

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-524515
(P2004-524515A)

(43) 公表日 平成16年8月12日(2004.8.12)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 F 1/66	GO 1 F 1/66 A	2 F 0 3 5
HO 4 R 17/00	HO 4 R 17/00 3 3 0 A	5 D 0 1 9
	HO 4 R 17/00 3 3 0 H	

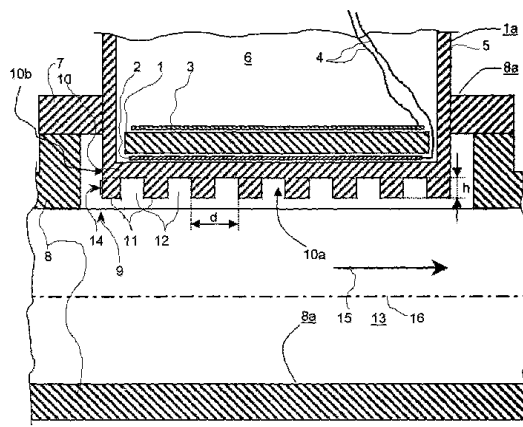
審査請求 有 予備審査請求 有 (全 44 頁)

(21) 出願番号	特願2002-547161 (P2002-547161)	(71) 出願人	599105300 ジーメンス・アクチエンゲゼルシャフト ドイツ連邦共和国デー80333 ミュンヘン, ヴィッテルスバッハープラッツ 2
(86) (22) 出願日	平成13年11月23日 (2001.11.23)	(74) 代理人	100086405 弁理士 河宮 治
(85) 翻訳文提出日	平成15年5月30日 (2003.5.30)	(74) 代理人	100098280 弁理士 石野 正弘
(86) 国際出願番号	PCT/DE2001/004426	(72) 発明者	デートレフ・パベ ドイツ連邦共和国デー70199シュツットガルト、タウベンシュトラーセ21番
(87) 国際公開番号	W02002/045074	Fターム(参考)	2F035 DA05 DA07 DA09 5D019 BB02 BB12 BB25 FF02
(87) 国際公開日	平成14年6月6日 (2002.6.6)		
(31) 優先権主張番号	100 59 566.9		
(32) 優先日	平成12年11月30日 (2000.11.30)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
(81) 指定国	EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), CN, JP, US		

(54) 【発明の名称】 超音波変換器および超音波流量計

(57) 【要約】

本発明の目的は、横断的な超音波によるチューブ(8)の計測試験を可能にする超音波変換器(1a)の提供である。この目的を達成するために、前記超音波変換器(1a)は、媒体と超音波発生器との間に配された回折格子(14)を備えている。前記回折格子は音速を異にする領域を有している。前記超音波変換器(1a)は流量計として使用されることが望ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波発生器、および、媒体との接触を確立するための外側表面(10a)を備えた、超音波を媒体(13)中に回折させるための超音波変換器であって、
該超音波発生器と該外側表面(10a)との間、または、該外側表面上に音速の異なる領域を備え、該領域が位相回折格子(14)を形成していることを特徴とする超音波変換器。

【請求項 2】

前記超音波発生器が変換器容器(5)の内部に配置され、前記外側表面(10a)を支持する前記容器の壁(10b)と音響的に接触していることを特徴とする、請求項1に記載の超音波変換器。

10

【請求項 3】

前記領域が、交互的な柵(11)と溝(12)を前記外側表面(10a)に組み込むようなデザインを施されていることを特徴とする、請求項1または2のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項 4】

前記領域が別の材料で形成されていることを特徴とする、請求項1ないし4のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項 5】

前記超音波発生器が圧電性素子(1)で構成され、前記容器壁(10b)と、特に平面で接触していることを特徴とする、請求項1ないし4のいずれか1つに記載の超音波変換器。

20

【請求項 6】

前記圧電性素子(1)が2つの分割されていない電極(2、3)の間に配されていることを特徴とする、請求項5に記載の超音波変換器。

【請求項 7】

前記位相回折格子(14)が平行な、湾曲した溝(12)を有することを特徴とする、請求項1ないし6のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項 8】

前記位相回折格子(14)が平行な、直線状の溝(12)を有することを特徴とする、請求項1ないし7のいずれか1つに記載の超音波変換器。

30

【請求項 9】

前記位相回折格子(14)が対称性を有することを特徴とする、請求項1ないし8のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項 10】

前記位相回折格子(14)が非対称的であることを特徴とする、請求項1ないし9のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項 11】

前記溝(12)は、前記柵(11)の材料以外の材料が充填されていることを特徴とする、請求項1ないし10のいずれか1つに記載の、請求項3と関連した超音波変換器。

40

【請求項 12】

横断的な超音波を使用して計測管(8)を試験することで媒体(13)の流速を計測するための、流量計(8a)における請求項1ないし11のいずれか1つに記載の超音波変換器の使用法。

【請求項 13】

前記超音波変換器(24、25)の前記回折格子(14)が前記計測管(8)の前記計測管軸(16)と平行な共通の回折平面(20)を有し、かつ、前記回折格子(14)のうちの1つの格子ベクトル(26)が他方の回折格子(14)の格子ベクトル(26)の逆であることを特徴とする、請求項12に記載の使用法。

【請求項 14】

50

前記回折格子(14)が平行な回折平面(20)を有し、前記回折平面(20)は前記計測管(8)の計測管軸(16)とアジマス角を成し、一方の回折格子(14)の格子ベクトルの前記計測管軸(16)と平行な成分は、他方の回折格子(14)の格子ベクトル(26)の前記計測管軸と平行な成分の逆であることを特徴とする、請求項12に記載の使用法。

【請求項15】

媒体(13)中に超音波を回折させるための、少なくとも1つの超音波変換器(1a)を支持する計測管(8)を備え、前記超音波変換器が、前記媒体との接触を確立するための外側表面を備えた超音波発生器を包含している、超音波流量計(8a)であって、前記超音波発生器が、目的とする超音波の設定された方向への回折のための回折格子(14)を形成する異なる音速の領域を有していることを特徴とする、超音波流量計(8a)。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は請求項1の前提部分において定められているタイプの超音波変換器に関する。本発明はさらには請求項15の前提部分において定められている超音波流量計に関する。

【0002】

このような超音波変換器は媒体中へ超音波ビームを分散させ、また、媒体中から超音波ビームを受け取るのに使用される。これらは特に、管系において受け入れられる流動媒体の量を決定する流量計における媒体の流速を、そして媒体によって搬送されるエネルギー、特に熱エネルギーを記録するために使用される。流量計は、管系操作者が受容者に、読み取りに基づいて計算される受け取った量の請求書を送ることを可能にしている。

20

【0003】

DE-PS 899574、DE-AS 2934031、および、US-PS 3555311に超音波変換器の基本的構造が開示されている。2次元平面的な圧電性材料が2つの電極領域に配され、厚みの同一モードでの振動が2つの電極領域の間に存在する交代性場によって誘起され、音波が電極領域と垂直に密な塊となって放射される。超音波が鉛直線に沿って電極領域に向かうと、圧電性材料の厚みの振動を誘起し、電極領域における弾性波と同一の周波数を有する電気信号を発生させる。圧電性材料は、その上に電極領域が配されており、変換器容器内で媒体とは隔離して配され、圧電性材料が変換器容器の放射面より鉛直線に沿って超音波を放射する。

30

【0004】

WO 86/02723は流動性媒体内における対を成した超音波変換器の構成を開示しており、これは超音波のバーストを流れの方向と平行にもう一方に向けて発振し、相対する超音波変換器によって発振された超音波のバーストを受け取る。音波は媒体と共に伝播するため、上流方向および下流方向に伝達される媒体中のパルスの輸送時間が異なり、(前記輸送時間から)流速および/または流量の計算が可能である。超音波変換器の表面構造は音波の発信に、とくに音波を束ねる上で影響を与える。超音波変換器のこのようなシンブルな配置の不利点は高い流れへの抵抗性である。

【0005】

DE-OS 4010148 A1は、大幅に流れへの抵抗性が低い、気体および液体用流量計を開示している。超音波変換器は管の直径の外側、計測している管の壁部の凹所に配される。この配置は計測している管の軸に対して横断的な超音波ビームを必要とし、これは受信する超音波変換器に達するまでに、計測している管壁にて数回反射する。超音波の塊はV字またはW字形状で計測している管を進む。このことも、不均一な流速の申し分のない平均値を導いている。垂直線内にある窓を通してビームを回折させるような、超音波変換器の正確な配置は、流量計の容器をさらに高価なものにする。

40

【0006】

DE 3020282 A1にて超音波発生器として開示されている交互的に重ねられている変換器は成功裡にこの不利点に対処している。交互的に重ねられている変換器は、交流電圧が印加される交互的に重ねられた構造を有する2つの電極を一方の面に配したことを特

50

徴とするセラミックの圧電性材料からなる２次元的な構成要素である。前記の構造は、電極が接触しない２つの逆の櫛の歯のようにならされているものである。媒体に面したもう一方の面は、大きな電極で全体が覆われている。１８０°だけ位相がずれた同一周波数の交流電圧が、一方の側にある２つの電極と他方の側にある大きな電極との間に印加されると、交互に重ねられた構造に覆われた圧電性材料領域は、大きな電極を通して大きな電極と垂直をなす角度で超音波を発信するような、厚みの振動を生じる。この交互に重ねられた変換器のため、流量計をさらにずっと高価にしている。

【０００７】

さらに、GB 2011219Aにより超音波プローブが知られており、これは画像化技術の助けを借りて生体を検査するための医療技術の分野において利用されている。超音波プローブと体の表面との接点は、プローブ／体の接触表面における好ましからざる反射を抑制するために、波型がつけられている。

10

【０００８】

本発明の目的は、安価な超音波変換器および関連した流量計を作り出すことであり、ここでは超音波変換器の外面に関して横断的な回折が可能となる。さらには、超音波変換器の使用法が明記される。

【０００９】

超音波変換器に関するこの問題を解決することは、真に安価な超音波変換器を製造する上で不可欠な条件である。

【００１０】

この問題は請求項１ないし請求項１５に記載の特徴によって解決される。好適なデザインは下位クレームより生ずる。使用法に関する解決法は請求項１２に記載される。好適なデザインはその他の請求項により明記される。

20

【００１１】

このように、位相回折格子が超音波変換器に配され、これによって超音波の横断的な回折が可能となっている。適宜に前記領域の寸法をデザインするか、または、適切な材料を選択することにより、設定した角度で超音波を確実に回折させることが可能である。

【００１２】

前記領域は、交互的な棚と溝のように成形される。棚は高さ h および距離 d の溝によって区分され、また超音波発生器によって媒体中へ発信される超音波は、発信面とおよそ垂直な位相回折格子により、設定されている回折角 \pm で回折されるという仮定に基づけば、容器壁の材料、特に棚および溝の材料が、格子に関する定数（距離 d 、高さ h 、等）と同様、本質的に位相回折格子（１４）の回折角 \pm を決定する。興味の対象物との直接的な接触による(Bei einem direkten Kontakt mit dem von Interesse.)。

30

【００１３】

以下の部分で、デザインに関する図および例に基づいて、本発明のデザイン、他の有利点、および、詳細について説明する。

【００１４】

図１は計測している管の内部に配された超音波変換器１aの断面図である。その内側に超音波発生器の例として圧電性素子が描かれている。

40

【００１５】

図１において、１は圧電性素子、２および３は電極、４は電極２および３への電力供給線、５は変換器容器、６は変換器容器５の内部空間、７は変換器容器５のフランジ、８は流量計８aの計測管の断面図、９は計測管８における開口部、１０はいわゆる「超音波透過窓」である。流動する媒体１３と面している、窓１０の側部に、棚１１と溝１２が音響回折格子１４を形成している。媒体１３における音速は C_M である。

【００１６】

この場合、変換器容器５は例えばポットのような形状で、ベース面として円形または多角形の面で媒体と隔てられている。円形または多角形の面は超音波透過性窓１０であり、その外側表面１０aは媒体１３と接している。窓１０は変換器容器５の容器壁１０bによっ

50

て形成されている。回折格子 14 は窓 10 の 2 つの面（前面または後面）のうちの 1 つに配されている。図 1 においては、回折格子は窓 10 の側部に配されており、この部分が媒体 13 と面している。

【0017】

変換器容器 5 は計測管 8 内の開口部 9 へ、先ず回折格子 14 と窓 10 を取り付けて、配置される。よって、回折格子 14 は媒体 13 と直接的な音響的接触をしている。フランジ 7 は開口部 9 において変換器容器 5 の位置を決め、また、計測管 8 のフランジとしっかりと結合して、計測管軸 16 と平行に、流れの方向 15 に流れる媒体 13 が計測管 8 から漏れないようにしている。

【0018】

この場合においては超音波発生器の好適例としての役割を果たしている圧電性素子 1 は円形状または多角形状を有する 2 次元的な物体であり、電氣的に極性を示すセラミック、または、ポリビニルフルオライド (PVF) やポリビニリデンフルオライド (PVDf) のような電氣的に極性を示すプラスチックを含んでいる。前記の物体の向かい合った平行な面は、例えば、金、アルミニウム、または、その他の導電性材料の前記の物体の向かい合った平行な面への真空金属化によって電極 2 および 3 で覆われる。圧電性素子 1 は、第 1 電極 2 に沿って、窓 10 の媒体 13 から離れている面に粘着している。これによって、超音波は問題なく圧電性素子 1 から、窓 10 および回折格子 14 を通って媒体 13 へと確実に伝播する。

10

【0019】

超音波の速度が C である材料において、音響波は波長 $\lambda = C / f$ で伝播する。超音波は圧電性素子 1 の面と垂直な線内で伝達し、この圧電性素子 1 は窓 10 に面して第 1 電極 2 に覆われている。内部空間 6 は空気または絶縁性材料で満たされている。よって、おおむね第 2 電極 3 によって伝達される超音波は存在しない。

20

【0020】

供給線 4 は電極 2 および 3 と変換器容器 9 の外側に配されている評価装置（図示せず）を接続しており、この評価装置は本質的には先行技術に基づいてデザインされている。発信フェーズの間は、例えば評価装置は周波数 f の交流電圧を供給線 4 を介して電極 2 および 3 に印加することで、周波数 f で交互に交代する場における圧電性素子 1 の厚みの振動を誘起する。

30

【0021】

発信フェーズに続いて直ちに起こる受信フェーズの間は、窓 10 を通して圧電性素子 1 に入る媒体 13 からの超音波が、超音波の周波数 f での電極 2 および 3 の間の電氣的ポテンシャルの変化を発生させる。

【0022】

これらのポテンシャルの変化は供給線 4 を介して電気信号の形で評価装置に伝えられる。超音波を発生させるのに使用している周波数 f は一般におおよそ 50 キロヘルツないし 10 メガヘルツの範囲に含まれる。流動する媒体 13 が水の場合、周波数 f は約 1 メガヘルツ (0.9 メガヘルツ - 1.1 メガヘルツ) が望ましい。

【0023】

媒体 13 と面している窓 10 の側部は、高さ h の柵 11 が間隔 d で一様に形成されていることが特徴である。あるデザインにおいては、柵 11 の間にある溝 12 は媒体 13 で満たされたくぼみであり、また別のデザインにおいては、固形物が充填されている。ある回折格子 14 のデザインにおいては、柵 11 および溝 12 の形状は矩形または台形であり、占有率は柵 11 の断面と溝 12 の断面の比率であり、1 : 1 である。

40

【0024】

溝 12 の内側での音速は C_M および / または C_2 であって、柵 11 における音速 C_1 とは異なる。超音波にとって柵 11 および溝 12 は、窓 10 の前に配置され音速 C_1 、 C_M および / もしくは C_2 、外形である高さ h および距離 d といった格子定数を有する位相回折格子 14 を形成しており、以下これを回折格子 14 と呼ぶ。溝 12 に固形物が充填されて

50

いる回折格子 14 のデザインにおいては、媒体 13 と面する平坦な接触面を特徴としており、従って柵 11 による媒体 13 の流れへの影響が無い。

【0025】

図 2 は窓 10 と保護層 17 との間に位置する回折格子 14 を示す。窓 10 および保護層と面する回折格子 14 の接触面 18 および 19 は平行であることが望ましい。窓 10 および保護層 17 は一定の厚みを有する。接触面 18、19 は単に、図 2 において回折格子 10 および保護層 17 と回折格子 14 を分ける理論的仮構である。

【0026】

柵 11 と窓 10 との間に最善の音響的接触をもたらすため、溝 12 は窓 10 の材料に直接刻まれることが望ましい。あるデザインにおいては、回折格子 14 は媒体 13 (図 1) と面する側部において柵 11 および溝 12 を覆う保護層 17 で覆われている。

10

【0027】

保護層は溝 12 に充填されている材料と同一の材料を含んでいることが望ましい。一様な保護層 17 の音速が回折現象に影響を与えることは無い。従って、保護層 17 は、例えば超音波変換器の、例えば気体状の媒体を含むような媒体 13 に対する音響インピーダンスを調整する目的で、異なる材料で構成することが可能である。

【0028】

あるデザインにおいては、柵 11 より上にて計測される保護層 17 の厚さは保護層を構成する材料の内部での超音波の波長 の 4 分の 1 よりも小さくすることで、超音波が媒体 13 に入射する際の超音波のさらなる回折を抑制している。図 2 の右側において、溝 12 は充填材の媒体 13 と面した露出面が柵 11 の露出面と同一平面となるように、充填材で充填されている。

20

【0029】

柵 11 の領域においては、その構成材の音速は C_1 であり、それに対して溝 12 の領域では、回折格子 14 のデザインによって、媒体 13 の音速 C_M または溝 12 に充填されている物質の音速 C_2 が適用される。超音波が回折格子を通過する間、一様な波面で窓 10 を通過している超音波は、高さ h で決定されている部分において、音速 C_1 ならびに C_M および / または C_2 によって規定されている位相変化する回折を受ける。超音波が回折格子 14 を出ると、もはや超音波は一様な波面を示していない。

【0030】

位相差 は柵 11 における超音波の位相回折と溝 12 における超音波の位相回折との差に基づいて計算される。これは超音波の振動数 f 、柵 11 の高さ h 、ならびに、音速 C_1 および C_M および / もしくは C_2 によって決まる。超音波が回折格子 14 を出る時、超音波の柵 11 の領域と溝 12 の領域の位相差 は、

30

$$= 2 h f \cdot (1 / C_1 - 1 / C_M) \quad \text{または} \quad [1]$$

$$= 2 h f \cdot (1 / C_1 - 1 / C_2) \quad [2]$$

である。柵 11 および溝 12 の領域は交互であり、かつ、空間的な繰り返し頻度 d^{-1} で一様であるため、回折効果が生じる。

40

【0031】

図 3 において、窓 10 および変換器容器 5 は例えば、四角形の外形を有する。回折格子 14 (図 2) は窓 10 および媒体 13 (図 1) の間に配置されている。媒体 13 は溝 12 に満ち、溝 12 に対して横断的な流れの方向 15 を有する。図 3 において、破線にて回折平面 20 を示す。これは柵 11 および溝 12 を直角に通じ、窓 10 の面に対する垂線 21 を含んでいる。

【0032】

$n = 1, 2, \dots$ として位相差が $= (2n + 1) \cdot$ ならば、垂線 21 に沿って進む超音波は直線上にて弱められる。距離 d および振動数 f に依存して、超音波はその強度が増大する、すなわち、超音波は総位相差が $= 2n$ となる方向に回折される。これらの

50

強い超音波は垂線 2 1 と回折角 \pm をなす。前記の回折角は以下のように決定される。

$$\sin(\theta) = m \cdot \lambda / d \quad [3]$$

ここで m とは奇数であり、例えば $m = \pm 1, 3, 5, \dots$ である。位相回折 を考慮すれば、式 [3] は 1 次 ($m = \pm 1$) の回折格子 1 4 に関し、溝 1 3 が媒体 1 3 で充填されている場合、

$$\sin(\theta) = 2h/d \cdot C_H |1/C_1 - 1/C_M| = 2h/d \cdot |C_M/C_1 - 1|$$

[4]

および / または、

溝 1 2 に充填されている材料の音速が C_2 であれば、

$$\sin(\theta) = \pm | \lambda / d | = 2h/d \cdot C_M |1/C_1 - 1/C_2| \quad [10$$

5]

である。

回折角 θ は超音波の振動数 f とは独立である。しかし、媒体 1 3 内における音速 C_M に依存している。表 1 は縦振動に関する物質の不完全リストに関する音速 C を記載している。音速は、特に気体または液体媒体 1 3 の音速は、温度により変化する。例えば水では、10 から 100 までの範囲では、10 における毎秒 1450 m から 67 における毎秒 1550 m の極大まで増加し、より高温では再び減少する。

【0033】

以下では、回折角は回折角 \pm と定義される。

【0034】

例 1 :

音速 $C_1 = 6300 \text{ m/s}$ のアルミニウムの柵、および、20 の水の媒体 ($C_M = 1480 \text{ m/s}$) で満たされた平行かつ直線的な溝 1 2 を有する図 3 に示す回折格子は回折角 45° を有する。式 [4] より、 45° の回折角は高さ h / 距離 d の比が 0.462 となる。振動数 $f = 1 \text{ MHz}$ のとき、超音波の波長 λ は 20 の水中で $\lambda = 1.48 \text{ mm}$ である。式 [1] より、位相回折 $\theta = \theta$ とすれば、高さ $h = 0.97 \text{ mm}$ かつ距離 $d = 2.10 \text{ m}$ となる。水温が 20 から 67 まで変化すれば、回折角は 45.0° から 47.6° まで変化する。位相回折 $\theta = (2n + 1) \cdot \theta$ とすれば、 h/d の比、および、高さ h も因数 $(2n + 1)$ により増加する。

【0035】

例 2 :

図 2 に示されている回折格子は、例えば合金でない鋼鉄 ($C_1 = 5940 \text{ m/s}$) からなる柵 1 1 およびプレキシガラス ($C_2 = 2730 \text{ m/s}$) に満たされた溝 1 2 を有する。回折角は 45° および 63.4° であって、超音波の振動数 $f = 1 \text{ MHz}$ 、媒体 1 3 は 20 の水である。位相回折 $\theta = \theta$ に関して表 2 に明記されている値は式 [2] および式 [5] によって計算された。

【0036】

図 4 は、窓 1 0 の前に配された非対称回折格子 1 4 を示す。柵 1 1 および溝 1 2 は楔形状を有する。図 4 は楔形状の 2 つの形を示している。例 1 および例 2 における 2 つの対称回折格子 1 4 とは反し、垂線 2 1 から回折角 \pm だけ離れた矢印 2 2、2 3 の方向に超音波は等しい強度で射出されない。その代わりに、回折された超音波は 2 つの回折方向のうちの 1 つへ回折されることが望ましい。図 4 において、回折された超音波の強度の目安をその 2 つの矢印 2 2、2 3 の長さの違いによって表現している。

【0037】

この回折格子 1 4 のデザインの有利点は、長い矢印 2 3 上の計測部を通る経路上に回折された超音波のエネルギーが集中することである。挟まれている回折格子 1 4 のために、超音波変換器は、長い矢印 2 3 の方向から来る超音波を受信する場合、矢印 2 2 の方向から来る超音波を受信する場合よりもさらに感受性がよくなる。よって、超音波変換器は非対称受信特性を備える。

【0038】

20

30

40

50

図 5 には別の非対称回折格子 14 のデザインを示す。一方において、柵 11 は、窓 10 の上方、高さ h の単一のステップを有する。他方において、高さ h の低下は連続的にではなく、数個の階段状のステップによる。

【0039】

図 5 において、距離 d の周期を有する格子は a から f まで 6 つのステップを有する。超音波の位相回折は溝 12 に近い領域において $= 0$ なる値のステップ a から $=$ なる最大値のステップ f までずっと徐々に変化する。これは、あらゆるステップにおいて、各ステップの上方に残存する、溝に充填される第 2 材料を適用可能な高さに対応している。回折特性は概ね図 4 の回折格子と同じである。

【0040】

図示した回折格子 14 の柵 11 の典型的形状の代わりに、別の周期性のある対称なまたは非対称な機能性を柵 11 の形状形成に適用して柵 11 または溝 12 の表面を規定することができる。

【0041】

直線的で平行な柵 11 および溝 12 の他にも、図 6 に示すように、曲線状の柵 11 および溝 12 を備えた回折格子も同様に使用することができる。超音波は、柵 11 および / または溝 12 の湾曲によって集束される。これは、超音波が、ある超音波変換器から次の変換器まで長い距離を伝播しなければならないような場合に有益である。

【0042】

超音波変換器の別のデザインを図 7 に示す。回折格子 14 は、変換器容器 5 の内部空間 6 における圧電性素子 1 と窓 10 の間、媒体から遠い方の窓 10 の側面上に配されている。柵 11 の間の溝 12 は、音速が c_2 である固形物が充填されている。例 2 と同一のコンセプトが用いられている。接触面 18 (図 2)、19 (図 2) において、一方で、圧電性素子 1 および / または電極 2 と回折格子 14 の一方の面、ならびに、他方で、回折格子 14 の別の面と窓 10 の内面とは、良好な音響的接触が必要である。

【0043】

図 8 a および図 8 b は、横断的な超音波による試験を行う流量計 8 a のデザインに変更を加えた、2 つの超音波変換器 24、25 の計測管 8 における配置を示している。媒体 13 に面している、2 つの超音波変換器の回折格子 14 (図 2) は、ある特定のデザインで統一されている。2 つの回折格子 14 の格子ベクトル 26 (図 3) は、同一の回折面 20 (図 3) 上に配置されている。一方の回折格子 14 の格子ベクトル 26 は、他方の回折格子 14 の格子ベクトル 26 とは逆方向である。

【0044】

計測管 8 の超音波による試験は、管の軸 16 に対して横断的に行われ、ここでは、超音波は垂線 21 (図 3) に対して角度 θ をなして回折され、横断的な線に沿って、第 1 超音波変換器 24 から計測管軸 16 を通り第 2 超音波変換器 25 へ伝播する。

【0045】

図 8 a において、超音波は第 1 超音波変換器 24 から第 2 超音波変換器 25 へ、計測管 8 の壁に反射することなく伝播する。これらは互いに向かい合って配置されている。図 8 b においては、超音波の進路 27、28 は計測管 8 (図 8 a) の内部で、1 回反射して (点線 27) および / または 3 回反射して (破線) 28 いる。

【0046】

この例に示すように、超音波変換器 24、25 が計測管 8 上に同一の距離 D で配置されていれば、1 回または 3 回の反射のいかなを問わず、超音波変換器 24、25 はしかるべく調整され、超音波が所望の回折角 θ および / または ϕ で回折するようにされた回折格子 14 (図 1) を備える。

【0047】

2 つの回折格子 14 の回折面 20 (図 3) が平行であって、かつ、計測管軸 16 (図 8 a) とアジマス角を有せば、超音波はその進路においてさらに計測管 8 の壁面 29、30 で反射する、つまり、計測管 8 を通る進路が螺旋形状の多角形のような軌跡となる。計測管

10

20

30

40

50

軸 1 6 と平行な回折格子のうち的一方の、格子ベクトル 2 6 (図 3) のうちの 1 成分は、計測管軸 1 6 と平行な他方の回折格子の格子ベクトル 2 6 の成分と向かい合って配置されることで、超音波を受信する超音波変換器それぞれが極めて感度良く、特に非対称回折格子 1 4 に関して感度が良くなる。

【 0 0 4 8 】

図 8 b は、このことを、点線で表示した進路 2 7 の例を通して示している。第 1 超音波変換器 2 4 によって発信された垂線 2 1 (図 3) と なる角を成す超音波は、断面図に見られる壁面 2 9 で反射する。計測管 8 の底における反射の後、そこから来た超音波は断面図では見えない壁面 3 0 に衝突し、その壁面が第 2 超音波変換器 2 5 へ向けて反射させる。計測管 8 において、媒体 1 3 (図 8 a) の流れのプロファイルがより包括的に計測されるので、このような方法で超音波を発信することは必然的により正確に流速が計測されるという利点を有する。

10

【 0 0 4 9 】

表 2 は、例えば水 2 0 における回折角 $\theta = 45.00^\circ$ および $\theta = 63.4^\circ$ [$\arctan(1)$ および / または $\arctan(2)$] に対する格子定数 d 、 h 、および、対応する空間的頻度 d^{-1} 、ならびに、計測管 8 内における、3 回反射 (進路 2 8) および / または 1 回反射 (進路 2 7) の場合に対して対応する空間的頻度 d^{-1} を示している。より大きな回折角を有する回折格子 1 4 は、より大きな空間的頻度 d^{-1} を有している。通常は計測管 9 [*s i c*] は単一の所定の反射回数のみを想定してデザインされている。回折角は、計測管 8 内部での反射回数および 2 つの超音波変換器間距離 D に依存しており、ここでは回折角は 40° ないし 60° の範囲であることが好ましい。

20

【 0 0 5 0 】

しかし、他の媒体 1 3 が用いられれば、回折格子 1 4 の格子定数 d 、 h は媒体 1 3 に適合するように調整されなければならない。比較のため、表 2 では媒体 1 3 をグリセリンとした場合の回折角 45° に対する回折格子 1 4 のパラメータを示す。

表 1 :

Lehfeldt, Ultraschall, Vogel-Verlag 1973, Table pg. 172 I S B N 3-8023-0060-2
に基づく縦方向の音速

【 表 1 】

材質	音速
アルミニウム	6 3 0 0 m / s
鉛	2 1 6 0 m / s
銅	4 7 0 0 m / s
真鍮 MS 6 3	4 4 0 0 m / s
0. 5 % 炭素以下の純鋼鉄	5 9 4 0 m / s
2 % 炭素、1 2 % クロムのクロム鋼	6 1 4 0 m / s
プレキシガラス	2 7 3 0 m / s
グリセリン (2 0 ° C)	1 9 2 3 m / s
水 (2 0 ° C)	1 4 8 0 m / s

30

40

表 2 :

【 表 2 】

材質	水	水	グリセリン
回折角 (20°C)	$\alpha = 45.0^\circ$	$\beta = 63.4^\circ$	$\alpha = 45.0^\circ$
高さ h / 距離 d 比	1.21	1.53	0.93
高さ h	2.53 mm	2.53 mm	2.53 mm
距離 d	2.1 mm	1.66 mm	2.72 mm
空間的頻度 d^{-1}	0.48 / mm	0.6 / mm	0.37 / mm
回折角 (67°C)	47.6°	69.30°	---

10

【0051】

図面において詳細に示していない別の形態では、例えば図2および図5において充填されている溝12が、ゴム、PVC、PVDF、または、媒体ならびにその他の柵および/もしくは溝の材料の音響的インピーダンスと大きく異なる音響的インピーダンスを有する材料のような、音響吸収性を有する材料で充填されている（例えば、真鍮性の柵と空気が充填されている溝）。これにより、同一位相が全ての格子点に適用されても回折格子内に含まれる空間から一切の音響が放射されない回折格子が作られる。

【0052】

鉛直線に沿って発信される音響的ビームに加え、これによって格子定数に関わりなく角度 $\theta = 0$ で発信される音響的ビームが作り出される。光学的格子の場合、これは0次の回折極大と呼ばれ、横断的なビームを1次の回折極大と呼んでいる。さらに高次の極大も同様に格子定数に依存して発生する。これは、上記の、位相回折 $\theta = 0$ の場合に対応している。

20

【0053】

0次のビームは、単にエネルギーを浪費し、反射を妨げるかもしれないので、超音波流量計として使用する場合、この効果は望ましくない。だが、ある場合には、例えば Clamp-ON-US 流量計（取り外せない方法で管に付けられているのではなく、あらゆる管に留めることが可能な流量計）を用いる場合、管径を計測する際に、これより恩恵を被ることができる。なぜならば、超音波流量計は一般に流速のみを測定し、通常は既知である管径に基づいて流量を計算するからである。上記の式[3]はこの場合にも適用可能であり、 m としていかなる整数も差し支えない（ $m = 0, 1, 2, 3 \pm$ ）。

30

【0054】

当然のことながら、様々なデザインにおける個々の詳細を、必要に応じて共働的な効果が得られるような、有益な方法で結合させることが可能である。特に、回折格子の形態および構造に関係した大きな改善が考えられる。図3に示す柵および溝は、例えば円形、波状、または、断続的なデザインにしても差し支えない。最適な音響的回折のためには山岳地帯に類似した柱状構造ですらありうる。

【0055】

気体とともに使用する場合、回折格子を超音波変換器、特に圧電性素子の上に直接配置することが考えられる。そのために、電極2は例えば、上記の表面構造に配することが可能である。

40

【0056】

本発明の実質的な基本理念は、横断的な超音波による計測チャネルの試験に際し、超音波ヘッド/超音波変換器を横断的に配置する必要はなく、直線的な位置に取り付けられて、そのまま超音波変換器が所定の角をなして横断的な直線内に超音波を発信する。このようにして、経済的な流量計が可能となる。特に、気体媒体中での利用においては、例えば媒体中に直接的に回折格子を備えた超音波変換器のみを配置することが可能である。したがって、計測管の壁への複雑な取り付けが不要である。必要であれば、本明細書において示されている圧電性素子以外の要素を超音波発生器として使用することも可能である。

50

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】超音波変換器の断面図である。

【図2】対称位相回折格子の断面図である。

【図3】超音波変換器の平面図である。

【図4】非対称位相回折格子の断面図である。

【図5】多段位相回折格子の断面図である。

【図6】集束性位相回折格子の平面図である。

【図7】超音波変換器における位相回折格子の別の配置である。

【図8】流量計の断面図である。

10

【符号の説明】

【0058】

1	・・・	圧電性素子	2	・・・	電極
3	・・・	電極	4	・・・	供給線
5	・・・	容器	6	・・・	内部空間
7	・・・	フランジ	8	・・・	計測管
9	・・・	開口部	10	・・・	窓
11	・・・	棚	12	・・・	溝
13	・・・	媒体	14	・・・	回折格子
15	・・・	流れ方向	16	・・・	管軸

20

【国際公開パンフレット】

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Juni 2002 (06.06.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/45074 A1

(51) Internationale Patentklassifikation: G10K 11/30,
G01F 1/66

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PAPE, Detlef [DE/DE];
Taubenstr. 21, 70199 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/04426

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. November 2001 (23.11.2001)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT, Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 59 566.9 30. November 2000 (30.11.2000) DE

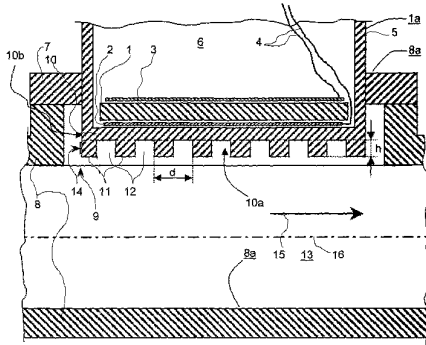
(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ULTRASONIC TRANSDUCER AND ULTRASONIC FLOWMETER

(54) Bezeichnung: ULTRASCHALLWANDLER UND ULTRASCHALL-DURCHFLOßMESSER



(57) Abstract: The aim of the invention is to provide an ultrasonic transducer (1a) that allows an examination of a measuring tube (8) by transverse ultrasonic waves. To this end, the ultrasonic transducer (1a) comprises a phase diffraction grating (14) interposed between the medium and the ultrasonic generator. Said grating comprises zones of different sound velocity. The ultrasonic transducer (1a) is preferably used in flowmeters.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/45074 A1

WO 02/45074 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)

— Erfinderverklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Um mit einem Ultraschallwandler (1a) eine schräge Durchschallung eines Messrohres (8) zu erzielen, ist vorgesehen, dass der Ultraschallwandler (1a) zwischen dem Medium und seinem Ultraschallerzeuger ein ein Phasen-Biegungsgitter (14) aufweist. Dieses umfasst Bereiche unterschiedlicher Schallausbreitungsgeschwindigkeit. Der Ultraschallwandler (1a) findet bevorzugt Anwendung bei Durchflussmesser.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

1

Beschreibung

Ultraschallwandler und Ultraschall-Durchflussmesser

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallwandler der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art. Die Erfindung bezieht sich ferner auf einen Ultraschall-Durchflussmesser gemäß der im Oberbegriff des Anspruchs 15 genannten Art.
- 10 Solche Ultraschallwandler werden zum Abstrahlen von Ultraschall in ein Medium und zum Empfang von Ultraschallwellen aus dem Medium verwendet. Insbesondere dienen sie zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums bei Durchflussmessern, die in einem Rohrsystem durch Messen der Durchflussgeschwindigkeit die Bezugsmenge eines strömenden Mediums und dadurch die vom Medium transportierte Energie, insbesondere die Wärmeenergie, ermitteln. Die Durchflussmesser ermöglichen dem Rohrsystembetreiber, dem Bezüger die aufgrund der Messwerte berechnete Bezugsmenge in Rechnung zu stellen.
- 20 Die DE-PS 899 574, DE-AS 29 34 031 und die US-PS 3 555 311 zeigen den prinzipiellen Aufbau von Ultraschallwandlern. Ein flächiges ebenes Piezomaterial ist zwischen zwei Elektrodenflächen angeordnet und wird durch ein elektrisches Wechselfeld, das zwischen den beiden Elektrodenflächen angelegt ist, zu Dickenschwingungen im Gleichtakt mit dem elektrischen Wechselfeld so angeregt, dass Schallwellen senkrecht zu den Elektrodenflächen in einem engen Bündel abgestrahlt werden. Fallen Ultraschallwellen senkrecht auf die Elektrodenflächen ein, wird das Piezomaterial zu Dickenschwingungen angeregt und erzeugt auf den Elektrodenflächen ein elektrisches Signal mit der Frequenz der Schallwellen. Das mit den Elektrodenflächen belegte Piezomaterial ist in einem gegen das Medium abgedichteten Wandlergehäuse so untergebracht, dass das Piezomaterial die Ultraschallwellen senkrecht von einer Abstrahlfläche des Wandlergehäuses abstrahlt.
- 25
- 30
- 35

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

2

Aus der WO86/02723 sind paarweise Anordnungen der Ultraschallwandler im strömenden Medium bekannt, die parallel zur Strömungsrichtung einander gegenseitig Ultraschallwellenpakete zusenden und die vom gegenüberliegenden Ultraschallwandler ausgesandten Ultraschallwellenpakete empfangen. Die Laufzeiten der Ultraschallwellenpakete im Medium stromaufwärts und stromabwärts unterscheiden sich wegen der Mitführung der Schallwellen durch das Medium und erlauben die Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit bzw. der Durchflussmenge. Die Oberflächenstruktur des Ultraschallwandlers beeinflusst die Schallabstrahlung, insbesondere die Bündelung des Schalls. Diese einfache Anordnung der Ultraschallwandler weist den Nachteil eines hohen Strömungswiderstandes auf.

Die DE-OS 40 10 148 A1 beschreibt einen Durchflussmesser für Gase und Flüssigkeiten mit einem wesentlich geringeren Strömungswiderstand. Die Ultraschallwandler sind ausserhalb des Messrohrquerschnitts in Nischen der Messrohrwand angeordnet. Diese Anordnung verlangt einen schräg zur Achse des Messrohrs einfallenden Strahl der Ultraschallwellen, der erst nach mehrfacher Spiegelung an der Messrohrwand auf den empfangenden Ultraschallwandler auftrifft. Das Bündel der Ultraschallwellen wird auf einem V- bzw. W-förmigen Weg durch das Messrohr geführt. Dies ergibt auch einen guten Mittelwert der inhomogenen Strömungsgeschwindigkeit. Die genaue Ausrichtung der senkrecht durch das Fenster abstrahlenden Ultraschallwandler verteuern das Gehäuse des Durchflussmessers.

Diesen Nachteil behebt ein in der DE 30 20 282 A1 beschriebener Interdigitalwandler als Ultraschallerzeuger. Die Interdigitalwandler sind flächige Stücke aus einem keramischen Piezomaterial, das auf der einen Seite zwei mit einer Wechselspannung beaufschlagten Elektroden mit einer Interdigitalstruktur aufweisen. Bei dieser Struktur greifen die Elektroden kammartig ineinander, ohne sich jedoch zu berühren. Die andere, dem Medium zugewandte Seite ist mit einer vollflächigen Masse - Elektrode belegt. Beim Anlegen von zwei gegenein-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

3

ander um 180° phasenverschobenen Wechselspannungen gleicher Frequenz f zwischen den beiden Elektroden einerseits und der Masse - Elektrode andererseits werden durch die Interdigitalstruktur bedeckten Zonen des Piezomaterials so zu Dicken-
5 schwingungen angeregt, dass durch die Masse - Elektrode hindurch Ultraschallwellen unter einem Winkel zur Senkrechten auf die Masse - Elektrode abgestrahlt werden. Der Abstrahlwinkel hängt von der Frequenz f und der Phasenverschiebung der Wechselspannungen und der Periodizität der Interdigitalstruktur ab. Die Interdigitalwandler verteuern die Durchfluss-
10 messer erheblich.

Weiter ist eine Ultraschallsonde aus der GB 2 011 219 A bekannt, die in der Medizinaltechnik zur abbildenden Untersuchung des Innern von lebenden Körpern Verwendung findet. Die Kontaktfläche der Ultraschallsonde gegen die Körperoberfläche ist gewellt, damit unerwünschte Reflexionen an der Grenzfläche Sonde - Körperoberfläche unterdrückt werden.

20 Die Aufgabe der Erfindung ist, einen kostengünstigen Ultraschallwandler und zugehörigen Durchflussmesser zu schaffen, wobei eine schiefe Abstrahlung der Ultraschallwellen in Bezug zur Außenfläche Ultraschallwandlers möglich sein soll. Ferner ist eine Verwendung des Ultraschallwandlers anzugeben.

25 Die Lösung dieser Aufgabe bezüglich des Ultraschallwandlers ist eine entscheidende Voraussetzung für die Herstellung eines wirklich kostengünstigen Ultraschall - Durchflussmessers.

30 Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 bzw. 15 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen. Eine Lösung bezüglich der Verwendung ist im Anspruch 12 angegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den übrigen Ansprüchen angegeben.

35 Auf diese Weise ist am Ultraschallwandler ein Phasen-Beugungsgitter gebildet, das eine schräge Abstrahlung der Ul-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

4

traschallwellen ermöglicht. Durch entsprechende Dimensionierung der Bereiche oder Wahl ihrer Materialien kann die Abstrahlung unter einem vorbestimmten Beugungswinkel α erzielt werden.

5

Bevorzugt sind die Bereiche als einander abwechselnde Rippen und Furchen ausgebildet. Ausgehend davon, dass die Rippen eine Höhe h und einen Abstand d aufweisen und durch die Furchen getrennt sind, und dass der Ultraschallerzeuger in das Medium abgestrahlte Ultraschall durch das Phasen-Beugungsgitter um einen vorbestimmten Beugungswinkel α aus etwa der Richtung eines Lots auf die abstrahlende Oberfläche abgelenkt ist, bestimmen im wesentlichen die Materialien der Gehäusewand, insbesondere die der Rippen und der Furchen, sowie die Gitterkonstanten (Abstand d , Höhe h usw.) den Beugungswinkel α des Phasen-Beugungsgitter (14). Bei einem direkten Kontakt mit dem von Interesse.

Nachfolgend werden Ausführungen, weitere Vorteile und Details der Erfindung anhand der Zeichnung und Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 einen Ultraschallwandler im Querschnitt,
FIG 2 ein symmetrisches Phasen-Beugungsgitter im Querschnitt,
25 FIG 3 der Ultraschallwandler in Draufsicht,
FIG 4 ein asymmetrisches Phasen-Beugungsgitter im Querschnitt,
FIG 5 ein asymmetrisches Stufen-Phasen-Beugungsgitter im Querschnitt,
30 FIG 6 ein fokussierendes Phasen-Beugungsgitter in Draufsicht,
FIG 7 eine andere Anordnung des Phasen-Beugungsgitter im Ultraschallwandler, und
FIG 8 Durchflussmesser im Querschnitt.

35 Die FIG 1 zeigt einen Ultraschallwandler 1a, der in einem Messrohr angeordnet ist, in einer Schnittdarstellung. In sei-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

5

nem Inneren weist er als Ultraschallerzeuger beispielhaft ein Piezoelement auf.

In der FIG 1 bedeuten 1 ein Piezoelement, 2 und 3 Elektroden, 4 elektrische Zuleitungen zu den Elektroden 2 und 3, 5 ein Wandlergehäuse, 6 ein Innenraum des Wandlergehäuses 5, 7 ein Flansch des Wandlergehäuses 5, 8 das Messrohr eines Durchflussmessers 8a im Querschnitt, 9 eine Öffnung im Messrohr 8, 10 ein sogenanntes „Ultraschall durchlässiges Fenster“. Rippen 11 und Furchen 12 bilden auf einer einem strömenden Medium 13 zugewandten Seite des Fensters 10 ein akustisches Beugungsgitter 14. Das Medium 13 weist eine Schallgeschwindigkeit C_M auf.

15 Das Wandlergehäuse 5 ist vorliegend beispielhaft topfförmig ausgebildet und mit einer Kreis- oder Polygonfläche als Grundfläche gegen das Medium 13 abgeschlossen. Die Kreis- oder Polygonfläche ist das Ultraschall durchlässige Fenster 10, dessen Außenfläche 10a mit dem Medium 13 in Kontakt 20 steht. Das Fenster 10 ist von einer Gehäusewand 10b des Wandlergehäuses 5 gebildet. Das Beugungsgitter 14 ist auf einer der beiden Flächen (Vorder- oder Rückseite) des Fensters 10 angeordnet. In der Zeichnung der FIG 1 ist das Beugungsgitter 14 auf der dem Medium 13 zugewandten Seite des Fensters 10 25 plaziert.

Das Wandlergehäuse 5 ist mit dem Fenster 10 und dem Beugungsgitter 14 voran in die Öffnung 9 des Messrohrs 8 eingesetzt. Das Beugungsgitter 14 ist somit in direktem akustischen Kontakt mit dem Medium 13. Der Flansch 7 positioniert das Wandlergehäuse 5 in der Öffnung 9 und ist dicht mit einem Flansch des Messrohrs 8 so verbunden, dass das in der Fließrichtung 15 parallel zur Messrohrachse 16 strömende Medium 13 nicht aus dem Messrohr 8 austreten kann.

35 Das Piezoelement 1, das vorliegend beispielhaft und bevorzugt als Ultraschallerzeuger dient, ist ein flächiges Material-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

6

stück mit einer Kreis- oder Polygonform und besteht aus einer elektrisch polarisierten Keramik oder aus einem elektrisch polarisierten Kunststoff, z.B. Polyvinylfluorid (PVF), Polyvinylidenfluorid (PVDF). Die gegenüberliegenden parallelen Flächen des Materialstücks sind mit den Elektroden 2 und 3 belegt; beispielsweise erfolgt dies durch Aufdampfen von Gold, Aluminium oder einem andern Leitermaterial auf die parallelen Flächen des Materialstücks. Das Piezoelement 1 schmiegt sich mit der ersten Elektrode 2 an die vom Medium 13 abgewandten Seite des Fensters 10. Dies gewährleistet einen guten Übergang der Ultraschallwellen vom Piezoelement 1 durch das Fenster 10 und das Beugungsgitter 14 hindurch ins Medium 13.

15 In einem Material mit der Schallgeschwindigkeit C pflanzen sich die akustischen Wellen mit der Wellenlänge $\lambda = C/f$ fort. Die Ultraschallwellen werden senkrecht zu einer dem Fenster 10 zugewandten und mit der ersten Elektrode 2 bedeckten Oberfläche des Piezoelements 1 abgestrahlt. Der Innenraum 6 ist 20 entweder mit Luft gefüllt oder mit einem Dämm-Material vergossen. Eine Ultraschallabstrahlung durch die zweite Elektrode 3 findet daher im wesentlichen nicht statt.

Die Zuleitungen 4 verbinden die Elektroden 2 und 3 mit einem hier nicht gezeigten Auswertegerät, das im wesentlichen entsprechend dem Stand der Technik ausgeführt ist, ausserhalb des Wandlergehäuses 9. Das Auswertegerät beaufschlagt beispielsweise während einer Sendephase die Elektroden 2 und 3 über die Zuleitungen 4 mit einer elektrischen Wechselspannung 30 der Frequenz f , damit das Piezoelement 1 im Wechselfeld der Frequenz f zu Dickenschwingungen angeregt wird.

Während einer der Sendephase unmittelbar folgenden Empfangsphase erzeugen die vom Medium 13 durch das Fenster 10 in das 35 Piezoelement 1 eindringenden Ultraschallwellen zwischen den beiden Elektroden 2, 3 Änderungen des elektrischen Potentials mit der Frequenz f des Ultraschalls. Diese Potentialänderun-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

7

gen gelangen als elektrische Signale über die Zuleitungen 4 in das Auswertegerät. Die für die Erzeugung von Ultraschall verwendete Frequenz f weist typisch einen Wert im Bereich zwischen ca. 50 KHz und 10 MHz auf. Ist Wasser das strömende Medium 13, werden Frequenzen f von ca. 1 MHz (0,9 MHz bis 1,1 MHz) bevorzugt verwendet.

Die dem Medium 13 zugewandte Seite des Fensters 10 weist die in einem regelmässigen Abstand d angeordneten Rippen 11 der Höhe h auf. Die zwischen den Rippen 11 abgesenkten Furchen 12 sind in einer Ausführung mit dem Medium 13 erfüllte Vertiefungen oder sind in einer anderen Ausführungen mit einem festen Material ausgefüllt. In einer Ausführung des Beugungsgitters 14 weisen die Rippen 11 und die Furchen 12 eine Profilform mit einem rechteckigen oder trapezförmigen Querschnitt auf, wobei das Tastverhältnis das Verhältnis der Querschnittsfläche der Rippen 11 zu der Querschnittsfläche der Furchen 12 1:1 ist.

Die Schallgeschwindigkeit in den Furchen 12, C_M bzw. C_2 , unterscheidet sich von der Schallgeschwindigkeit C_1 in den Rippen 11. Die Rippen 11 und Furchen 12 bilden für die Ultraschallwellen das vor dem Fenster 10 angeordnete Phasen-Beugungsgitter 14, nachfolgend kurz Beugungsgitter 14 genannt, mit Gitterkonstanten, wie Schallgeschwindigkeiten C_1 , C_M bzw. C_2 die Profilform, die Höhe h und der Abstand d . Die Ausführung des Beugungsgitters 14 mit den mit festem Material verfüllten Furchen 12 besitzt eine glatte Grenzfläche zum Medium 13 und beeinflusst daher mit den Rippen 11 die Strömung des Mediums 13 nicht.

Die FIG 2 zeigt das zwischen dem Fenster 10 und einer Schutzschicht 17 angeordnete Beugungsgitter 14. Grenzflächen 18 und 19 des Beugungsgitters 14 gegen das Fenster 10 und gegen die Schutzschicht 17 sind bevorzugt parallel. Das Fenster 10 und die Schutzschicht 17 weisen gleichmässige Stärken auf. Die Grenzflächen 18, 19 sind rein gedankliche Konstruktionen, um

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

8

das Beugungsgitter 14 in der Darstellung der FIG 2 gegen das Fenster 10 und die Schutzschicht 17 abzugrenzen.

5 Um einen optimalen akustischen Kontakt zwischen den Rippen 11 und dem Fenster 10 zu erzielen, sind die Furchen 12 mit Vorteil direkt in das Material des Fensters 10 geschnitten. Das Beugungsgitter 14 ist in einer Ausführung auf der dem Medium 13 (FIG 1) zugewandten Seite mit einer Schutzschicht 17 überzogen, das die Rippen 11 und die Furchen 12 überdeckt.

10

Mit Vorteil ist die Schutzschicht 17 aus dem gleichen Material wie dasjenige, das die Furchen 12 ausfüllt. Die Schallgeschwindigkeit der gleichmäßig dicken Schutzschicht 17 beeinflusst das Beugungsverhalten nicht. Daher kann die Schutzschicht 17 auch aus einem anderen Material hergestellt sein, beispielsweise um die akustische Impedanz des Ultraschallwandlers an die des Mediums 13, z.B. bei gasförmigen Medien 13, anzupassen.

20

Die über den Rippen 11 gemessene Dicke der Schutzschicht 17 ist in einer Ausführung kleiner als ein Viertel der Wellenlänge λ der Ultraschallwellen im Material der Schutzschicht 17, um beim Übergang ins Medium 13 eine zusätzliche Brechung der Ultraschallwellen zu vermeiden. Auf der rechten Seite der Darstellung in der FIG 2 sind die Furchen 12 mit einem Material so verfüllt, dass die dem Medium 13 zugewandten freien Oberflächen des Verfüllmaterials mit den freien Oberflächen der Rippen 11 bündig sind.

25

30

In Zonen der Rippen 11 weist das Material die Schallgeschwindigkeit C_1 auf, während in Zonen der Furchen 12 je nach der Ausführung des Beugungsgitters 14 die Schallgeschwindigkeit C_M des Mediums 13 bzw. die Schallgeschwindigkeit C_2 des die Furchen 12 füllenden Materials wirksam ist. Die in ebenen

35

Wellenfronten durch das Fenster 10 tretenden Ultraschallwellen erleiden beim Durchgang durch das Beugungsgitter 14 hindurch auf der durch die Höhe h bestimmten Strecke von den

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

9

Schallgeschwindigkeiten C_1 und C_M bzw. C_2 vorbestimmte, sich unterscheidende Phasenverschiebungen. Beim Austritt aus dem Beugungsgitter 14 weisen daher die Ultraschallwellen keine ebenen Wellenfronten mehr auf.

5

Aus der Differenz der Phasenverschiebung der Ultraschallwellen in den Rippen 11 und der Phasenverschiebung der Ultraschallwellen in den Furchen 12 berechnet sich die Phasendifferenz ϕ . Sie hängt von der Ultraschallfrequenz f , der Höhe h der Rippen 11 und den beiden Schallgeschwindigkeiten C_1 und C_M bzw. C_2 ab. Beim Austritt aus dem Beugungsgitter 14 beträgt die Phasendifferenz ϕ der Ultraschallwellen zwischen den Zonen der Rippen 11 und den Zonen der Furchen 12:

$$15 \quad \phi = 2\pi h f * (1/C_1 - 1/C_M) \text{ bzw.} \quad [1]$$

$$\phi = 2\pi h f * (1/C_1 - 1/C_2). \quad [2]$$

Da die Zonen der Rippen 11 und der Furchen 12 abwechselnd und regelmässig mit einer Spatialfrequenz d^{-1} angeordnet sind, treten Beugungseffekte auf.

20

In der FIG 3 weisen das Fenster 10 und das Wandlergehäuse 5 beispielhaft einen rechteckigen Querschnitt auf. Zwischen dem Fenster 10 und dem Medium 13 (Fig. 1) ist das Beugungsgitter 14 (Fig. 2) angeordnet. Das Medium 13 füllt die Furchen 12 und weist die Fliessrichtung 15 quer zu den Furchen 12 auf. Eine Beugungsebene 20 ist in der Zeichnung der FIG 3 punktiert dargestellt. Sie schneidet die Rippen 11 und Furchen 12 unter einem rechten Winkel und enthält ein Lot 21 auf die Ebene des Fensters 10.

30

Beträgt die Phasendifferenz $\phi = (2n + 1) * \pi$, wobei $n = 0, 1, 2, \dots$ ist, löschen sich die längs des Lots 21 gerichteten Ultraschallwellen gerade aus. In Abhängigkeit vom Abstand d und der Frequenz f erfahren die Ultraschallwellen in Richtungen, bei denen die Gesamtphasendifferenz $\phi = 2n\pi$ ist, eine Verstärkung der Intensität, d.h. die Ultraschallwellen werden

35

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

10

gebeugt. Die Richtungen dieser intensiven Ultraschallwellen schliessen mit dem Lot 21 einen Beugungswinkel α ein. Der Beugungswinkel berechnet sich gemäss

$$5 \quad \sin(\alpha) = m * \lambda/d, \quad [3]$$

wobei m ungeradzahlig, beispielsweise $m = \pm 1, 3, 5$ usw. ist. Unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung ϕ erhält man aus der Formel [3] für das Beugungsgitter 14 erster Ordnung

10 $(m = \pm 1)$

$$\sin(\alpha) = 2h/d * C_M[1/C_1 - 1/C_M] = 2h/d * |C_M/C_1 - 1| \quad [4]$$

für mit dem Medium 13 erfüllten Furchen 12 bzw.

15

$$\sin(\alpha) = \pm \phi/\pi * \lambda/d = 2h/d * C_M[1/C_1 - 1/C_2], \quad [5]$$

wenn das die Furchen 12 füllende Material die Schallgeschwindigkeit C_2 besitzt.

20

Der Beugungswinkel α ist von der Frequenz f der Ultraschallwellen unabhängig, hängt jedoch von der Schallgeschwindigkeit C_M im Medium 13 ab. In der Tabelle 1 sind für eine nicht abschliessende Aufzählung von verschiedenen Materialien die Schallgeschwindigkeit C für longitudinale Schwingungen aufgeführt. Die Schallgeschwindigkeit, insbesondere die von Gasen oder von flüssigen Medien 13, ändert sich mit der Temperatur. Bei Wasser beispielsweise steigt im Bereich von 10°C bis 100°C die Schallgeschwindigkeit von 1450 m/s bei 10°C bis zu einem Maximum bei 67°C von 1550 m/s um bei höheren Temperaturen wieder abzufallen.

25

30

Nachfolgend ist unter einem Abstrahlwinkel der Beugungswinkel α zu verstehen.

35

Beispiel 1:

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

11

Das in der FIG 3 gezeigte Beugungsgitter 14 mit Rippen aus Aluminium mit der Schallgeschwindigkeit $C_1 = 6300$ m/s und mit dem Medium 13 Wasser von 20°C ($C_M = 1480$ m/s) gefüllten, parallelen und geraden Furchen 12 weist einen Abstrahlwinkel von 45° auf. Gemäss der Formel [4] ergibt sich für den Abstrahlwinkel von 45° ein Verhältnis der Höhe h zum Abstand d von 0.462. Bei einer Frequenz von $f = 1$ MHz beträgt die Wellenlänge λ des Ultraschalls $\lambda = 1,48$ mm in Wasser von 20°C . Bei einer Phasenverschiebung $\phi = \pi$ ist nach der Formel [1] die Höhe $h = 0,97$ mm der Abstand $d = 2,10$ mm. Bei einer Änderung der Wassertemperatur von 20°C auf 67°C ändert sich der Abstrahlwinkel von $45,0^\circ$ auf $47,6^\circ$. Wird die Phasenverschiebung $\phi = (2n+1)\cdot\pi$ gewählt, sind das Verhältnis h/d und die Höhe h um den Faktor $(2n+1)$ ebenfalls vergrössert.

15

Beispiel 2:

Das in der FIG 2 gezeigte Beugungsgitter weist beispielsweise Rippen 11 aus einem unlegierten Stahl ($C_1 = 5940$ m/s) und mit Plexiglas ($C_2 = 2730$ m/s) ausgefüllte Furchen 12 auf. Der Abstrahlwinkel beträgt 45° bzw. $63,4^\circ$, die Ultraschallfrequenz $f = 1$ MHz und das Medium 13 ist Wasser von 20°C . Für eine Phasenverschiebung $\phi = \pi$ sind nach der Formel [2] und [5] die Werte in der Tabelle 2 berechnet.

25

Die FIG 4 zeigt ein vor dem Fenster 10 angeordnetes asymmetrisches Beugungsgitter 14. Die Rippen 11 und die Furchen 12 weisen einen keilförmigen Querschnitt auf. In der Zeichnung der FIG 4 sind zwei Formen der keilförmigen Querschnitte gezeigt. Im Gegensatz zu den beiden symmetrischen Beugungsgittern 14 in den beiden Beispielen 1 und 2 werden die unter den Beugungswinkel α abgestrahlten Ultraschallwellen nicht mit gleicher Intensität in die Richtungen von Pfeilen 22, 23 vom Lot 21 weggebeugt, sondern die abgestrahlten Ultraschallwellen werden bevorzugt in einer der beiden Beugungsrichtungen gebeugt. In der Darstellung der FIG 4 ist die Grösse der In-

35

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

12

tensität der abgestrahlten Ultraschallwellen durch die unterschiedliche Länge der beiden Pfeile 22, 23 dargestellt.

Der Vorteil dieser Ausführung des Beugungsgitters 14 ist eine
5 Konzentration der abgestrahlten Ultraschallenergie auf den durch die Messstrecke führenden Weg in Richtung des längeren Pfeils 23. Beim Empfang von Ultraschallwellen aus der Richtung des längeren Pfeils 23 ist der Ultraschallwandler wegen des vorgeschalteten Beugungsgitters 14 empfindlicher als aus
10 der Richtung des Pfeils 22. Der Ultraschallwandler weist daher eine asymmetrische Empfangscharakteristik auf.

Die FIG 5 zeigt eine andere Ausführung des asymmetrischen Beugungsgitters 14. Die Rippen 11 besitzen auf der einen Seite
15 eine einzige Stufe von der Höhe h über dem Fenster 10. Auf der anderen Seite erfolgt die Reduktion der Höhe h nicht kontinuierlich sondern in mehreren treppenartigen Stufen.

In der Zeichnung der FIG 5 sind in jeder Gitterperiode mit
20 der Strecke d sechs Stufen a bis f . Die Phasenverschiebung ϕ der Ultraschallwellen ändert sich stufenweise im Bereich der Furche 12 von Wert $\phi = 0$ in der Stufe a bis zum maximalen Wert in der Stufe f , in der z.B. $\phi = \pi$. Dies entspricht der in jeder Stufe der jeweils wirksamen Höhe des über jeder Stufe
25 verbleibenden zweiten Materials, das die Furche 12 erfüllt. Die Beugungseigenschaften sind weitgehend dieselben, wie beim Beugungsgitter 14 der FIG 4.

Anstelle der beispielhaft gezeigten Profilformen der Rippen
30 11 des Beugungsgitters 14 sind für die begrenzende Fläche der Rippen 11 bzw. der Furchen 12 auch andere periodische symmetrische oder asymmetrische Funktionen für die Profilform der Rippen 11 verwendbar.

35 Neben den geraden parallelen Rippen 11 und Furchen 12 sind, wie aus der FIG 6 ersichtlich ist, auch Beugungsgitter 14 mit den gekrümmten Rippen 11 und Furchen 12 einsetzbar. Die Ul-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

13

traschallwellen werden durch die Krümmung der Rippen 11 bzw. Furchen 12 fokussiert. Dies ist bei langen Wegen der Ultraschallwellen von einem Ultraschallwandler zum andern von Vorteil.

5

Eine weitere Ausführung des Ultraschallwandlers ist in der FIG 7 dargestellt. Das Beugungsgitter 14 ist auf der vom Medium abgewandten Seite des Fensters 10 im Innenraum 6 des Wandlergehäuses 5 zwischen dem Piezoelement 1 und dem Fenster 10 angeordnet. Die Furchen 12 zwischen den Rippen 11 sind mit einem festen Material mit der Schallgeschwindigkeit C_2 ausgefüllt. Es gelten die gleichen Überlegungen wie im Beispiel 2. An den Grenzflächen 18 (Fig. 2), 19 (Fig. 2) zwischen dem Piezoelement 1 bzw. der Elektrode 2 und der einen Oberfläche des Beugungsgitters 14 einerseits und zwischen der anderen Oberfläche des Beugungsgitters 14 und der Innenseite des Fensters 10 andererseits ist ein guter akustischer Kontakt notwendig.

20

Die FIG 8a und 8b zeigen die Anordnung zweier Ultraschallwandler 24, 25 am Messrohr 8, bei verschiedenen Konstruktionen des Durchflussmessers 8a mit schräger Durchschallung. Die dem Medium 13 zugewandten Beugungsgitter 14 (Fig. 2) der beiden Ultraschallwandler sind bei einer bestimmten Ausführung jeweils identisch. Die Gittervektoren 26 (Fig. 3) der beiden Beugungsgitter 14 liegen in der gemeinsamen Beugungsebene 20 (Fig. 3). Der Gittervektor 26 des einen Beugungsgitters 14 ist entgegengesetzt zum Gittervektor 26 des anderen Beugungsgitters 14 gerichtet.

30

Die Durchschallung des Messrohrs 8 erfolgt schief zur Messrohrachse 16, wobei die Ultraschallwellen unter einem Winkel α zum Lot 21 (Fig. 3) weggebeugt werden und schief zur Messrohrachse 16 vom ersten Ultraschallwandler 24 zum zweiten Ultraschallwandler 25 gelangen.

35

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

14

In der FIG 8a erfolgt keine Spiegelung der Ultraschallwellen, die vom ersten Ultraschallwandler 24 zum zweiten Ultraschallwandler 25 an der ihnen gegenüberliegenden Wand des Messrohrs 8 gesendet werden. In der Zeichnung der FIG 8b sind die Wege 5 27, 28 der Durchschallung einmal (punktierte Linie 27) bzw. dreimal (gestrichelte Linie 28) im Innern des Messrohrs 8 (Fig. 8a) gespiegelt.

Falls, wie in diesem Beispiel gezeigt, die Ultraschallwandler 10 24,25 unabhängig davon, ob die Ultraschallwellen einmal oder dreimal gespiegelt werden, in gleicher Distanz D auf dem Messrohr 8 angeordnet sind, weisen die Ultraschallwandler 24, 25 entsprechend angepasste Beugungsgitter 14 (Fig. 1) auf, damit die Ultraschallwellen unter dem erforderlichen Beugungswinkel α bzw. β abgestrahlt werden. 15

Sind jedoch die Beugungsebenen 20 (Fig. 3) der beiden Beugungsgitter 14 parallel und schliessen mit der Messrohrachse 16 (Fig. 8a) einen Azimutwinkel ein, werden die Ultraschallwellen auf ihrem Weg 27 an Wandflächen 29, 30 des Messrohrs 8 zusätzlich gespiegelt, d.h. der Weg 27 durch das Messrohr 8 ist ein schraubenförmiger Polygonzug. Eine parallel zur Messrohrachse 16 gerichtete Komponente des Gittervektors 26 (Fig. 3) des einen Beugungsgitters 14 ist entgegengesetzt zu einer parallel zur Messrohrachse 16 gerichteten Komponente des Gittervektors 26 des anderen Beugungsgitters 14 gerichtet, damit der Ultraschall jeweils empfangende Ultraschallwandler insbesondere bei asymmetrischen Beugungsgittern 14 eine hohe Empfindlichkeit aufweist. 20 25 30

In der Zeichnung der FIG 8b ist dies am Beispiel des gepunktet dargestellten Wegs 27 gezeigt. Der Ultraschall wird unter Winkel β zum Lot 21 (Fig. 3) von dem durch den Ultraschallwandler 24 gegen die im Querschnitt sichtbare Wandfläche 29 abgestrahlt. Von dort trifft der Ultraschall nach einer Spiegelung am Boden des Messrohrs 8 auf die im Querschnitt nicht sichtbare Wandfläche 30, die den Ultraschall zum zweiten Ul-

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

15

traschallwandler 25 spiegelt. Der Vorteil einer solchen Führung der Ultraschallwellen ist die genauere Messung der Strömungsgeschwindigkeit durch eine vollständigere Erfassung des Strömungsprofils des Mediums 13 (FIG 8a) im Messrohr 8.

5

In der Tabelle 2 sind als Beispiel die Gitterkonstanten d , h und die zugehörigen Spatialfrequenzen d^{-1} für die Abstrahlwinkel $\alpha = 45,00^\circ$ und $\beta = 63,4^\circ$ [$\arctan(1)$ bzw. $\arctan(2)$] in Wasser von 20°C und die zugehörigen Spatialfrequenzen d^{-1} für

10

den Fall der dreimaligen (Weg 28) bzw. einmaligen (Weg 27) Spiegelung im Messrohr 8 angegeben, wobei das Beugungsgitter 14 für den grösseren Abstrahlwinkel die höhere Spatialfrequenz d^{-1} aufweist. Normalerweise ist das Messrohr 9 nur für

15

Die Abstrahlwinkel sind von der Anzahl Spiegelungen im Messrohr 8 und der Distanz D zwischen den beiden Ultraschallwandler abhängig, wobei die Abstrahlwinkel im Bereich von 40° bis 60° bevorzugt werden.

20

Wenn jedoch ein anderes Medium 13 eingesetzt wird, sind die Gitterkonstanten d , h des Beugungsgitters 14 dem Medium 13 anzupassen. Die Tabelle 2 zeigt als Vergleich die Parameter des Beugungsgitters 14 bei einem Abstrahlwinkel von 45° in das Medium 13 Glyzerin.

25

Tabelle 1:

Longitudinale Schallgeschwindigkeit nach
Lehfeldt, Ultraschall, Vogel-Verlag
1973, Tabelle Seite 172, ISBN 3-8023-
0060-2

Material	Schallgeschwindigkeit
Aluminium	6300 m/s
Blei	2160 m/s
Kupfer	4700 m/s

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

16

Messing MS 63	4400 m/s
Stahl unlegiert bis 0,5 % C	5940 m/s
Chromstahl 12 % Cr, 2 % C	6140 m/s
Plexiglas	2730 m/s
Glyzerin von 20°C	1923 m/s
Wasser von 20°C	1480 m/s

5

Tabelle 2:

Material	Wasser	Wasser	Glyze- rin
Abstrahlwinkel bei 20°C	$\alpha =$ 45,0°	$\beta =$ 63,4°	$\alpha =$ 45,0°
Verhältnis der Höhe h zum Abstand d	1,21	1,53	0,93
Höhe h	2,53 mm	2,53 mm	2,53 mm
Abstand d	2,1 mm	1,66 mm	2,72 mm
Spatialfrequenz d^{-1}	0,48/mm	0,6 /mm	0,37/mm
Abstrahlwinkel bei 67°C	47,6°	69,30°	- - -

Eine weitere, in den Zeichnungen nicht näher dargestellte Variante könnte derart ausgestaltet sein, dass die beispielsweise in FIG 2 und FIG 5 ausgefüllten Furchen 12 mit einem Schall absorbierenden Material, z.B. Gummi, PVC, PVDF, oder einem Material mit einer stark vom Medium und den anderen Rippen bzw. Furchenmaterial abweichenden Schallimpedanz (z.B. Rippen aus Messing und mit Luft befüllte Furchen). Auf diese Weise entsteht ein Beugungsgitter, bei dem die gleiche Phase an allen Gitterpunkten anliegt, wobei von den Zwischenräumen des Beugungsgitters jedoch kein Schall ausgeht.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

17

Dadurch entsteht zusätzlich zu dem schräg abgestrahltem Schallstrahl ein Schallstrahl, welcher unabhängig von den Gitterkonstanten unter dem Winkel $\alpha = 0$ ausgesendet wird.

Bei optischen Gittern wird dies als Beugungsmaximum nullter Ordnung und der schräg abgestrahlte Strahl als Beugungsmaximum erster Ordnung bezeichnet. Je nach Gitterkonstanten können auch noch Maxima höherer Ordnung auftreten. Dies entspricht dem bereits oben beschriebenen Fall einer Phasenverschiebung von ϕ ungleich π .

10

In der Regel ist dieser Effekt für die Anwendung bei Ultraschall-Durchflussmesser unerwünscht, da durch den Strahl nullter Ordnung nur Energie verloren geht und eventuell störende Reflexionen auftreten. Dies kann jedoch bei bestimmten Anwendungsfällen, z.B. bei einem Clamp-ON-US-Durchflussmesser (dies ist ein Durchflussmesser, der nicht fest in eine Leitung eingebaut wird, sondern auf eine beliebige Rohrleitung aufgeklippt wird) vorteilhaft zur Messung des Rohrdurchmessers genutzt werden, da ein Ultraschalldurchmesser in der Regel nur die Strömungsgeschwindigkeit misst und die Durchflussmenge mit Hilfe des normalerweise als bekannt vorausgesetzten Rohrdurchmessers errechnet. Auch für diesen Fall gilt die oben genannte Formel (3), wobei für m alle ganzen Zahlen zulässig sind ($m = 0, 1, 2, 3 \pm$).

25

Selbstverständlich können einzelne Details der verschiedenen Ausführungen auch vorteilhaft miteinander kombiniert werden, wodurch ggf. auch sinergetische Wirkungen erzielt werden können. Insbesondere sind wesentliche Optimierungen im Bereich der Form und Struktur des Beugungsgitters denkbar. Beispielsweise können die in FIG 3 gezeigten Rippen und Furchen auch abweichend von ihrer dort gezeigten geraden Form auch kreis- oder wellenförmig oder auch unterbrochen ausgeführt sein. Ggf. ist auch eine Säulenstruktur nach Art eines Gebirges zur optimierten Schallabstrahlung denkbar.

35

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

18

Für Anwendungen mit Gasen ist es auch denkbar, dass das Beugungsgitter direkt auf dem Ultraschallerzeuger, insbesondere dem Piezoelement aufgebracht ist. Dazu kann beispielsweise die Elektrode 2 mit der bereits beschriebenen Oberflächenstruktur versehen sein.

Wesentlicher Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist, dass zur schrägen Durchschallung eines Messkanals nicht mehr eine schräge Anordnung des Ultraschallkopfes/Ultraschallwandlers erforderlich ist, sondern dass dieser bei einem geraden Einbau von sich aus den Ultraschall unter einem vorgegebenen Winkel schräg abgibt. Auf diese Weise ist ein kostengünstiger Durchflussmesser realisierbar. Insbesondere bei der Anwendung in gasförmigen Medien ist es denkbar, z.B. direkt nur den Ultraschallerzeuger mit Beugungsgitter direkt in das Medium anzuordnen. Ein komplizierter Einbau in die Wandung des Messrohres erübrigt sich daher. Als Ultraschallerzeuger sind ggf. auch andere Bauteile als das hier aufgezeigte Piezoelement denkbar.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

19

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler zum Abstrahlen von Ultraschall in ein Medium (13),
5 mit einem Ultraschallerzeuger und einer Außenfläche (10a) zur Kontaktaufnahme mit dem Medium,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass zwischen Ultraschallerzeuger und Außenfläche (10a) oder auf der Außenfläche, ein Phasen-Beugungsgitter (14) bildende Bereiche un-
10 terschiedlicher Schallausbreitungsgeschwindigkeit angeordnet sind.
2. Ultraschallwandler nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Ultraschallerzeuger in
15 einem Wandlergehäuse (5) angeordnet ist und in akustischem Kontakt mit einer Gehäusewand (10b) steht, die die Außenfläche (10a) trägt.
3. Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Bereiche als in das
20 Material der Außenfläche (10a) eingearbeitete, aufeinander abwechselnd folgende Rippen (11) und Furchen (12) ausgebildet sind.
4. Ultraschallwandler nach Anspruch 1,2,3 oder 4 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Bereiche von unterschiedlichen Materialien gebildet sind.
5. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Ultraschallerzeuger als Piezoelement (1) ausgebildet ist, das insbesondere flächig mit der Gehäusewand (10b) in Kontakt steht.
- 35 6. Ultraschallwandler nach Anspruch 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Piezoelement (1) zwischen zwei ungeteilten Elektroden (2; 3) angeordnet ist.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

20

7. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, da durch gekennzeichnet, dass das Phasen-Beugungsgitter (14) parallele gekrümmte Furchen (12) aufweist.

8. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da durch gekennzeichnet, dass das Phasen-Beugungsgitter (14) parallele gerade Furchen (12) aufweist.

9. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, da durch gekennzeichnet, dass das Phasen-Beugungsgitter (14) symmetrisch ist.

10. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, da durch gekennzeichnet, dass das Phasen-Beugungsgitter (14) asymmetrisch ist.

11. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10 in Verbindung mit Anspruch 3, da durch gekennzeichnet, dass die Furchen (12) mit einem vom Material der Rippen (11) unterschiedlichen Material aufgefüllt sind.

12. Verwendung eines Ultraschallwandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 11 in einem Durchflussmesser (8a) zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit eines Mediums (13) mit schiefer Durchschallung eines Messrohrs (8).

13. Verwendung nach Anspruch 12, da durch gekennzeichnet, dass die Beugungsgitter (14) der Ultraschallwandler (24,25) eine gemeinsame Beugungsebene (20) parallel zu einer Messrohrachse (16) des Messrohrs (8) aufweisen und dass ein Gittervektor (26) des einen Beugungsgitters (14) entgegengesetzt zu einem Gittervektor (26) des anderen Beugungsgitters (14) gerichtet ist.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

21

14. Verwendung nach Anspruch 12, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, dass die Beugungsgitter (14) pa-
r a l l e l e B e u g u n g s e b e n e n (20) parallel aufweisen, dass die Beu-
g u n g s e b e n e n (20) mit einer Messrohrachse (16) des Messrohrs
5 (8) einen Azimutwinkel einschliessen und dass eine parallel
zur Messrohrachse (16) gerichtete Komponente eines Gittervek-
t o r e n (26) des einen Beugungsgitters (14) entgegengesetzt zu
einer parallel zur Messrohrachse (16) gerichtete Komponente
10 eines Gittervektors (26) des anderen Beugungsgitters (14) ge-
r i c h t e t i s t.

15. Ultraschall-Durchflussmesser (8a) mit einem Messrohr (8),
a n w e l c h e m z u m i n d e s t e i n U l t r a s c h a l l w a n d l e r (1a) zum Abstrah-
l e n v o n U l t r a s c h a l l i n e i n e m M e d i u m (13) angeordnet ist, wobei
d e r U l t r a s c h a l l w a n d l e r e i n e n U l t r a s c h a l l e r z e u g e r u m f a s s t, d e r
e i n e A u ß e n f l ä c h e z u r K o n t a k t a u f n a h m e m i t d e m M e d i u m a u f w e i s t,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Ul-
t r a s c h a l l e r z e u g e r e i n P h a s e n - B e u g u n g s g i t t e r (14) bildende Be-
20 r e i c h e u n t e r s c h i e d l i c h e r S c h a l l a u s b r e i t u n g s g e s c h w i n d i g k e i t
a u f w e i s t, w e l c h e z u r g e r i c h t e t e n A b s t r a h l u n g d e r U l t r a s c h a l l -
w e l l e n i n e i n e v o r g e g e b e n e R i c h t u n g d i e n e n.

WO 02/45074

PCT/DE01/04426

1/2

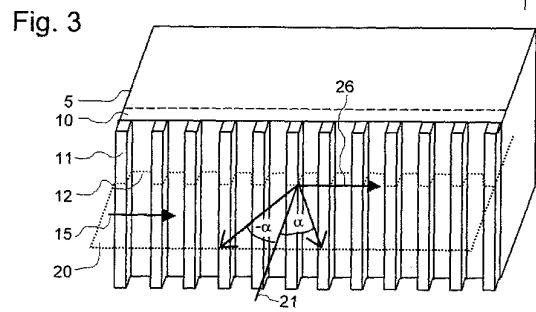
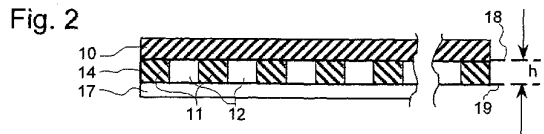
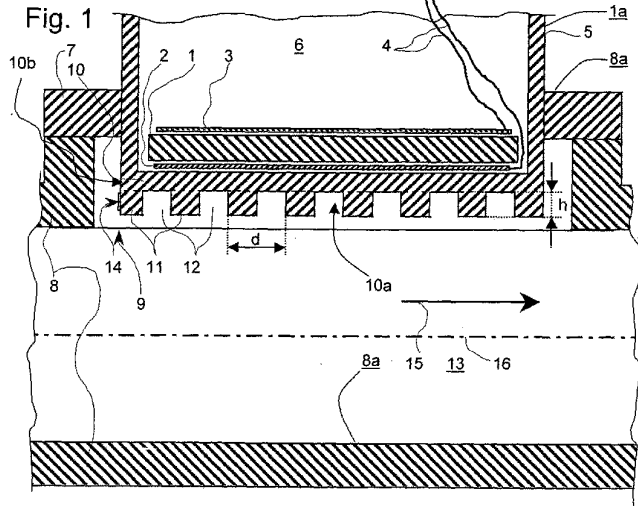


Fig. 4

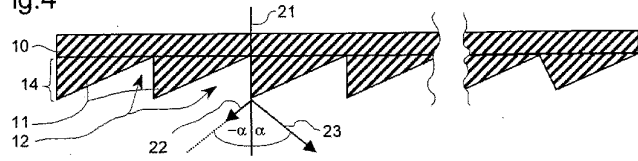


Fig. 5

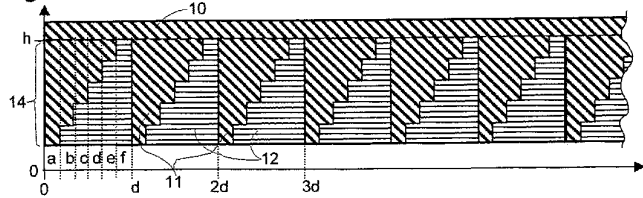


Fig. 6

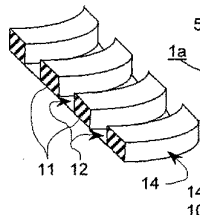


Fig. 7

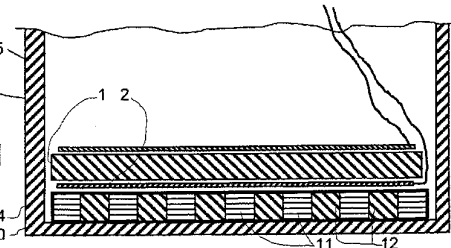


Fig. 8a

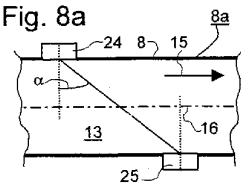
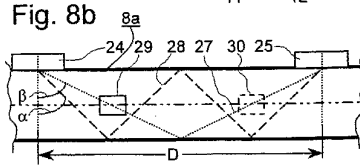


Fig. 8b



【手続補正書】

【提出日】平成14年12月16日(2002.12.16)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波発生器、および、媒体との接触を確立するための外側表面(10a)を備え、該超音波発生器と該外側表面(10a)との間の領域、または、該外側表面上にて生じた特有の音波分散速度が作用して位相回折格子(14)を構成し、該領域は異なる材料で構成され、該位相回折格子(14)は非対称である、超音波を媒体(13)中に回折させるための超音波変換器であって、

該領域は外側表面部材(10a)に統合され、交互に積層された棚(11)および溝(12)として作られ、楔形の断面を示し、超音波の不均等な強度を有する散逸、さらに、回折方向の選択性を示すことを目的として作られていることを特徴とする超音波変換器。

【請求項2】

前記超音波発生器が変換器容器(5)の内部に配置され、前記外側表面(10a)を支持する前記容器の壁(10b)と音響的に接触していることを特徴とする、請求項1に記載の超音波変換器。

【請求項3】

前記超音波発生器が圧電性素子(1)で構成され、前記容器壁(10b)と、特に平面で接触していることを特徴とする、請求項1または2に記載の超音波変換器。

【請求項4】

前記圧電性素子(1)が2つの分割されていない電極(2、3)の間に配されていることを特徴とする、請求項3に記載の超音波変換器。

【請求項5】

前記位相回折格子(14)が平行な、湾曲した溝(12)を有することを特徴とする、請求項1ないし4のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項6】

前記位相回折格子(14)が平行な、直線状の溝(12)を有することを特徴とする、請求項1ないし5のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項7】

前記溝(12)は、前記棚(11)の材料以外の材料が充填されていることを特徴とする、請求項1ないし6のいずれか1つに記載の超音波変換器。

【請求項8】

計測管(8)に関して傾斜した角度を有する超音波を発信して媒体(13)の流速を計測するための、流量計(8a)における請求項1ないし7のいずれか1つに記載の超音波変換器の使用法。

【請求項9】

前記超音波変換器(24、25)の前記回折格子(14)が前記計測管(8)の前記計測管軸(16)と平行な共通の回折平面(20)を有し、かつ、前記回折格子(14)のうちの1つの格子ベクトル(26)の1つが他方の回折格子(14)の格子ベクトル(26)の1つの逆方向を向いていることを特徴とする、請求項8に記載の使用法。

【請求項10】

前記回折格子(14)が平行な回折平面(20)を有し、前記回折平面(20)は前記計測管(8)の計測管軸(16)とアジマス角を成し、回折格子(14)の一方の格子ベクトルの1つの前記計測管軸(16)と平行な成分は、他方の回折格子(14)の格子ベクトル(26)の1つの前記計測管軸と平行な成分と逆方向を向いていることを特徴とする

、請求項 8 に記載の使用法。

【請求項 11】

媒体 (13) 中に超音波を回折させるための、少なくとも 1 つの超音波変換器 (1a) が配されている計測管 (8) を備え、前記超音波変換器が、前記媒体との接触を確立するための外側表面を備えた超音波発生器を包含し、超音波を定められた方向に散逸させるために配置されている離散的領域で生じる特有の音波分散速度が位相回折格子 (14) を構成し、前記位相回折格子 (14) が非対称である、超音波流量計 (8a) であって、該領域は外側表面部材 (10a) に統合され、交互に積層された柵 (11) および溝 (12) として作られ、楔形の断面を示し、超音波の不均等な強度を有する散逸、さらに、回折方向の選択性を示すことを目的として作られていることを特徴とする超音波流量計。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int'l Application No PCT/DE 01/04426
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G10K11/30 G01F1/66		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G10K G01F G01P		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 011 219 A (EMI LTD) 4 July 1979 (1979-07-04) cited in the application abstract page 2, column 1, line 20 - line 24; figure 2	1,3,8,9
A	page 2, column 2, line 75 - line 77 ---	7
X	GB 738 941 A (REALISATIONS ULTRASONIQUES SA) 19 October 1955 (1955-10-19) page 2, column 2, line 109 -page 3, column 1, line 20; figure 1 --- -/--	1-3,5,6, 8,9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 March 2002		Date of mailing of the international search report 05/04/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Anderson, A

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int. Application No. PCT/DE 01/04426
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5 March 2001 (2001-03-05) -& JP 2000 304581 A (FUJI ELECTRIC CO LTD), 2 November 2000 (2000-11-02) abstract; figures 1,2B -----	1
A	US 4 375 767 A (MAGORI VALENTIN) 8 March 1983 (1983-03-08) cited in the application -----	

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT Information on patent family members				International Application No. PCT/DE 01/04426	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
GB 2011219	A	04-07-1979	NONE		
GB 738941	A	19-10-1955	CH 311838 A	15-12-1955	
			FR 1071199 A	26-08-1954	
JP 2000304581	A	02-11-2000	NONE		
US 4375767	A	08-03-1983	DE 3020282 A1	03-12-1981	
			AT 9184 T	15-09-1984	
			DE 3120541 A1	23-12-1982	
			DK 233581 A ,B,	29-11-1981	
			EP 0040837 A1	02-12-1981	
			JP 57020614 A	03-02-1982	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT		Internationales Aktenzeichen PCT/DE 01/04426
A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSBEGENSTANDES IPK 7 610K11/30 601F1/66		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierte(r) Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 610K 601F 601P		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, PAJ		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Behr. Anspruch Nr.
X	GB 2 011 219 A (EMI LTD) 4. Juli 1979 (1979-07-04) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Seite 2, Spalte 1, Zeile 20 - Zeile 24; Abbildung 2	1,3,8,9
A	Seite 2, Spalte 2, Zeile 75 - Zeile 77 ---	7
X	GB 738 941 A (REALISATIONS ULTRASONIQUES SA) 19. Oktober 1955 (1955-10-19) Seite 2, Spalte 2, Zeile 109 -Seite 3, Spalte 1, Zeile 20; Abbildung 1 --- -/--	1-3,5,6, 8,9
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
26. März 2002		05/04/2002
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Anderson, A

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In	nationales Aktenzeichen
PCT/DE 01/04426	

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch-Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5. März 2001 (2001-03-05) - & JP 2000 304581 A (FUJI ELECTRIC CO LTD), 2. November 2000 (2000-11-02) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2B -----	1
A	US 4 375 767 A (MAGORI VALENTIN) 8. März 1983 (1983-03-08) in der Anmeldung erwähnt -----	

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2), Juli 1992

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT Angaben zu Veröffentlichung				Inventarzeichen PCT/DE 01/04426	
Im Recherchenbericht angeführtes Patentsdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung		
GB 2011219	A	04-07-1979	KEINE		
GB 738941	A	19-10-1955	CH	311838 A	15-12-1955
			FR	1071199 A	26-08-1954
JP 2000304581	A	02-11-2000	KEINE		
US 4375767	A	08-03-1983	DE	3020282 A1	03-12-1981
			AT	9184 T	15-09-1984
			DE	3120541 A1	23-12-1982
			DK	233581 A , B,	29-11-1981
			EP	0040837 A1	02-12-1981
			JP	57020614 A	03-02-1982