described enables pulsed ink droplet array printheads to be made with channels at linear densities of 2 or more per mm so that much higher densities are achievable by this mode of construction than has hitherto been possible with array

printheads. Printheads can be disposed side by side to extend the line of print to desired length and closed spaced parallel lines of printheads directed towards a printline or corresponding printlines enable high density printing to be achieved. Each channel is independently actuated and has two active walls per channel although it is possible to depole walls at corresponding sides of each channel after cutting of the channel and intervening space grooves.

This would normally be done by heating above the Curie temperature by laser or by suitable masking to leave exposed the walls to be depoled and then subjecting those walls to radiant heat to raise them above the Curie temperature.

In another construction, illustrated in Figures 10(a) and 10(b), inactive walls 630 can be formed which divide each liquid channel 613 longitudinally into two such channels having side walls defined respectively by one of the active walls 603 and one of the inactive walls 630. The walls 630 may be rendered inactive by depoling as described or by an electrode arrangement as shown in Figure 10(b) in which it will be seen that electrodes on opposite sides of the walls 630 which are poled are held at the same potential so that the walls 630 are not activated whilst the electrodes at opposite sides of the active walls apply an electric field thereto to effect shear mode deflection thereof.

The construction of Figures 10(a) and 10(b) is less active than that of Figures 9(a) and 9(b) and therefore needs higher voltage and energy for its operation.

Shear mode actuation does not generate in the channels significant longitudinal stress and strains which give rise to cross-talk. Also, as poling is normal to the sheet of piezo-electric material laminated to the base and top or cover walls, the piezo-electric material is conveniently provided in sheet form.

It will be apparent to those skilled in the art that the construction of the embodiment described with reference to Figures 9(a) and 9(b) and 10(a) and 10(b) can be achieved by methods modified somewhat from those described. For example, the oppositely poled layers could be cemented together and to the base or cover wall and the channel and space grooves 613 and 615 formed thereafter by cutting with disks or by laser. The electrodes and their insulating layers would thereafter be applied prior to securing the nozzle plate 617 and making the earth and silicon chip connections.

In a further modification of the structure and method of construction of the pulsed droplet ink jet array printhead described with reference to Figures 9(a) and 9(b), a single sheet of piezo-electric material is poled perpendicularly to opposite top and bottom surfaces of the sheet the poling being in respective opposite senses adjacent said top and bottom surfaces. Between the oppositely poled regions there

may be an inactive region. The sheet is laminated to a base layer and the cutting of the channel and intervening space grooves then follows and the succeeding process steps are as described for the modification in which oppositely poled layers are laminated to the base layer and grooves formed therein. Alternatively, the base and top walls may each have a sheet of poled piezo-electric material laminated thereto, the piezo-electric material being poled normal to the base or top wall to which it is secured. Laminated to each sheet of piezo-electric material is a further sheet of inactive material so that respective three layer assemblies are provided in which the grooves to form the shear mode actuator walls are cut or otherwise formed. Electrodes are then applied to the actuator walls as required and the assemblies are mutually secured with the grooves of one assembly in facing relationship with those of the other assembly thereby to form the ink channels and spaces between said channels.

It will be understood that the multi-channel array embodiments of the invention can be realised with the ink channels thereof employing shear mode actuators of the forms described in connection with Figures 1 to 7 thereof.

Although in the embodiments of the invention described above, the ink supply is connected to the end of the ink channel or ink channel array remote from the nozzle plate, the ink supply can be connected at some other point of the channel or channels intermediate the ends thereof. Furthermore, it is possible as shown in Figure 11, to effect supply of ink by way of the nozzle or nozzles. The nozzle plate 741, includes a recess 743 around each nozzle 740, in the surface of the nozzle plate remote from the channels. Each such recess 743 has an edge opening to an ink reservoir shown diagrammatically at 744. The described acoustic wave causes, on actuation of a channel, an ink droplet to be ejected from the open ink surface immediately above the nozzle. Ink in the channel is then replenished from the recess 743, which is in turn replenished from the reservoir 744.

Although the described embodiments of the invention concern pulsed droplet ink jet printers, the invention also embraces other forms of pulsed droplet deposition apparatus, for example, such apparatus for depositing a coating without contact on a moving web and apparatus for depositing photo resist, sealant, etchant, dilutant, photo developer, dye etc. Further, it will be understood that the multi-channel array forms of the invention described may instead of piezo-electric ceramic materials employ piezo-electric crystalline substances such as GMO and Rochelle salt.

Reference is made to co-pending application No. 88300146.3 the disclosure of which is hereby incorporated herein by reference.

Claims

1. A pulsed droplet deposition apparatus comprising a liquid droplet ejection nozzle (40, 618, 740), a pressure chamber (24, 613) with which said nozzle communicates and from which said nozzle is supplied with liquid for droplet ejection, a shear mode actuator (30, 50, 60, 400, 500, 603) comprising poled piezo-electric material and electrode means (38, 39, 58, 59, 68, 69, 68', 69', 403, 404, 405, 406, 522, 524, 526, 528, 619, 621) for applying an electric field thereto, and liquid supply means (42, 44, 46, 743, 744) for replenishing in said chamber liquid expelled from said nozzle by operation of said actuator, characterised in that said actuator is disposed so as to be able under an electric field applied between said electrode means to move in relation to said chamber in shear mode in the direction (Y) of said field to change the liquid pressure in said chamber and thereby cause droplet ejection from said nozzle.

2. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 1, characterised in that said chamber has a side wall of which said actuator forms a part at least, the liquid of said chamber and said actuator being thereby closely coupled.

3. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 2, characterised in that said chamber is of generally rectangular cross-section formed by a pair of opposed longer side walls (26, 30, 28, 50, 26, 60, 26, 400, 603) and a pair of opposed shorter side walls (20, 22, 601, 602) and said actuator provides part at least of one of said longer side walls.

4. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any preceding claim and in which said chamber comprises a channel (24, 613), characterised in that said shear mode actuator is provided in a wall of piezo-electric material having inner and outer wall faces (35, 36, 65, 66) extending alongside said channel and said electrode means comprise electrodes which are provided on and extend over substantial parts of said wall faces for applying an electric field in a direction transversely to said wall faces, said piezo-electric material being disposed so as to be displaceable in shear mode in the direction of said field transversely to said channel to cause droplet ejection from said nozzle.

5. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 4, characterised in that said actuator wall extends a substantial part of the length of said channel from said nozzle.

6. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 4 or Claim 5, characterised in that said actuator wall of piezo-electric material has opposite substantially parallel edge surfaces extending normal to said inner and outer wall faces along which it is connected to said channel in liquid tight manner, one of said edge surfaces being rigidly connected to said channel and a compliant sealing strip (54, 541)

connecting the other of said edge surfaces to said channel.

7. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 6 and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls (20, 22) and opposed side walls (50, 26) sandwiched between said top and base walls, one of said side walls forming said actuator wall, characterised in that said sealing strip extends over the whole of a surface of the top wall adjoining the side walls.

8. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 6 or Claim 7, and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls (20, 22) and opposed side walls (30, 24, 50, 24, 60, 24, 400, 24), one of said side walls providing said actuator wall, characterised in that said side and base walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

9. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 4, characterised in that said actuator wall (30) of piezo-electric material is formed with upper and lower oppositely orientated parts (32, 33) and opposite edge surfaces of said actuator wall which extend normal to said inner and outer faces (35, 36) thereof and lengthwise of said channel are secured to said channel in liquid tight manner whereby said applied electric field serves to deflect said actuator wall transversely to said channel.

10. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 9, characterised in that said actuator wall (30) is formed with an inactive part intermediate said oppositely orientated parts.

11. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 4 or Claim 5, characterised in that said actuator wall (60) of piezo-electric material is formed with opposite edge surfaces extending normal to said inner and outer faces (66, 65) and lengthwise of said channel (24) which are secured to said channel and in that said electrodes comprise two pairs of opposed electrodes (68, 69, 68', 69'), one electrode of each pair being provided on and extending lengthwise of each of said inner and outer wall faces and said electrodes on the same face of each of said wall faces being spaced apart transversely thereof, whereby fields in respective opposite senses can be imparted to said actuator wall between the electrodes of each of said pairs of opposed electrodes to deflect said actuator wall transversely to said channel.

12. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 11, characterised in that said actuator wall is formed with upper and lower parts and with an inactive part between said upper and lower parts.

13. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 9 to 12 and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls (22, 20) and opposed side walls (30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 26), one of said

side walls providing said actuator wall, characterised in that said side and base walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

14. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 9 to 12, characterised in that said channel is formed from two similar pieces (803) of piezo-electric material and each formed in a corresponding side thereof with a groove (801) of generally triangular section, said pieces being secured together with said grooves in mutually facing disposition to form said channel, two adjoining sides of which provided respectively by said similar pieces of piezo-electric material together constituting said actuator wall.

15. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 4 to 14, characterised in that said nozzle (40, 618) and said liquid supply means (42, 44, 46) are connected to said channel at respective opposite ends thereof.

16. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 4 to 14, characterised in that said liquid supply means (743, 744) are connected to said channel for liquid replenishment therein by way of said nozzle (740).

17. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 4 to 13, characterised in that said inner and outer faces of said actuator wall (30, 50, 60, 400) are sinuous in plan view.

18. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 17, characterised in that said inner and outer sinuous wall faces of said actuator wall (30, 50, 60, 400) extend in parallel.

19. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any preceding claim, characterised in that said electrodes are coated with a layer of material having an elastic modulus greater than that of the actuator material which serves to increase the flexural rigidity of said actuator more than the shear rigidity thereof.

20. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 19, characterised in that said layer comprises a layer of insulating material.

21. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any preceding claim, characterised in that said electrodes are made of thickness greater than that required for electrical functioning thereof.

22. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any preceding claim, characterised in that said piezo-electric material is a poled ferroelectric ceramic such as lead zirconium titanate (PZT).

23. A pulsed droplet deposition apparatus comprising a liquid droplet ejection nozzle (40), a pressure chamber (24) with which said nozzle communicates and from which said nozzle is supplied with liquid for droplet ejection, a shear mode actuator (500) comprising piezo-electric material and electrode means (522, 524, 526, 528) for applying an electric field

thereto, and liquid supply means (42, 44, 46, 743, 744) for replenishing in said chamber liquid expelled from said nozzle by operation of said actuator, characterised in that said actuator comprises unpoled crystalline material orientated for shear mode displacement, under an electric field applied by way of said electrode means, transversely to said field and is disposed so as to be able to move in relation to said chamber under said applied field to change the pressure in the chamber and thereby cause droplet ejection from said nozzle.

24. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in claim 23, characterised in that said chamber has a side wall of which said actuator (500) forms a part at least, the liquid of said chamber and said actuator being thereby closely coupled.

25. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in claim 24, characterised in that said chamber is of generally rectangular cross-section formed by a pair of opposed longer side walls (26, 500) and a pair of opposed shorter side walls (20, 22, 601, 602) and said actuator provides part at least of one of said longer side walls.

26. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any one of Claims 23 to 25, and in which said chamber comprises a channel (24, 613), characterised in that said shear mode actuator is a wall (500) of piezo-electric material having inner and outer faces extending alongside said channel and said electrodes (522, 524, 526, 528) are disposed normal to said faces for applying an electric field in a direction lengthwise of said wall, said piezo-electric material being orientated so as to be displaceable in shear mode in a direction transversely to said field direction and to said channel to cause droplet ejection from said nozzle.

27. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 26, characterised in that said actuator wall (500) extends a substantial part of the length of said channel from said nozzle.

28. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 26 or Claim 27, characterised in that said actuator wall has opposite substantially parallel edge surfaces extending normal to said inner and outer wall faces along which it is connected to said channel in liquid tight manner, one of said edge surfaces being secured to said channel and a compliant sealing strip (54, 541) connecting the other of said edge surfaces to said channel.

29. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 28, and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls (20, 22) and opposed side walls (500, 26) sandwiched between said top and base walls, one of said side walls forming said actuator wall, characterised in that said sealing strip (541) extends over the whole of a surface of the top wall adjoining the side walls.

30. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 28 or Claim 29, and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls (20, 22) and opposed side walls (26, 500), one of said side walls providing said actuator wall, characterised in that said side and base walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

31. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 26, characterised in that said actuator wall is provided with a series of electrodes (522, 524, 526, 528) spaced along the length of said wall, each disposed normal to said inner and outer wall faces and alternate electrodes in said series are electrically connected for application of electric fields in opposite senses in the lengthwise direction of said wall between successive electrodes of said series.

32. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 26, characterised in that said actuator wall is formed with upper and lower oppositely orientated parts (502, 504) and opposite edge surfaces of said actuator wall which extend normal to said inner and outer faces thereof and lengthwise of said channel are secured to said channel in liquid tight manner whereby said applied electric field serves to deflect said actuator wall parts transversely to said channel.

33. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 32, characterised in that each of said upper and lower wall parts is provided with a series of electrodes (522, 524, 526, 528) correspondingly spaced along the length of said wall, each disposed normal to said inner and outer wall faces and alternate electrodes in each series are electrically connected for application of electric fields in opposite senses in the lengthwise direction of said wall between successive electrodes, the field directions in adjoining parts of the upper and lower wall parts between corresponding pairs of electrodes in the series of the upper and the series of the lower wall part being opposed.

34. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 32 or Claim 33, and in which said channel is of rectangular cross-section having opposed top and base walls and opposed side walls, one of said side walls providing said actuator wall, characterised in that said side and base walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

35. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 32 or Claim 33, characterised in that said channel is formed from two similar pieces of material (803) including piezo-electric material and each formed in a corresponding side thereof with a groove (801) of generally triangular section, said pieces being secured together with said grooves in mutually facing disposition to form said channel, two adjoining sides of which provided respectively by said similar pieces of piezo-electric material together constituting

said actuator wall.

36. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any one of Claims 32 to 35, characterised in that said actuator wall is formed with an intermediate inactive wall part between said upper and lower oppositely orientated wall parts.

37. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 36, characterised in that said intermediate inactive wall part is substantially longer in the direction between said upper and lower parts than either of said upper and lower wall parts.

38. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any one of Claims 26 to 37, characterised in that said nozzle (40, 618) and said liquid supply means (42, 44, 46) are connected to said channel at respective opposite ends thereof.

39. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 26 to 37, characterised in that said liquid supply means (743, 744) are connected to said channel for liquid replenishment therein by way of said nozzle.

40. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any one of Claims 26 to 39, characterised in that said inner and outer faces of said actuator wall (500) are sinuous in plan view.

41. A pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 40, characterised in that said inner and outer sinuous wall faces of said actuator wall (500) extend in parallel.

42. A pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in any one of Claims 23 to 39, characterised in that said piezoelectric material is gadolinium molybdate or Rochelle salt.

43. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus, characterised by opposed top and base walls (602, 601) and shear mode actuator walls (603, 500) of piezo-electric material extending between said top and base walls and arranged in pairs of successive actuator walls to define a plurality of separated liquid channels (613) between the walls of each of said pairs, a nozzle means (617) providing nozzles (618) respectively communicating with said channels, liquid supply means (42, 44, 46, 743, 744) for supplying liquid to said channels for replenishment of droplets ejected from said channels and field electrode means (619, 621, 522, 524, 526, 528) provided on said actuator walls for forming respective actuating fields therein, said actuator walls being so disposed in relation to the direction of said actuating fields as to be laterally deflected by said respective actuating fields to cause change of pressure in the liquid in said channels to effect droplet ejection therefrom.

44. A multi-channel array, pulsed drop deposition apparatus as claimed in Claim 43, characterised in that said channels (613) are separated by less than the width of a channel.

45. A multi-channel array, pulsed drop deposition apparatus, as claimed in Claim 43 or Claim 44,

characterised in that said base and actuator walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material.

46. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 43 to 45, characterised in that a sealing strip (541) extends over the surface of said top wall facing said actuator walls.

47. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus as claimed in Claim 43 or Claim 44, characterised in that each of said actuator walls (500) is formed with an upper part and a lower part (502, 504), said wall parts being orientated for lateral shear mode displacement relatively to said channels to effect droplet ejection therefrom.

48. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus, as claimed in Claim 47, characterised in that said top wall (602) and said upper parts (502, 605) of said actuator walls are formed from a single piece of material including piezo-electric material and said base wall (601) and said lower parts (504, 607) of said actuator walls are formed from a further single piece of piezo-electric material.

49. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 43 to 48, characterised in that each channel is divided longitudinally thereof into two channels by an inactive wall (630) which extends between said top and base walls and normal thereto.

50. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 43 to 49, characterised in that said piezo-electric material is a piezo-electric ceramic material, such as lead zirconium titanate (PZT), poled in the direction normal to said top and base walls and said electrode means comprise electrodes (619, 621) provided on opposite faces of said actuator walls disposed normal to said top and base walls.

51. A multi-channel array, pulsed droplet deposition apparatus as claimed in any one of Claims 43 to 49, characterised in that said piezo-electric material is an unpoled crystalline material, such as gadolinium molybdate or Rochelle salt and said electrode means comprise electrodes (522, 524, 526, 528) disposed normal to said actuator walls and to said channels.

52. The method of making a multi-channel array pulsed droplet deposition apparatus, characterised by the steps of

- (a) forming a base wall (601) with a layer of piezo-electric material
- (b) forming a multiplicity of parallel grooves (613, 615) in said base wall which extend through said layer of piezo-electric material to afford walls (603) of piezo-electric material between successive grooves, pairs of opposing walls defining between them respective liquid channels (613)
- (c) locating electrodes (619, 621, 522, 524, 526, 528) in relation to said walls so that an electric

field can be applied to effect shear mode displacement of said walls transversely to said channels

(d) connecting electrical drive circuit means (625) to said electrodes

(e) securing a top wall (602) to said walls to close said liquid channels

(f) providing nozzles (618, 740) and liquid supply means (42, 44, 46, 743, 744) for said liquid channels.

53. The method claimed in Claim 52, further characterised by providing two layers of piezo-electric material on said base wall and forming said grooves so as to extend through both of said layers to provide said upright walls (603), with upper and lower parts (605, 607) of each of said upright walls adapted when said electrodes are disposed relatively thereto and subjected to electric fields to deflect in shear mode in the same direction transversely to said channels.

54. The method claimed in Claim 52, further characterised by providing a layer of piezo-electric material on each of said base and top walls (601, 602), forming at corresponding spacings in each of said layers of piezo-electric material a multiplicity of parallel grooves (613, 615) to provide upstanding walls (607, 605) on said base wall and on said top wall and securing said top wall to said upright walls of the base wall by securing said upright walls formed on said top wall to corresponding upright walls of said upright walls formed on said base wall, the upright walls on the top wall and the upright walls on the base wall being adapted so that when an electric field is applied thereto at said electrodes the upright walls of said top and base walls deflect in the same direction transversely to said channels.

55. The method claimed in any one of Claims 52 to 54, further characterised by providing an upright inactive wall (630) between the walls of each of said pairs of walls between which said channels are disposed, thereby to divide each of said channels longitudinally into two channels.

56. The method claimed in Claim 55, further characterised by locating electrodes relatively to said inactive walls and maintaining, during operation, said electrodes at equal potentials to prevent shear mode displacement of said inactive walls.

57. The method claimed in any one of Claims 52 to 56, characterised in that said liquid supply means (42, 44, 46) are provided at ends of the channels remote from said nozzles (618).

58. The method claimed in any one of Claims 52 to 56, characterised in that said liquid supply means (743, 744) are provided at respective ends of said channels adjacent said nozzles (618, 740) for replenishment through said nozzles of liquid in said channels expelled from said nozzles.

59. The method claimed in any one of Claims 52 to 58, characterised in that PZT is employed as said

piezo-electric material.

60. The method claimed in any one of Claims 52 to 58, characterised in that a piezo-electric crystalline material such as GMO or Rochelle salt is employed as said piezo-electric material.

Ansprüche

1. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung mit einer Ausstoßdüse (40, 618, 740) für Flüssigkeitströpfchen, mit einer Druckkammer (24, 613), mit der die Düse strömungsmäßig in Verbindung steht und von welcher aus die Düse mit der Flüssigkeit zum Ausstoß der Tröpfchen versorgt wird, mit einer Schubschwingungsart-Betätigungsvorrichtung (30, 50, 60, 400, 500, 603) mit einem gepolten piezoelektrischen Material und mit Elektrodenmitteln (38, 39, 58, 59, 68, 69, 68', 69', 403, 404, 405, 406, 522, 524, 526, 528, 619, 621), um an das genannte Material ein elektrisches Feld anzulegen, mit einer Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46, 743, 744), um die Flüssigkeit in der Kammer, die durch den Betrieb der Betätigungsvorrichtung über die Düse ausgestoßen wurde, wieder zu ergänzen, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungsvorrichtung so angeordnet ist, daß sie bei Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen den Elektrodenmitteln sich relativ zur Kammer in einer Schubschwingungsart in der Richtung (Y) des Feldes bewegen kann, um den Flüssigkeitsdruck in der Kammer zu ändern und um dadurch einen Tröpfchenausstoß aus der Düse zu bewirken.

2. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer eine Seitenwand aufweist, von der die Betätigungsvorrichtung wenigstens einen Teil bildet, so daß die Flüssigkeit in der Kammer dadurch dicht bzw. eng an die Betätigungsvorrichtung gekoppelt ist.

3. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer einen allgemein rechteckförmigen Querschnitt hat und durch ein Paar von sich gegenüberliegenden längeren Seitenwänden (26, 30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 603) und einem Paar von sich gegenüberliegenden kürzeren Seitenwänden (20, 22, 601, 602) gebildet ist und daß die Betätigungsvorrichtung einen Teil von wenigstens einer der längeren Seitenwände bildet.

4. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Kammer einen Kanal (24, 613), aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Schubschwingungsart-Betätigungsvorrichtung in einer Wand des piezoelektrischen Materials mit inneren und äußeren Wandflächen (35, 36, 65, 66) vorgesehen ist, die sich in Längsrichtung des Kanals



field can be applied to effect shear mode displacement of said walls transversely to said channels

(d) connecting electrical drive circuit means (625) to said electrodes

(e) securing a top wall (602) to said walls to close said liquid channels

(f) providing nozzles (618, 740) and liquid supply means (42, 44, 46, 743, 744) for said liquid channels.

53. The method claimed in Claim 52, further characterised by providing two layers of piezo-electric material on said base wall and forming said grooves so as to extend through both of said layers to provide said upright walls (603), with upper and lower parts (605, 607) of each of said upright walls adapted when said electrodes are disposed relatively thereto and subjected to electric fields to deflect in shear mode in the same direction transversely to said channels.

54. The method claimed in Claim 52, further characterised by providing a layer of piezo-electric material on each of said base and top walls (601, 602), forming at corresponding spacings in each of said layers of piezo-electric material a multiplicity of parallel grooves (613, 615) to provide upstanding walls (607, 605) on said base wall and on said top wall and securing said top wall to said upright walls of the base wall by securing said upright walls formed on said top wall to corresponding upright walls of said upright walls formed on said base wall, the upright walls on the top wall and the upright walls on the base wall being adapted so that when an electric field is applied thereto at said electrodes the upright walls of said top and base walls deflect in the same direction transversely to said channels.

55. The method claimed in any one of Claims 52 to 54, further characterised by providing an upright inactive wall (630) between the walls of each of said pairs of walls between which said channels are disposed, thereby to divide each of said channels longitudinally into two channels.

56. The method claimed in Claim 55, further characterised by locating electrodes relatively to said inactive walls and maintaining, during operation, said electrodes at equal potentials to prevent shear mode displacement of said inactive walls.

57. The method claimed in any one of Claims 52 to 56, characterised in that said liquid supply means (42, 44, 46) are provided at ends of the channels remote from said nozzles (618).

58. The method claimed in any one of Claims 52 to 56, characterised in that said liquid supply means (743, 744) are provided at respective ends of said channels adjacent said nozzles (618, 740) for replenishment through said nozzles of liquid in said channels expelled from said nozzles.

59. The method claimed in any one of Claims 52 to 58, characterised in that PZT is employed as said

piezo-electric material.

60. The method claimed in any one of Claims 52 to 58, characterised in that a piezo-electric crystalline material such as GMO or Rochelle salt is employed as said piezo-electric material.

Ansprüche

10 1. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Nieder-
schlagvorrichtung mit einer Ausstoßdüse (40, 618,
740) für Flüssigkeitströpfchen, mit einer Druckkam-
mer (24, 613), mit der die Düse strömungsmäßig in
Verbindung steht und von welcher aus die Düse mit
15 der Flüssigkeit zum Ausstoß der Tröpfchen versorgt
wird, mit einer Schubschwingungsart-Betätigungs-
vorrichtung (30, 50, 60, 400, 500, 603) mit einem
gepolten piezoelektrischen Material und mit Elektro-
denmitteln (38, 39, 58, 59, 68, 69, 68', 69', 403, 404,
20 405, 406, 522, 524, 526, 528, 619, 621), um an das
genannte Material ein elektrisches Feld anzulegen,
mit einer Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44,
46, 743, 744), um die Flüssigkeit in der Kammer, die
durch den Betrieb der Betätigungsvorrichtung über
25 die Düse ausgestoßen wurde, wieder zu ergänzen,
dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungsvor-
richtung so angeordnet ist, daß sie bei Anlegen eines
elektrischen Feldes zwischen den Elektrodenmitteln
sich relativ zur Kammer in einer Schubschwingungs-
30 art in der Richtung (Y) des Feldes bewegen kann, um
den Flüssigkeitsdruck in der Kammer zu ändern und
um dadurch einen Tröpfchenausstoß aus der Düse zu
bewirken.

35 2. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Nieder-
schlagvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch
gekennzeichnet, daß die Kammer eine Seitenwand
aufweist, von der die Betätigungsvorrichtung wenig-
stens einen Teil bildet, so daß die Flüssigkeit in der
Kammer dadurch dicht bzw. eng an die Betätigungs-
40 vorrichtung gekoppelt ist.

3. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Nieder-
schlagvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch
gekennzeichnet, daß die Kammer einen allgemein
rechteckförmigen Querschnitt hat und durch ein Paar
von sich gegenüberliegenden längeren Seitenwän-
45 den (26, 30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 603) und einem
Paar von sich gegenüberliegenden kürzeren Seiten-
wänden (20, 22, 601, 602) gebildet ist und daß die
Betätigungsvorrichtung einen Teil von wenigstens
50 einer der längeren Seitenwände bildet.

4. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Nieder-
schlagvorrichtung nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, bei der die Kammer einen Kanal (24,
613), aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die
55 Schubschwingungsart-Betätigungsvorrichtung in
einer Wand des piezoelektrischen Materials mit inne-
ren und äußeren Wandflächen (35, 36, 65, 66) vorge-
sehen ist, die sich in Längsrichtung des Kanals



erstreckt, und daß die Elektrodenmittel Elektroden aufweisen, die auf wesentlichen Teilen der Wandflächen vorgesehen sind und sich über diese erstrecken, um ein elektrisches Feld in einer Richtung quer zu den Wandflächen anzulegen, wobei das piezoelektrische Material so angeordnet ist, daß es in der Schubschwingungsbetriebsart in Richtung des Feldes quer zum Kanal verschiebbar bzw. versetzbar ist, um dadurch den Tröpfchenausstoß aus der Düse zu bewirken.

5. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand der Betätigungsvorrichtung sich über einen wesentlichen Teil der Länge des Kanals von der Düse aus erstreckt.

6. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand der Betätigungsvorrichtung aus dem piezoelektrischen Material sich gegenüberliegende im wesentlichen parallel verlaufende Kantenflächen aufweist, die senkrecht zur inneren und äußeren Wandfläche verlaufen, entlang welcher sie mit dem Kanal flüssigkeitsdicht verbunden ist, wobei eine der Kantenflächen fest mit dem Kanal verbunden ist und wobei ein nachgiebiger Dichtungstreifen (54, 541) die andere Kantenfläche mit dem Kanal verbindet.

7. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 6, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt besitzt mit sich gegenüberliegenden Decken- und Bodenwänden (20, 22) und sich gegenüberliegenden Seitenwänden (50, 26), die zwischen der Deckenwand und der Bodenwand angeordnet sind, wobei eine der Seitenwände die Wand der Betätigungsvorrichtung bildet, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Dichtungstreifen über die gesamte Fläche der Deckenwand und an die Seitenwände anschließend erstreckt.

8. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt aufweist mit sich gegenüberliegenden Decken- und Bodenwänden (20, 22) und mit sich gegenüberliegenden Seitenwänden (30, 24, 50, 24, 60, 24, 400, 24), wobei eine der Seitenwände die Wand der Betätigungsvorrichtung bildet, dadurch gekennzeichnet, daß die Seiten- und Bodenwände aus einem einzigen Materialstück geformt sind, welches piezoelektrisches Material enthält.

9. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand (30) der Betätigungsvorrichtung aus piezoelektrischem Material mit oberen und unteren entgegengesetzt orientierten Teilen (32, 33) und sich gegenüberliegenden Kantenflächen der Wand der Betätigungsvorrichtung versehen ist, wobei sich diese Kantenflächen senkrecht zur inneren und äußeren Fläche (35, 36) der Wand

erstrecken und in Längsrichtung des Kanals flüssigkeitsdicht mit dem Kanal verbunden sind, so daß das angelegte elektrische Feld dazu dient, die Wand der Betätigungsvorrichtung quer zum Kanal abzulenken.

10. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand (30) der Betätigungsvorrichtung mit einem inaktiven Teil ausgestattet ist, der zwischen den entgegengesetzt orientierten Teilen angeordnet ist.

11. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand (60) der Betätigungsvorrichtung aus piezoelektrischem Material mit sich gegenüberliegenden Kantenflächen gebildet ist, die senkrecht zur inneren und äußeren Fläche (66, 65) und in Längsrichtung des Kanals (24) verlaufen und welche an dem Kanal befestigt sind, und daß die Elektroden zwei Paare von sich gegenüberliegenden Elektroden (68, 69, 68', 69') umfassen, wobei eine Elektrode jedes Elektrodenpaares auf jeder der Innen- und Außenwandflächen angeordnet ist und sich in Längsrichtung der inneren und äußeren Wandflächen erstrecken und wobei die Elektroden auf der gleichen Fläche jeder der Wandflächen einen Abstand in Querrichtung aufweist, so daß dadurch elektrische Felder, die jeweils entgegengesetzt gerichtet sind, an die Wand der Betätigungsvorrichtung zwischen die Elektroden jedes der Paare der sich gegenüberliegenden Elektroden angelegt werden können, um die Wand der Betätigungsvorrichtung quer zum Kanal abzulenken.

12. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wand der Betätigungsvorrichtung mit oberen und unteren Teilen ausgestattet ist und daß ein inaktiver Teil zwischen den oberen und unteren Teilen angeordnet ist.

13. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt hat mit sich gegenüberliegenden Decken- und Bodenwänden (22, 20) und sich gegenüberliegenden Seitenwänden (30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 26), wobei eine dieser Wände die Wand der Betätigungsvorrichtung darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß die Seiten- und Bodenwände aus einem einzigen Materialstück mit piezoelektrischem Material geformt sind.

14. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niedererschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal aus zwei ähnlichen Teilen (803) aus piezoelektrischem Material geformt ist, wobei jedes Teil in einer entsprechenden Seite eine Nut (801) aufweist, die einen allgemein dreieckförmigen Querschnitt hat, wobei die Stücke so aneinander befestigt sind, daß die Nuten zueinander hinweisen, um den Kanal zu formen.



wobei zwei aneinander stoßende Seiten des Kanals, die jeweils durch die ähnlichen Teile aus dem piezoelektrischen Material gebildet sind, zusammen die Wand der Betätigungsvorrichtung bilden.

15. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (40, 618) und die Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46) mit dem Kanal an jeweils gegenüberliegenden Enden verbunden sind.

16. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (743, 744) mit dem Kanal verbunden ist, um die Flüssigkeit in demselben über die Düse (740) zu ergänzen.

17. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die innere und die äußere Fläche der Wand (30, 50, 60, 400) der Betätigungsvorrichtung in Draufsicht sinusförmig gekrümmt ist.

18. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die inneren und die äußeren sinusförmig gekrümmt verlaufenden Wandflächen der Wand (30, 50, 60, 400) der Betätigungsvorrichtung parallel zueinander verlaufen.

19. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden mit einer Materialschicht beschichtet sind, welches einen Elastizitätsmodul besitzt, der größer ist als derjenige des Materials der Betätigungsvorrichtung, um dadurch die Biegesteifigkeit der Betätigungsvorrichtung mehr zu erhöhen als die Schersteifigkeit derselben.

20. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht eine Schicht aus einem Isoliermaterial aufweist.

21. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden in einer Dicke ausgeführt sind, die größer ist als diejenige, die für eine elektrische Funktionieren der Elektroden erforderlich ist.

22. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Material aus einem gepolten ferroelektrischen Keramikmaterial, wie Bleizirkoniumtitanat (PZT) besteht.

23. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung, mit einer Ausstoßdüse (40) für Flüssigkeitströpfchen, einer Druckkammer (24), mit welcher die Düse strömungsmäßig in Verbindung steht und von welcher die Düse mit Flüssigkeit für den

Tröpfchenausstoß versorgt wird, mit einer Schubschwingungsart-Betätigungsvorrichtung (500), die ein piezoelektrisches Material und Elektrodenmittel (522, 524, 526, 528) zum Anlegen eines elektrischen Feldes daran aufweist, und mit einer Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46, 743, 744) zum Ergänzen der Flüssigkeit in der Kammer, die von der Düse durch die Betätigung der Betätigungsvorrichtung ausgestoßen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungsvorrichtung ein ungepoltes kristallines Material aufweist, welches für eine Schubschwingungsart-Verschlebung orientiert ist, und zwar in einem über die Elektrodenanordnung angelegten elektrischen Feld, wobei die Verschlebung quer zu dem Feld erfolgt und wobei das Material so angeordnet ist, daß es in Relation zur Kammer unter dem angelegten Feld bewegt werden kann, um dadurch den Druck in der Kammer zu ändern und um dadurch den Tröpfchenausstoß aus der Düse zu bewirken.

24. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer eine Seitenwand aufweist, von der die Betätigungsvorrichtung (500) wenigstens einen Teil bildet, so daß die Flüssigkeit der Kammer und die Betätigungsvorrichtung eng aneinander gekoppelt sind.

25. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer einen allgemein rechteckförmigen Querschnitt hat und durch ein Paar von sich gegenüberliegenden längeren Seitenwänden (26, 500) und einem Paar von sich gegenüberliegenden kürzeren Seitenwänden (20, 22, 601, 602) gebildet ist, und daß die Betätigungsvorrichtung einen Teil von wenigstens einer der längeren Seitenwände bildet.

26. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, bei der die Kammer einen Kanal (24, 613) umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Schubschwingungsart-Betätigungsvorrichtung aus einer Wand (500) aus piezoelektrischem Material besteht, die innere und äußere Flächen besitzt, die sich in Längsrichtung des Kanals erstrecken und daß die Elektroden (522, 524, 526, 528) senkrecht zu den Flächen angeordnet sind, um ein elektrisches Feld in einer Längsrichtung der Wand anzulegen, wobei das piezoelektrische Material so orientiert ist, daß es in einer Schubschwingungsart in einer Richtung verschiebbar ist, quer zur Feldrichtung und zu dem Kanal, um dadurch den Tröpfchenausstoß aus der Düse zu bewirken.

27. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungswand (500) sich über einen wesentlichen Teil der Länge des Kanals von der Düse aus erstreckt.

28. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Nieder-



schlagvorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungswand sich gegenüberliegende im wesentlichen parallel verlaufende Kantenflächen aufweist, die senkrecht zur inneren und äußeren Wandfläche verlaufen und entlang welchen die Wand mit dem Kanal flüssigkeitsdicht verbunden ist, wobei eine der Kantenflächen an den Kanal befestigt ist und ein nachgiebiger Dichtungsstreifen (54, 541) die andere der Kantenflächen mit dem Kanal verbindet.

29. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 28, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt hat und sich gegenüberliegende Decken- und Bodenwände (20, 22) und sich gegenüberliegende Seitenwände (500, 26) aufweist, die zwischen Decken- und Bodenwand angeordnet sind, wobei eine der Seitenwände die Betätigungswand bildet, dadurch gekennzeichnet, daß der Dichtungsstreifen (541) sich über die Gesamtheit der Fläche der Deckenwand angrenzend an die Seitenwände erstreckt.

30. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt hat und sich gegenüberliegende Decken- und Bodenwände (20, 22) und sich gegenüberliegende Seitenwände (26, 500) aufweist, wobei eine der Seitenwände die Betätigungswand darstellt, dadurch gekennzeichnet, daß die Boden- und Seitenwände aus einem einzelnen Materialstück geformt sind, welches piezoelektrisches Material enthält.

31. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungswand mit einer Reihe von Elektroden (522, 524, 526, 528) ausgestattet ist, die mit Abstand entlang der Länge der Wand angeordnet sind, wobei jede Elektrode senkrecht zur Innen- und Außenwandfläche angeordnet ist und wobei alternierend Elektroden in der Folge elektrisch angeschlossen sind, um die elektrischen Felder in gegenläufigem Sinn in Längsrichtung der Wand zwischen aufeinanderfolgenden Elektroden der Folge anzulegen.

32. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungswand mit oberen und unteren entgegengesetzt orientierten bzw. verlaufenden Teilen (502, 504) ausgestattet ist und daß die sich gegenüberliegenden Kantenflächen der Betätigungswand, die senkrecht zur inneren und äußeren Fläche derselben verlaufen und in Längsrichtung des Kanals verlaufen, an den Kanal flüssigkeitsdicht befestigt sind, so daß das angelegte elektrische Feld dazu dient, die Betätigungswandteile quer zum Kanal abzulenken.

33. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß jedes der oberen und unteren

Wandteile mit einer Folge von Elektroden (522, 524, 526, 528) ausgestattet ist, die entsprechend in Längsrichtung der Wand beabstandet angeordnet sind, wobei jedes senkrecht zur inneren und äußeren Wandfläche angeordnet ist und wobei alternierend Elektroden in jeder Folge elektrisch angeschlossen sind, um das elektrische Feld im gegenläufigen Sinn in Längsrichtung der Wand zwischen aufeinanderfolgenden Elektroden anzulegen, wobei die Feldrichtungen in aneinander grenzenden Teilen der oberen und der unteren Wandteile zwischen entsprechenden Paaren der Elektroden in der Folge der oberen und in der Folge der unteren Wandteile sich gegenüberlegen.

34. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, bei der der Kanal einen rechteckförmigen Querschnitt mit sich gegenüberliegenden Decken- und Bodenwände und sich gegenüberliegenden Seitenwänden hat, wobei eine der Seitenwände die Betätigungswand ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Boden- und Seitenwände aus einem einzigen Materialstück mit piezoelektrischem Material geformt sind.

35. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanal aus zwei ähnlich geformten Materialteilen (803) geformt ist, die piezoelektrisches Material enthalten, wobei jedes Materialteil in einer entsprechenden Seite eine Nut (801) mit allgemein dreieckförmigem Querschnitt aufweist, wobei die Materialteile so aneinander befestigt sind, daß die Nuten zueinander unter Bildung eines Kanals zugewandt sind, wobei zwei aneinander grenzende Seiten derselben, die durch die jeweils ähnlichen piezoelektrischen Materialteile vorgesehen sind, zusammen die Betätigungswand bilden.

36. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungswand mit einem inaktiven Zwischen-Wandabschnitt ausgestattet ist, und zwar zwischen den oberen und den unteren entgegengesetzt orientierten Wandteilen.

37. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß der inaktive Zwischen-Wandabschnitt wesentlich länger in Richtung zwischen den oberen und unteren Teilen ist als einer der oberen und unteren Wandteile.

38. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (40, 618) und die Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46) in dem Kanal an sich jeweils gegenüberliegenden Enden verbunden sind.

39. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit-



Versorgungseinrichtung (743, 744) mit dem Kanal für eine Flüssigkeitsergänzung in demselben über die Düse verbunden ist.

40. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die innere und die äußere Fläche der Betätigungswand (500) in Draufsicht sinusförmig gekrümmt ist.

41. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß die innere und die äußere sinusförmige gekrümmte Wandfläche der Betätigungswand (500) parallel verlaufen.

42. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Material aus Gadoliniummolybdat oder Rochelle-Salz besteht.

43. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung, gekennzeichnet durch sich gegenüberliegende Decken- und Bodenwände (602, 601) und durch Schubschwingungsart-Betätigungswände (603, 500) aus piezoelektrischem Material, die zwischen den Decken- und Bodenwänden verlaufen und in Paaren aufeinanderfolgender Betätigungswände angeordnet sind, um dadurch eine Vielzahl getrennter Flüssigkeitskanäle (613) zwischen den Wänden jedes der Paare zu definieren, durch eine Düseneinrichtung (617) mit Düsen (618), die jeweils mit den Kanälen strömungsmäßig in Verbindung sind, durch eine Flüssigkeit-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46, 743, 744) zum Zuführen von Flüssigkeit zu den Kanälen, zur Ergänzung der Tröpfchen, die aus den Kanälen ausgestoßen wurden, und durch Feldelektrodenmittel (619, 621, 522, 524, 526, 528), die an den Betätigungswänden vorgesehen sind, um in diesen jeweils Betätigungsfelder auszubilden, wobei die Betätigungswände in Relation zur Richtung der Betätigungsfelder so angeordnet sind, daß sie durch die jeweiligen Betätigungsfelder seitlich abgelenkt werden, um eine Druckänderung in der Flüssigkeit in den Kanälen zu bewirken, um dadurch einen Tröpfchenausstoß aus diesen hervorzurufen.

44. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Kanäle (613) um weniger als die Breite eines Kanals voneinander getrennt sind.

45. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Boden- und Betätigungswände aus einem einzelnen Materialstück mit dem piezoelektrischen Material geformt sind.

46. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach einem der Ansprüche 43 bis 45, dadurch

gekennzeichnet, daß ein Dichtungsstreifen (541) sich über der Fläche der Deckenwand, die zu den Betätigungswänden hinweist, erstreckt.

47. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Betätigungswände (500) mit einem oberen Teil und einem unteren Teil (502, 504) ausgestattet ist, wobei die Wandteile für eine seitliche Schubschwingungsart-Verschlebung relativ zu den Kanälen orientiert sind, um aus diesen den Tröpfchenausstoß zu bewirken.

48. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckenwand (602) und die oberen Teile (502, 605) der Betätigungswände aus einem einzigen Materialstück geformt sind, welches piezoelektrisches Material enthält, und daß die Bodenwand (601) und die unteren Teile (504, 607) der Betätigungswände aus einem weiteren einzelnen Stück aus einem piezoelektrischen Material geformt sind.

49. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach einem der Ansprüche 43 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Kanal in Längsrichtung in zwei Kanäle durch eine inaktive Wand (630) aufgeteilt ist, die sich zwischen der Deckenwand und der Bodenwand und senkrecht zu diesen erstreckt.

50. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach einem der Ansprüche 43 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Material aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial besteht, wie beispielsweise Bleizirkon titanat (PZT), welches in einer Richtung senkrecht zur Deckenwand und zur Bodenwand gepolt ist, und daß die Elektrodenmittel Elektroden (619, 621) umfassen, die an sich gegenüberliegenden Flächen der Betätigungswände vorgesehen sind, die senkrecht zur Deckenwand und Bodenwand angeordnet sind.

51. Impulsförmig betriebene Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung nach einem der Ansprüche 43 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Material aus einem ungepolt kristallinen Material, wie beispielsweise Gadoliniummolybdat oder Rochelle-Salz besteht, und daß die Elektrodenmittel Elektroden (522, 524, 526, 528) umfassen, die senkrecht zu den Betätigungswänden und den Kanälen angeordnet sind.

52. Verfahren zur Herstellung einer impulsförmig betriebenen Tröpfchen-Niederschlagvorrichtung in Vielkanalausführung, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

(a) es wird eine Bodenwand (601) mit einer Schicht aus einem piezoelektrischen Material hergestellt,



(b) es werden eine Vielzahl von parallel verlaufenden Nuten (613, 615) in der Bodenwand so ausgebildet, daß sie sich durch die Schicht aus dem piezoelektrischen Material hindurch erstrecken, um dadurch Wände (603) aus piezoelektrischem Material zwischen aufeinanderfolgenden Nuten zu formen, wobei Paare von sich gegenüberliegenden Wänden zwischen sich jeweils Flüssigkeitskanäle (613) definieren,

(c) es werden Elektroden (619, 621, 522, 524, 526, 528) relativ zu den Wänden so in Lage gebracht, daß ein elektrisches Feld angelegt werden kann, um eine Schubschwingungsart-Verschiebung der Wände quer zu den Kanälen zu bewirken,

(d) es werden die Elektroden mit elektrischen Treiberschaltungsmitteln (625) verbunden,

(e) es wird eine Deckenwand (602) an den Wänden befestigt, um die Flüssigkeitskanäle zu verschließen,

(f) es werden Düsen (618, 740) und eine Flüssigkeit-Zuführeinrichtung (42, 44, 46, 743, 744) für die Flüssigkeitskanäle vorgesehen.

53. Verfahren nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Schichten aus dem piezoelektrischen Material auf der Bodenwand vorgesehen werden und daß die Nuten so ausgebildet werden, daß sie sich durch beiden Schichten hindurch erstrecken, um die aufrechten Wände (603) vorzusehen, wobei obere und untere Abschnitte (605, 607) jeder der aufrechten Wände dazu dienen, dann, wenn Elektroden relativ zu diesen in Lage gebracht werden und sie elektrischen Feldern ausgesetzt werden, sich in der Schubschwingungsart auszulenken, und zwar in der gleichen Richtung quer zu den Kanälen.

54. Verfahren nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht aus piezoelektrischem Material auf jeder der Boden- und Deckenwand (601, 602) ausgebildet wird, daß ferner in entsprechenden Abständen in jeder der Schichten des piezoelektrischen Materials eine Vielzahl von parallel verlaufenden Nuten (613, 615) ausgebildet werden, um dadurch aufrechte Wände (607, 605) auf der Bodenwand und an der Deckenwand vorzusehen, daß die Deckenwand an den aufrechten Wänden der Bodenwand dadurch befestigt wird, indem die aufrechten Wände, die an der Deckenwand vorgesehen sind, an den entsprechenden aufrechten Wänden befestigt werden, die auf der Bodenwand vorgesehen sind, wobei die aufrechten Wände an der Deckenwand und die aufrechten Wände an der Bodenwand so gestaltet und angeordnet sind, daß dann, wenn ein elektrisches Feld an diese bzw. an die Elektroden derselben angelegt wird, die aufrechten Wände der Deckenwand und der Bodenwand in gleicher Richtung quer zu den Kanälen ausgelenkt werden.

55. Verfahren nach einem der Ansprüche 52 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß eine aufrechte

inaktive Wand (630) zwischen den Wänden jedes Paares der Wände, zwischen denen die Kanäle angeordnet sind, vorgesehen wird, um dadurch jeden Kanal in Längsrichtung in zwei Kanäle aufzutellen.

56. Verfahren nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden relativ zu den inaktiven Wänden in Lage gebracht werden und daß die Elektroden während des Betriebes auf gleichen Potentialen gehalten werden, um eine Schubschwingungsart-Verschiebung der inaktiven Wände zu verhindern.

57. Verfahren nach einem der Ansprüche 52 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeits-Versorgungseinrichtung (42, 44, 46) an den Enden der Kanäle entfernt von den Düsen (618) vorgesehen ist.

58. Verfahren nach einem der Ansprüche 52 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeits-Versorgungseinrichtung (743, 744) an den jeweiligen Enden der Kanäle nahe den Düsen (618, 740) vorgesehen sind, um eine Ergänzung der Flüssigkeit in den Kanälen, die über die Düsen ausgestoßen wird, über die Düsen vorzunehmen.

59. Verfahren nach einem der Ansprüche 52 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß PZT als piezoelektrisches Material verwendet wird.

60. Verfahren nach einem der Ansprüche 52 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß piezoelektrisches kristallines Material, wie beispielsweise GMO oder Rochelle-Salz, als das piezoelektrische Material verwendet wird.

Revendications

1. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées comprenant une buse d'éjection des gouttelettes de liquide (40, 618, 740), une chambre de pression (24, 613) en communication avec ladite buse et à partir de laquelle ladite buse est alimentée en liquide pour l'éjection de gouttelettes, un actionneur à mode de cisaillement (30, 50, 60, 400, 500, 603) comprenant un matériau piezo-électrique polarisé et des moyens d'électrode (38, 39, 58, 59, 68, 69, 68', 69', 403, 404, 405, 406, 522, 524, 526, 528, 619, 621) afin d'y appliquer un champ électrique, et des moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46, 743, 744) afin de remplir de nouveau ladite chambre avec ledit liquide éjecté par ladite buse par le fonctionnement dudit actionneur, caractérisé en ce que ledit actionneur est installé de telle manière qu'il soit capable, soumis à un champ électrique appliqué entre lesdites électrodes, de se déplacer en rupture par rapport à ladite chambre en mode de cisaillement dans le sens (Y) dudit champ pour modifier la pression du liquide dans ladite chambre et provoquer ainsi l'éjection de gouttelettes par ladite buse.

2. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées



selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite chambre comporte une paroi latérale dont ledit actionneur forme au moins une partie, le liquide de ladite chambre et ledit actionneur étant ainsi étroitement couplés.

3. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite chambre est de section sensiblement rectangulaire formée par deux parois latérales longues opposées (26, 30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 603) et deux parois latérales opposées courtes (20, 22, 601, 602) et ledit actionneur forme au moins une partie de l'une desdites parois latérales longues.

4. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications précédentes et dans lequel ladite chambre comprend un canal (24, 613), caractérisé en ce que l'actionneur à mode de cisaillement se situe dans une paroi en matériau piezo-électrique ayant des faces intérieure et extérieure (35, 36, 65, 66) s'étendant le long dudit canal et lesdits moyens d'électrodes comprenant des électrodes placées sur et s'étendant au-delà de parties importantes desdites faces de paroi pour appliquer un champ électrique dans un sens transversal par rapport auxdites faces de paroi, ledit matériau piezo-électrique étant installé de manière à pouvoir se déplacer en mode de cisaillement dans le sens dudit champ transversalement par rapport audit canal pour provoquer l'éjection de gouttelettes par ladite buse.

5. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 4, caractérisé en ce que la paroi dudit actionneur s'étend sur une partie importante de la longueur dudit canal à partir de ladite buse.

6. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 4 ou la revendication 5, caractérisé en ce que la paroi dudit actionneur en matériau piezo-électrique a des surfaces de bord parallèles sensiblement opposées s'étendant normalement auxdites faces de paroi interne et externe le long desquelles elle est reliée audit canal de façon étanche au liquide, l'une desdites surfaces de bord étant rigidement reliée audit canal, avec un joint d'étanchéité adaptable (54, 541) reliant l'autre dite surface de bord audit canal.

7. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 6 dans lequel ledit canal est de section rectangulaire, ayant des parois inférieure et supérieure opposées (20, 22) et des parois latérales opposées (50, 26) prises entre lesdites parois inférieure et supérieure, l'une desdites parois latérales formant la paroi dudit actionneur, caractérisé en ce que ledit joint d'étanchéité s'étend sur toute une surface de la paroi supérieure joignant les parois latérales.

8. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 6 ou 7, et dans lequel ledit canal est de section rectangulaire ayant des parois supérieure et inférieure opposées (20, 22) et des

parois latérales opposées (24, 30, 50, 24, 60, 24, 400, 24), l'une desdites parois latérales servant de paroi dudit actionneur, caractérisé en ce que lesdites parois inférieure et latérales sont formées d'une seule pièce dans une matière comprenant un matériau piezo-électrique.

9. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 4, caractérisé en ce que la paroi (30) dudit actionneur en matériau piezo-électrique est formée avec des pièces supérieure et inférieure orientées en vis-à-vis (32, 33) et les surfaces de bord opposées de ladite paroi de l'actionneur qui s'étendant normalement auxdites faces intérieure et extérieure (35, 36) et longitudinalement par rapport audit canal sont fixées audit canal de façon étanche au liquide, de sorte que le champ électrique appliqué sert à fléchir transversalement ladite paroi de l'actionneur par rapport audit canal.

10. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite paroi (30) de l'actionneur est formée avec une pièce inactive entre lesdites pièces orientées en vis-à-vis.

11. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que ladite paroi (60) de l'actionneur en matériau piezo-électrique est formée avec des surfaces de bord opposées s'étendant normalement auxdites faces intérieure et extérieure (66, 65) et longitudinalement par rapport audit canal (24) qui sont fixées audit canal, et en ce que lesdites électrodes comprennent deux paires d'électrodes opposées (68, 69, 68', 69'), une électrode de chaque paire étant montée et s'étendant longitudinalement sur chacune desdites faces intérieure et extérieure de paroi et lesdites électrodes sur la même face de chacune desdites faces de paroi étant espacées transversalement de celles-ci, de sorte que des champs dans des sens opposés respectifs peuvent être appliqués à ladite paroi de l'actionneur entre les électrodes de chacune desdites paires d'électrodes opposées pour fléchir ladite paroi de l'actionneur transversalement par rapport audit canal.

12. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite paroi de l'actionneur est formée par des parties supérieure et inférieure et d'une pièce inactive entre lesdites parties supérieure et inférieure.

13. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 9 à 12 et dans lequel ledit canal est de section rectangulaire ayant des parois supérieure et inférieure opposées (22, 20) et des parois latérales opposées (30, 26, 50, 26, 60, 26, 400, 26), l'une desdites parois latérales constituant ladite paroi de l'actionneur, caractérisé en ce que lesdites parois latérales et inférieure sont formées d'une seule pièce d'un matériau comprenant un matériau piezo-électrique.



14. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que ledit canal est formé de deux pièces identiques (803) de matériau piezo-électrique et chacune d'entre elles ayant un côté correspondant formé avec une gorge (801) généralement de section triangulaire, lesdites pièces étant fixées l'une à l'autre avec lesdites gorges en position de vis-à-vis pour former ledit canal, dont deux faces contigües présentées par lesdites pièces identiques de matériau piezo-électrique constituent ladite paroi de l'actionneur.

15. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 4 à 14, caractérisé en ce que ladite buse (40, 618) et lesdits moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46) sont reliés audit canal aux extrémités opposées de celui-ci.

16. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 4 à 14, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation en liquide (743, 744) sont reliés audit canal pour le remplissage de liquide au moyen de la dite buse (740).

17. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 4 à 13, caractérisé en ce que lesdites faces intérieure et extérieure de ladite paroi de l'actionneur (30, 50, 60, 400) sont sinueuses dans une vue en plan.

18. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 17, caractérisé en ce que lesdites faces extérieure et intérieure sinueuses de la paroi de ladite paroi de l'actionneur (30, 50, 60, 400) sont parallèles.

19. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites électrodes sont recouvertes d'une couche de matériau ayant un module d'élasticité supérieur à celui du matériau de l'actionneur pour augmenter la rigidité en flexion dudit système de commande davantage que sa rigidité en cisaillement.

20. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 19, caractérisé en ce que ladite couche comporte une couche de matériau isolant.

21. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites électrodes sont d'une épaisseur supérieure à celle nécessaire à leur fonctionnement électrique.

22. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau piezo-électrique est une céramique ferro-électrique polarisée comme du titanate de zirconium-plomb (PZT).

23. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées comprenant une buse d'éjection de gouttelettes de liquide (40); une chambre de pression (24) en communication avec ladite buse et à partir de laquelle ladite buse est alimentée en liquide pour l'éjection de

gouttelettes, un actionneur à mode de cisaillement (500) comprenant un matériau piezo-électrique et des moyens d'électrodes (522, 524, 526, 528) pour y appliquer un champ électrique, et des moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46, 743, 744) pour le remplissage en liquide de ladite chambre après éjection du liquide par ladite buse dûe au fonctionnement dudit actionneur, caractérisé en ce que ledit actionneur comprend un matériau cristallin non-polarisé orienté pour un déplacement en cisaillement, sous un champ électrique appliqué par lesdits moyens d'électrodes, transversalement par rapport audit champ, et placé de manière à pouvoir se déplacer relativement à ladite chambre lorsqu'il est soumis audit champ électrique pour modifier la pression dans la chambre et provoquer ainsi l'éjection de gouttelettes par ladite buse.

24. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 23, caractérisé en ce que ladite chambre comporte une paroi latérale dont ledit actionneur (500) forme une partie au moins, le liquide de ladite chambre et ledit actionneur étant ainsi étroitement couplés.

25. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 24, caractérisé en ce que ladite chambre est généralement de section rectangulaire formée par deux longues parois latérales opposées (26, 500) et deux parois latérales courtes opposées (20, 22, 601, 602) et que ledit actionneur fait au moins partie de l'une desdites parois latérales longues.

26. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 23 à 25, et dans lequel ladite chambre comporte un canal, caractérisé en ce que ledit actionneur à mode de cisaillement est une paroi (500) en matériau piezo-électrique ayant des faces intérieure et extérieure s'étendant le long dudit canal et lesdites électrodes sont disposées normalement auxdites faces pour produire un champ électrique dans un sens longitudinal de ladite paroi, ledit matériau piezo-électrique étant orienté de manière à pouvoir se déplacer en mode de cisaillement dans un sens transversal par rapport au sens dudit champ et audit canal provoquer l'éjection de gouttelettes par ladite buse.

27. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 26, caractérisé en ce que ladite paroi (500) de l'actionneur s'étend sur une partie importante de la longueur dudit canal à partir de ladite buse.

28. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 26 ou 27, caractérisé en ce que ladite paroi de l'actionneur a des surfaces de bord sensiblement parallèles opposées s'étendant normalement auxdites faces intérieure et extérieure de paroi le long desquelles elle est reliée audit canal de façon étanche au liquide, l'une des surfaces de bord étant fixée audit canal, et un joint d'étanchéité



adaptable (54, 541) reliant l'autre dite surface de bord audit canal.

29. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 28 et dans lequel ledit
canal est de section rectangulaire ayant des parois
supérieure et inférieure opposées (20, 22) et des
parois latérales opposées (500, 26) prises entre les-
dites parois supérieure et inférieure, l'une desdites
parois latérales formant ladite paroi de l'actionneur,
caractérisé en ce que le joint (541) s'étend sur toute
une surface de la paroi supérieure joignant les parois
latérales.

30. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 28 ou 29, et dans lequel
ledit canal est de section rectangulaire ayant des
parois supérieure et inférieure opposées (20, 22) et
des parois latérales opposées (26, 500), l'une des-
dites parois latérales formant ladite paroi de l'action-
neur, caractérisé en ce que lesdites parois latérales
et inférieure sont formées d'une seule pièce d'une
matière comprenant un matériau piezo-électrique.

31. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 26, caractérisé en ce que
ladite paroi de l'actionneur comporte une série d'élec-
trodes (522, 524, 526, 528) espacées sur la longueur
de ladite paroi, chacune d'entre elles étant disposée
normalement auxdites faces intérieure et extérieure
de la paroi et des électrodes alternées de ladite série
sont reliées électriquement pour l'application de
champs électriques dans des sens opposés longitu-
dinalement par rapport à ladite paroi entre les électro-
des successives de ladite série.

32. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 26, caractérisé en ce que
la paroi de l'actionneur est formée de pièces supé-
rieure et inférieure orientées en vis-à-vis (502, 504) et
les surfaces de bord opposées de ladite paroi de
l'actionneur qui s'étendent normalement auxdites
faces intérieure et extérieure et longitudinalement par
rapport audit canal sont fixées audit canal de façon
étanche au liquide de sorte que ledit champ électrique
appliqué sert à fléchir les pièces de paroi dudit action-
neur transversalement par rapport audit canal.

33. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 32, caractérisé en ce que
chacune desdites pièces de paroi supérieure et infé-
rieure est pourvue d'une série d'électrodes (522, 524,
526, 528) espacées de façon correspondante sur la
longueur de ladite paroi, chacune étant disposée nor-
malement auxdites faces de paroi intérieure et exté-
rieure, et des électrodes alternées de chaque série
sont reliées électriquement pour appliquer des
champs électriques en sens opposés dans le sens
longitudinal de ladite paroi entre des électrodes suc-
cessives, les sens des champs dans les pièces joi-
gnant les parties de paroi supérieure et inférieure
entre les paires d'électrodes correspondantes des
électrodes de la série de la paroi supérieure et la série

de la paroi inférieure étant opposés.

34. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 32 ou 33, et dans lequel
ledit canal a une section rectangulaire ayant des
parois supérieure et inférieure opposées et des parois
latérales opposées, l'une desdites parois latérales
formant ladite paroi dudit actionneur, caractérisé en
ce que lesdites parois latérales et inférieure sont for-
mées d'une seule pièce d'un matériau comprenant un
matériau piezo-électrique.

35. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 32 ou 33, caractérisé en
ce que ledit canal est formé à partir de deux pièces
de matériau (803) comprenant un matériau piezo-
électrique et chacune d'entre elles ayant dans un côté
correspondant une gorge (801) généralement de sec-
tion triangulaire, lesdites parties étant fixées ensem-
ble avec lesdites gorges dans une disposition de
vis-à-vis mutuel pour former ledit canal, dont deux
faces jointives formées respectivement par lesdites
parties identiques en matériau piezo-électrique cons-
tituant ensemble ladite paroi de l'actionneur.

36. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon l'une des revendications 32 à 35, caracté-
risé en ce que ladite paroi de l'actionneur est formée
avec une partie de paroi intermédiaire inactive entre
lesdites parties de paroi supérieure et inférieure
orientées en vis-à-vis.

37. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 36, caractérisé en ce que
ladite partie de paroi inactive intermédiaire est sensi-
blement plus longue entre lesdites parties supérieure
et inférieure que l'une desdites parties de paroi supé-
rieure et inférieure.

38. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon l'une des revendications 26 à 37, caracté-
risé en ce que ladite buse (40, 618) et lesdits moyens
d'alimentation en liquide (42, 44, 46) sont reliés audit
canal à ses extrémités respectives opposées.

39. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon l'une des revendications 26 à 37, caracté-
risé en ce que lesdits moyens d'alimentation en
liquide (743, 744) sont reliés audit canal pour son
remplissage en liquide par l'intermédiaire de ladite
buse.

40. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon l'une des revendications 26 à 39, caracté-
risé en ce que les faces extérieure et intérieure de
ladite paroi du système de commande sont sinueuses
dans une vue en plan.

41. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon la revendication 40, caractérisé en ce que
lesdites faces de paroi intérieure et extérieure de
forme sinueuse de ladite paroi de l'actionneur (500)
sont parallèles.

42. Dispositif pour le dépôt de gouttelettes pul-
sées selon l'une des revendications 23 à 39, caracté-
risé en ce que ledit matériau piezo-électrique est un



molybdate de gadolinium ou du sel de Seignette.

43. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées, caractérisé en ce que des parois supérieure et inférieure opposées (602, 601) et des parois d'actionneur à mode de cisaillement (603, 500) en matériau piezo-électrique s'étendant entre lesdites parois supérieure et inférieure et agencées en paires de parois successives d'actionneur pour déterminer une pluralité de canaux à liquide séparés (613) entre les parois de chacune desdites paires, des moyens de buse (617) comprenant des buses (618) communiquant respectivement avec lesdits canaux, des moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46, 743, 744) pour alimenter lesdits canaux en liquide pour renouveler les gouttelettes éjectées par lesdits canaux et des moyens d'électrodes (619, 621; 522, 524, 526, 528) sur lesdites parois d'actionneur pour y former des champs de commande respectifs, lesdites parois d'actionneur étant disposées par rapport au sens desdits champs de commande de manière à être fléchies latéralement par lesdits champs de commande respectifs pour provoquer une modification de la pression du liquide dans lesdits canaux et permettre l'éjection de gouttelettes.

44. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 43, caractérisé en ce que lesdits canaux (613) sont séparés de moins de la largeur d'un canal.

45. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 43 ou la revendication 44, caractérisé en ce que lesdites parois inférieure et d'actionneur sont formées d'une seule pièce d'un matériau comprenant un matériau piezo-électrique.

46. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 43 à 45, caractérisé en ce qu'un joint d'étanchéité (541) s'étend sur la surface de ladite paroi supérieure faisant face auxdites parois d'actionneur.

47. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 43 ou la revendication 44, caractérisé en ce que chacune desdites parois d'actionneur (500) est formée d'une pièce supérieure et d'une pièce inférieure (502, 504), lesdites pièces de paroi étant orientées pour un déplacement latéral en cisaillement par rapport auxdits canaux pour effectuer l'éjection des gouttelettes.

48. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon la revendication 47, caractérisé en ce que ladite paroi supérieure (602) et lesdites pièces supérieures (502, 605) desdites parois d'actionneur sont formées d'une seule pièce d'un matériau comprenant un matériau piezo-électrique, et ladite paroi inférieure (601) et lesdites pièces inférieures (504, 607) desdites parois d'action-

neur sont également formées d'une seule pièce d'un matériau piezo-électrique.

49. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 43 à 48, caractérisé en ce que chaque canal est divisé longitudinalement en deux canaux par une paroi inactive (630) qui s'étend entre lesdites parois supérieure et inférieure et qui leur est normale.

50. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 43 à 49, caractérisé en ce que ledit matériau piezo-électrique est une céramique piezo-électrique comme du titanate de zirconium-plomb (PZT) polarisée dans le sens normal auxdites parois supérieure et inférieure et lesdits moyens d'électrodes comprennent des électrodes (619, 621) formées sur les faces opposées desdites parois d'actionneur disposées normalement auxdites parois supérieure et inférieure.

51. Dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées selon l'une des revendications 43 à 49, caractérisé en ce que ledit matériau piezo-électrique est un matériau cristallin non-polarisé comme le molybdate de gadolinium ou le sel de Seignette, et lesdits moyens d'électrode comprennent des électrodes (522, 524, 526, 528) disposées normalement auxdites parois d'actionneur et auxdits canaux.

52. Procédé de fabrication d'un dispositif à réseau de canaux multiples pour le dépôt de gouttelettes pulsées, caractérisé par les étapes de :

(a) formation d'une paroi inférieure (601) avec une couche de matériau piezo-électrique

(b) formation d'un certain nombre de gorges parallèles (613, 615) dans ladite paroi inférieure qui s'étendent dans ladite couche de matériau piezo-électrique pour former des parois (603) en matériau piezo-électrique entre les gorges successives, des paires de parois opposées déterminant entre elles des canaux respectifs de liquide

(c) mise en place d'électrodes (619, 621, 522, 524, 526, 528) par rapport auxdites parois de sorte qu'un champ électrique puisse être appliqué pour réaliser un déplacement en cisaillement desdites parois transversalement par rapport auxdits canaux

(d) connexion de moyens de circuit électrique de commande (625) auxdites électrodes

(e) fixation d'une paroi supérieure (602) sur lesdites parois pour fermer lesdits canaux à liquide

(f) installation de buses (618, 740) et de moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46, 743, 744) sur lesdits canaux à liquide.

53. Procédé selon la revendication 52, caractérisé en outre par le dépôt de deux couches de matériau piezo-électrique sur ladite paroi inférieure et la formation desdites gorges de manière à s'étendre à travers les deux couches pour former lesdites parois



verticales (603), avec les parties supérieure et inférieure (605, 607) de chacune desdites parois verticales destinées lorsque lesdites électrodes sont installées par rapport à celles-ci et soumises à des champs électriques à fléchir en mode de cisaillement dans le même sens transversal par rapport auxdits canaux.

5

54. Procédé selon la revendication 52, caractérisé en outre par le dépôt d'une couche d'un matériau piezo-électrique sur lesdites parois inférieure et supérieure (601, 602), la formation à intervalles correspondants dans chacune des couches de matériau piezo-électrique d'une multiplicité de gorges parallèles (613, 615) pour former des parois verticales (607, 605) sur ladite paroi inférieure et ladite paroi supérieure et la fixation de ladite paroi supérieure auxdites parois verticales de la paroi inférieure par fixation desdites parois verticales formées sur ladite paroi supérieure aux parois verticales correspondantes desdites parois verticales formées sur ladite paroi inférieure, les parois verticales de la paroi supérieure et les parois verticales de la paroi inférieure s'adaptant de sorte que lorsqu'un champ électrique y est appliqué auxdites électrodes, les parois verticales desdites parois supérieure et inférieure fléchissent dans le même sens transversal par rapport auxdits canaux.

10

15

20

25

55. Procédé selon l'une des revendications 52 à 54, caractérisé en outre par la disposition d'une paroi verticale non-active (630) entre les parois de chacune desdites paires de parois entre lesquelles sont aménagés les canaux, pour diviser ainsi longitudinalement chacun desdits canaux en deux canaux.

30

56. Procédé selon la revendication 55, caractérisé en outre par la disposition d'électrodes par rapport auxdites parois inactives et le maintien pendant le fonctionnement, desdites électrodes à des potentiels égaux pour éviter un déplacement en mode de cisaillement desdites parois inactives.

35

57. Procédé selon l'une des revendications 52 à 56, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation en liquide (42, 44, 46) sont placés aux extrémités des canaux, éloignés desdites buses (618).

40

58. Procédé selon l'une des revendications 52 à 56, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation en liquide (743, 744) sont placés aux extrémités respectives desdits canaux, adjacents auxdites buses (618, 740) pour le remplissage au moyen desdites buses desdits canaux en liquide expulsé par lesdites buses.

45

59. Procédé selon l'une des revendications 52 à 58, caractérisé en ce que le matériau piezo-électrique utilisé est du PZT.

50

60. Procédé selon l'une des revendications 52 à 58, caractérisé en ce qu'un matériau cristallin piezo-électrique comme le molybdate de gadolinium ou le sel de Seignette est utilisé comme matériau piezo-électrique précité.

55