



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월07일
 (11) 등록번호 10-1325516
 (24) 등록일자 2013년10월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03H 9/25 (2006.01) *H03H 9/145* (2006.01)
H03B 5/30 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2011-0127487
 (22) 출원일자 2011년12월01일
 심사청구일자 2011년12월01일
 (65) 공개번호 10-2012-0061749
 (43) 공개일자 2012년06월13일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2010-270953 2010년12월03일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문현
 JP2010233203 A
 JP2009225420 A
 JP2007208871 A

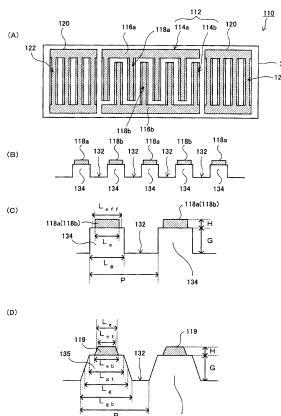
전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김상철

(54) 발명의 명칭 탄성 표면파 공진자, 탄성 표면파 발진기 및, 전자 기기

(57) 요 약

양호한 주파수 온도 특성을 실현함과 함께, 주파수의 불균일을 억제 가능한 탄성 표면파 공진자를 제공한다. 상기 과제를 해결하기 위한 탄성 표면파 공진자는, 오일러각 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$)의 수정 기판과, 상기 수정 기판 상에 형성되고, 복수의 전극 팽거를 포함하고, 스텁 밴드 상단 모드의 탄성 표면파를 여진하는 IDT를 구비하고, 평면에서 봤을 때, 상기 전극 팽거 사이의 위치에, 상기 수정 기판의 융풀 패인, 전극 팽거 간 홈을 배치하고, 상기 전극 팽거 간 홈의 사이에 배치되어 있는 상기 수정 기판의 볼록부의 라인 점유율을 η_g , 상기 볼록부 상에 배치되어 있는 상기 전극 팽거의 라인 점유율을 η_e 로 하고, 상기 IDT의 실효 라인 점유율(η_{eff})을 상기 라인 점유율(η_g)과 상기 라인 점유율(η_e)과의 상가(相加) 평균으로 한 경우, $\eta_g > \eta_e$ 그리고 $0.59 < \eta_{eff} < 0.73$ 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

대 표 도 - 도59

(72) 발명자

이이자와 케이고

998-0194 일본국 야마가타켄 사카타시 주리즈카
166반지 3 도호쿠 엡슨 가부시키가이샤 나이

하노 켄이치

998-0194 일본국 야마가타켄 사카타시 주리즈카
166반지 3 도호쿠 엡슨 가부시키가이샤 나이

특허청구의 범위

청구항 1

오일러각 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$)의 수정 기판과,

상기 수정 기판 상에 형성되고, 복수의 전극 팽거를 포함하며, 스텝 밴드 상단 모드의 탄성 표면파를 여진하는 IDT를 구비하고,

평면에서 볼 때, 상기 전극 팽거 사이의 위치에, 상기 수정 기판의 움푹 패인, 전극 팽거 간 홈을 배치하고,

상기 전극 팽거 간 홈 사이에 배치되어 있는 상기 수정 기판의 불록부의 라인 점유율을 n_g , 상기 불록부 상에 배치되어 있는 상기 전극 팽거의 라인 점유율을 n_e 로 하고,

상기 IDT의 실효 라인 점유율(n_{eff})을 상기 라인 점유율(n_g)과 상기 라인 점유율(n_e)과의 상가평균(arithmetic mean)으로 하여, 하기식의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

$$n_g > n_e$$

$$0.59 < n_{eff} < 0.73$$

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 탄성 표면파의 파장을 λ , 상기 전극 팽거 간 홈의 깊이를 G , 상기 IDT의 전극 막두께를 H 로 하고, 상기 전극 팽거 간 홈의 깊이(G)를 상기 탄성 표면파의 파장(λ)으로 나눈 값(G/λ)과, 상기 실효 라인 점유율(n_{eff})에 의한 평면 좌표를 $(G/\lambda, n_{eff})$ 로 한 경우에, 상기 평면 좌표 $(G/\lambda, n_{eff})$ 가,

(1) $0.000\lambda < H \leq 0.005\lambda$ 인 경우,

$(0.010, 0.710), (0.020, 0.710), (0.030, 0.710), (0.040, 0.710), (0.050, 0.710), (0.060, 0.710), (0.070, 0.710), (0.080, 0.710), (0.090, 0.710), (0.090, 0.420), (0.080, 0.570), (0.070, 0.590), (0.060, 0.615), (0.050, 0.630), (0.040, 0.635), (0.030, 0.650), (0.020, 0.670), (0.010, 0.710)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, $(0.030, 0.590), (0.040, 0.580), (0.050, 0.550), (0.060, 0.520), (0.070, 0.480), (0.080, 0.450), (0.090, 0.400), (0.090, 0.180), (0.080, 0.340), (0.070, 0.410), (0.060, 0.460), (0.050, 0.490), (0.040, 0.520), (0.030, 0.550), (0.030, 0.590)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

(2) $0.005\lambda < H \leq 0.010\lambda$ 인 경우,

$(0.010, 0.770), (0.020, 0.740), (0.030, 0.715), (0.040, 0.730), (0.050, 0.740), (0.060, 0.730), (0.070, 0.730), (0.080, 0.730), (0.080, 0.500), (0.070, 0.570), (0.060, 0.610), (0.050, 0.630), (0.040, 0.635), (0.030, 0.655), (0.020, 0.680), (0.010, 0.760), (0.010, 0.770)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, $(0.020, 0.650), (0.030, 0.610), (0.040, 0.570), (0.050, 0.550), (0.060, 0.520), (0.070, 0.470), (0.070, 0.370), (0.060, 0.440), (0.050, 0.480), (0.040, 0.520), (0.030, 0.550), (0.020, 0.590), (0.020, 0.650)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

(3) $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 인 경우,

$(0.010, 0.770), (0.020, 0.760), (0.030, 0.760), (0.040, 0.750), (0.050, 0.750), (0.060, 0.750), (0.070, 0.740), (0.080, 0.740), (0.080, 0.340), (0.070, 0.545), (0.060, 0.590), (0.050, 0.620), (0.040, 0.645), (0.030, 0.670), (0.020, 0.705), (0.010, 0.760), (0.010, 0.770)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, (0.010, 0.740), (0.020, 0.650), (0.030, 0.610), (0.040, 0.570), (0.050, 0.540), (0.060, 0.480), (0.070, 0.430), (0.070, 0.350), (0.060, 0.420), (0.050, 0.470), (0.040, 0.510), (0.030, 0.550), (0.020, 0.610), (0.010, 0.700), (0.010, 0.740)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고

(4) $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 인 경우,

(0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.760), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.750), (0.070, 0.750), (0.070, 0.510), (0.060, 0.570), (0.050, 0.620), (0.040, 0.640), (0.030, 0.660), (0.020, 0.675), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선의 범위,

및, (0.010, 0.690), (0.020, 0.640), (0.030, 0.590), (0.040, 0.550), (0.050, 0.510), (0.060, 0.470), (0.070, 0.415), (0.070, 0.280), (0.060, 0.380), (0.050, 0.470), (0.040, 0.510), (0.030, 0.550), (0.020, 0.610), (0.010, 0.680), (0.010, 0.690)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

(5) $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 인 경우,

(0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.760), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.545), (0.050, 0.590), (0.040, 0.620), (0.030, 0.645), (0.020, 0.680), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, (0.010, 0.690), (0.020, 0.640), (0.030, 0.590), (0.040, 0.550), (0.050, 0.510), (0.060, 0.420), (0.070, 0.415), (0.070, 0.340), (0.060, 0.340), (0.050, 0.420), (0.040, 0.470), (0.030, 0.520), (0.020, 0.580), (0.010, 0.650), (0.010, 0.690)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

(6) $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 인 경우,

(0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.770), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.505), (0.050, 0.590), (0.040, 0.620), (0.030, 0.645), (0.020, 0.680), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, (0.010, 0.670), (0.020, 0.605), (0.030, 0.560), (0.040, 0.520), (0.050, 0.470), (0.060, 0.395), (0.070, 0.500), (0.070, 0.490), (0.060, 0.270), (0.050, 0.410), (0.040, 0.470), (0.030, 0.520), (0.020, 0.580), (0.010, 0.620), (0.010, 0.670)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

(7) $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 인 경우,

(0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.770), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.500), (0.050, 0.545), (0.040, 0.590), (0.030, 0.625), (0.020, 0.650), (0.010, 0.680), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

및, (0.010, 0.655), (0.020, 0.590), (0.030, 0.540), (0.040, 0.495), (0.050, 0.435), (0.060, 0.395), (0.070, 0.500), (0.070, 0.550), (0.060, 0.380), (0.050, 0.330), (0.040, 0.410), (0.030, 0.470), (0.020, 0.520), (0.010, 0.590), (0.010, 0.655)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되는 것을 특징으로 하는 탄성 표면과 공진자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전극 평거 간 흄의 깊이(G)와 상기 실효 라인 점유율(η_{eff})이

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta_{eff} \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta_{eff} \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 IDT의 전극 막두께(H)가,

$$0 < H \leq 0.035\lambda$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 실효 라인 점유율(η_{eff})이,

$$\begin{aligned} \eta_{eff} = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \end{aligned}$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 6

제2항, 제4항, 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전극 평거 간 흄의 깊이(G)와 상기 전극 막두께(H)와의 합이,

$$0.0407\lambda \leq G + H$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 ψ 와 상기 Θ 가,

$$\psi = 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 \pm 1.0$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 IDT에 있어서의 스톱 밴드 상단 모드의 주파수(ft2), 상기 IDT를 탄성 표면파의 전파방향을 따라서 사이에 두도록 배치되는 반사기에 있어서의 스톱 밴드 하단 모드의 주파수(fr1), 및 상기 반사기의 스톱 밴드 상단 모드의 주파수(fr2)가,

$$fr1 < ft2 < fr2$$

의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 반사기를 구성하는 도체 스트립 간에 도체 스트립 간 홈을 형성하고,

상기 전극 평거 간 홈보다도 상기 도체 스트립 간 홈의 깊이 쪽이 얇은 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

청구항 10

제1항에 기재된 탄성 표면파 공진자와, 상기 IDT를 구동하기 위한 회로를 구비한 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 발진기.

청구항 11

제1항에 기재된 탄성 표면파 공진자를 구비한 것을 특징으로 하는 전자 기기.

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은, 탄성 표면파 공진자 및, 이것을 탑재한 탄성 표면파 발진기 및 전자 기기에 관한 것으로, 특히 기판 표면에 홈을 형성한 타입의 탄성 표면파 공진자 및, 이것을 탑재한 탄성 표면파 발진기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

탄성 표면파(SAW: surface acoustic wave) 장치(예를 들면, SAW 공진자)에 있어서, 주파수 온도 특성의 변화에는, SAW의 스톱 밴드(stop band)나 압전 기판(예를 들면, 수정(水晶) 기판)의 커트각 및, IDT(interdigital transducer)의 형성 형태 등이 미치는 영향이 크다.

[0003]

예를 들면, 특허문헌 1에는, SAW의 스톱 밴드의 상단(上端) 모드, 하단(下端) 모드의 각각을 여기시키는 구성 및, 스톱 밴드의 상단 모드, 하단 모드에 있어서의 각각의 정재파(定在波)의 분포 등이 개시되어 있다.

[0004]

또한, 특허문헌 2~5에는, SAW에 있어서의 스톱 밴드의 상단 모드쪽이, 스톱 밴드의 하단 모드보다도 주파수 온도 특성이 양호한 점이 기재되어 있다. 그리고, 특허문헌 2, 3에는, 레일리파(Rayleigh wave)를 이용한 SAW 장치에 있어서 양호한 주파수 온도 특성을 얻기 위해, 수정 기판의 커트각을 조정함과 함께, 전극의 기준화 막두께(H/λ)를 0.1 정도까지 두껍게 하는 것이 기재되어 있다.

[0005]

또한, 특허문헌 4에는, 레일리파를 이용한 SAW 장치에 있어서 수정 기판의 커트각을 조정함과 함께, 전극의 기준화 막두께(H/λ)를 0.045 정도 이상 두껍게 하는 취지가 기재되어 있다.

[0006]

또한, 특허문헌 5에는, 회전 Y-커트(cut) X 전파의 수정 기판을 이용하여, 스톱 밴드의 상단의 공진을 이용함으로써, 스톱 밴드의 하단의 공진을 이용하는 경우보다도 주파수 온도 특성이 향상되는 취지가 기재되어 있다.

[0007]

또한, 특허문헌 6 및, 비특허문헌 1에는, ST-커트 수정 기판을 이용한 SAW 장치에 있어서, IDT를 구성하는 전극 평거 간이나 반사기를 구성하는 도체 스트립 간에 홈(그루브)을 형성하는 것이 기재되어 있다. 또한 비특허문헌 1에는, 홈의 깊이에 따라 2차 곡선 형상의 주파수 온도 특성에 있어서의 정점 온도가 변화하는 취지와, 2차 온도 계수가 거의 $-3.4 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}^2$ 가 되는 취지가 기재되어 있다.

[0008]

또한, 특허문헌 7에는, LST-커트의 수정 기판을 이용한 SAW 장치에 있어서, 주파수 온도 특성을 나타내는 곡선을 3차 곡선으로 하기 위한 구성이 기재되어 있음과 함께, 레일리파를 이용한 SAW 장치에 있어서는, 3차 곡선으로 나타나는 바와 같은 온도 특성을 갖는 커트각의 기판은 발견할 수 없었던 취지가 기재되어 있다.

[0009]

상기와 같이, 주파수 온도 특성을 개선하기 위한 요소는 다방면에 걸쳐 있고, 특히 레일리파를 이용한 SAW 장치에서는, IDT를 구성하는 전극의 막두께를 두껍게 하는 것이 주파수 온도 특성에 기여하는 요인 중 하나라고 생각되고 있다. 그러나 본원 출원인은, 전극의 막두께를 두껍게 하면, 경시 변화 특성이나 내온도 충격 특성 등의 내환경 특성이 열화되는 것을 실증적으로 발견하였다. 또한, 주파수 온도 특성의 개선을 주목적으로 한 경우에는, 전술한 바와 같이 전극 막두께를 두껍게 하지 않으면 안되며, 이에 수반하여 경시 변화 특성이나 내온도 충격 특성 등의 열화를 피할 수 없게 되어 있었다. 이것은 Q값에 관해서도 적용할 수 있는 것이며, 전극 막두께를 두껍게 하지 않고 고(高)Q화를 실현시키는 것은 곤란했다.

[0010]

상기 문제를 해결하기 위해, 특허문헌 8에 있어서는, 수정 기판의 탄성 표면파의 전파 방향 수직인 방향으로 그

루브를 형성하여, 그루브에 의해 형성되는 볼록부 위에 전극을 형성한 구성을 개시하고 있다. 이에 따라, 경시 변화 특성이나 내온도 충격 특성 등의 내환경 특성을 개선하여, 높은 Q값을 실현하고 있다. 또한, 특허문헌 9, 10에 있어서는, 높은 Q값을 실현하기 위해, IDT 전극 간이나, IDT 전극의 양측에 배치된 반사기를 구성하는 스트라이프 형상의 금속막 사이에 그루브를 형성하는 구성을 개시하고 있다.

[0011] 또한 특허문헌 8에 있어서는, 그루브의 깊이, 그루브 상에 형성되는 전극의 막두께, 전극의 라인 점유율에 대해서 체계적인 조사를 행하고 있다. 그리고 탄성 표면파 공진자를 스텁 밴드 상단 모드로 여진(勵振)시킨 경우에 있어서, 주어진 그루브 깊이, 전극 막두께에 대하여, 라인 점유율을 조정함으로써, 탄성 표면파의 2차 온도 계수의 절대값이 $0.01\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2$ 이하가 되는 조건에 대해서 규명하고 있다. 이에 따라 탄성 표면파의 주파수 온도 특성이 3차 곡선 형상이 되기 때문에, 변곡점 근방의 온도 범위에서는 주파수 편차를 억제할 수 있는 것이 기대된다.

선행기술문헌

[0012] [특허문헌]

[0013] (특허문헌 1) 일본공개특허공보 평11-214958호

[0014] (특허문헌 2) 일본공개특허공보 2006-148622호

[0015] (특허문헌 3) 일본공개특허공보 2007-208871호

[0016] (특허문헌 4) 일본공개특허공보 2007-267033호

[0017] (특허문헌 5) 일본공개특허공보 2002-100959호

[0018] (특허문헌 6) 일본공개특허공보 소57-5418호

[0019] (특허문헌 7) 일본특허 제3851336호 공보

[0020] (특허문헌 8) WO2010/098139호

[0021] (특허문헌 9) 일본공개특허공보 소61-220513호

[0022] (특허문헌 10) 일본공개특허공보 소61-220514호

[0023] (특허문헌 11) 일본공개특허공보 2009-225420호

[0024] [비]특허문헌]

[0025] (비)특허문헌 1) 그루브형 SAW 공진기의 제조 조건과 특성(전자 통신 학회 기술 연구 보고 MW82-59(1982))

발명의 내용

해결하려는 과제

[0026] 또한, 특허문헌 11에 있어서는, IDT 전극을 구성하는 전극 팽거의 선폭, 즉 라인 점유율이 변동한 경우의 탄성 표면파 공진자의 동작 온도 범위에 있어서의 주파수 편차를 저감하는 구성을 대해서 개시하고 있다. 그러나, 특허문헌 8 내지 11에 나타나는 탄성 표면파 공진자에 있어서도, 탄성 표면파 공진자의 손실을 저감하는 것이 강하게 요구되고 있지만, 이것에 대해서 구체적인 개시가 이루어지고 있지 않는 것이 현상이다.

[0027] 그래서, 본 발명은, 상기 문제점에 착목하여, 탄성 표면파의 주파수 편차를 저감함과 함께 탄성 표면파 공진자의 손실을 저감한 탄성 표면파 공진자 및, 이것을 이용한 탄성 표면파 발진기, 전자 기기를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0028] 본 발명은 상기 과제의 적어도 일부를 해결하기 위해 이루어진 것이며, 이하의 형태 또는 적용예로서 실현하는 것이 가능하다.

[적용예 1] 오일러각 (Euler Angle; $-1.5^{\circ} \leq \phi \leq 1.5^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$)의 수정 기판과, 상기 수정 기판 상에 형성되고, 복수의 전극 팽거를 포함하며, 스텁 밴드 상단 모드의 탄성 표면파를

여진하는 IDT를 구비하고, 평면에서 볼 때, 상기 전극 팽거 사이의 위치에, 상기 수정 기판의 움푹 패인, 전극 팽거 간 홈을 배치하고, 상기 전극 팽거 간 홈 사이에 배치되어 있는 상기 수정 기판의 볼록부의 라인 점유율을 n_g , 상기 볼록부 상에 배치되어 있는 상기 전극 팽거의 라인 점유율을 n_e 로 하고, 상기 IDT의 실효 라인 점유율(n_{eff})을 상기 라인 점유율(n_g)과 상기 라인 점유율(n_e)과의 상가평균(arithmetic mean)으로 한 경우, 하기식의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

$$n_g > n_e$$

[0030]

$$0.59 < n_{eff} < 0.73$$

[0031]

상기 구성에 의해, 여진 효율을 높여 탄성 표면파 공진자의 손실을 저감할 수 있음과 함께, 탄성 표면파 공진자의 1차 온도 계수의 변동량을 억제하여, 공진 주파수의 불균일을 억제할 수 있다.

[적용예 2] 적용예 1에 기재된 탄성 표면파 공진자에 있어서, 상기 탄성 표면파의 파장을 λ , 상기 전극 팽거 간 홈의 깊이를 G , 상기 IDT의 전극 막두께를 H 로 하고, 상기 전극 팽거 간 홈의 깊이(G)를 상기 탄성 표면파의 파장(λ)으로 나눈 값(G/λ)과, 상기 실효 라인 점유율(n_{eff})에 따른 평면 좌표를 $(G/\lambda, n_{eff})$ 로 한 경우에, 상기 평면 좌표 $(G/\lambda, n_{eff})$ 가,

[0034] (1) $0.000\lambda < H \leq 0.005\lambda$ 인 경우,

[0035] $(0.010, 0.710), (0.020, 0.710), (0.030, 0.710), (0.040, 0.710), (0.050, 0.710), (0.060, 0.710), (0.070, 0.710), (0.080, 0.710), (0.090, 0.710), (0.090, 0.420), (0.080, 0.570), (0.070, 0.590), (0.060, 0.615), (0.050, 0.630), (0.040, 0.635), (0.030, 0.650), (0.020, 0.670), (0.010, 0.710)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0036] 및, $(0.030, 0.590), (0.040, 0.580), (0.050, 0.550), (0.060, 0.520), (0.070, 0.480), (0.080, 0.450), (0.090, 0.400), (0.090, 0.180), (0.080, 0.340), (0.070, 0.410), (0.060, 0.460), (0.050, 0.490), (0.040, 0.520), (0.030, 0.550), (0.030, 0.590)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

[0037] (2) $0.005\lambda < H \leq 0.010\lambda$ 인 경우,

[0038] $(0.010, 0.770), (0.020, 0.740), (0.030, 0.715), (0.040, 0.730), (0.050, 0.740), (0.060, 0.730), (0.070, 0.730), (0.080, 0.730), (0.080, 0.500), (0.070, 0.570), (0.060, 0.610), (0.050, 0.630), (0.040, 0.635), (0.030, 0.655), (0.020, 0.680), (0.010, 0.760), (0.010, 0.770)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0039] 및, $(0.020, 0.650), (0.030, 0.610), (0.040, 0.570), (0.050, 0.550), (0.060, 0.520), (0.070, 0.470), (0.070, 0.370), (0.060, 0.440), (0.050, 0.480), (0.040, 0.520), (0.030, 0.550), (0.020, 0.590), (0.020, 0.650)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

[0040] (3) $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 인 경우,

[0041] $(0.010, 0.770), (0.020, 0.760), (0.030, 0.760), (0.040, 0.750), (0.050, 0.750), (0.060, 0.750), (0.070, 0.740), (0.080, 0.740), (0.080, 0.340), (0.070, 0.545), (0.060, 0.590), (0.050, 0.620), (0.040, 0.645), (0.030, 0.670), (0.020, 0.705), (0.010, 0.760), (0.010, 0.770)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0042] 및, $(0.010, 0.740), (0.020, 0.650), (0.030, 0.610), (0.040, 0.570), (0.050, 0.540), (0.060, 0.480), (0.070, 0.430), (0.070, 0.350), (0.060, 0.420), (0.050, 0.470), (0.040, 0.510), (0.030, 0.550), (0.020, 0.610), (0.010, 0.700), (0.010, 0.740)$ 의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고

[0043] (4) $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 인 경우,

[0044] $(0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.760), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.750)$,

(0.070, 0.750), (0.070, 0.510), (0.060, 0.570), (0.050, 0.620), (0.040, 0.640), (0.030, 0.660), (0.020, 0.675), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선의 범위,

[0045] 뒷, (0.010, 0.690), (0.020, 0.640), (0.030, 0.590), (0.040, 0.550), (0.050, 0.510), (0.060, 0.470), (0.070, 0.415), (0.070, 0.280), (0.060, 0.380), (0.050, 0.470), (0.040, 0.510), (0.030, 0.550), (0.020, 0.610), (0.010, 0.680), (0.010, 0.690)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느쪽에 포함되고,

[0046] (5) $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 인 경우,

[0047] (0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.760), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.545), (0.050, 0.590), (0.040, 0.620), (0.030, 0.645), (0.020, 0.680), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0048] 뒷, (0.010, 0.690), (0.020, 0.640), (0.030, 0.590), (0.040, 0.550), (0.050, 0.510), (0.060, 0.420), (0.070, 0.415), (0.070, 0.340), (0.060, 0.340), (0.050, 0.420), (0.040, 0.470), (0.030, 0.520), (0.020, 0.580), (0.010, 0.650), (0.010, 0.690)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

[0049] (6) $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 인 경우,

[0050] (0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.770), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.505), (0.050, 0.590), (0.040, 0.620), (0.030, 0.645), (0.020, 0.680), (0.010, 0.700), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0051] 뒷, (0.010, 0.670), (0.020, 0.605), (0.030, 0.560), (0.040, 0.520), (0.050, 0.470), (0.060, 0.395), (0.070, 0.500), (0.070, 0.490), (0.060, 0.270), (0.050, 0.410), (0.040, 0.470), (0.030, 0.520), (0.020, 0.580), (0.010, 0.620), (0.010, 0.670)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되고,

[0052] (7) $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 인 경우,

[0053] (0.010, 0.770), (0.020, 0.770), (0.030, 0.770), (0.040, 0.760), (0.050, 0.760), (0.060, 0.760), (0.070, 0.760), (0.070, 0.550), (0.060, 0.500), (0.050, 0.545), (0.040, 0.590), (0.030, 0.625), (0.020, 0.650), (0.010, 0.680), (0.010, 0.770)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위,

[0054] 뒷, (0.010, 0.655), (0.020, 0.590), (0.030, 0.540), (0.040, 0.495), (0.050, 0.435), (0.060, 0.395), (0.070, 0.500), (0.070, 0.550), (0.060, 0.380), (0.050, 0.330), (0.040, 0.410), (0.030, 0.470), (0.020, 0.520), (0.010, 0.590), (0.010, 0.655)의 순으로 연결하는 선으로 둘러싸인 범위 중 어느 것에 포함되는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0055] 상기 구성에 의해, H 의 두께에 대응하여, 탄성 표면파 공진자의 2차 온도 계수의 절대값을 $0.01\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이하로 억제할 수 있다.

[0056] [적용예 3] 적용예 1에 기재된 탄성 표면파 공진자에 있어서, 상기 전극 평거 간 흄의 깊이(G)와 상기 실효 라인 점유율(η_{eff})이

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta_{\text{eff}} \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta_{\text{eff}} \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

[0058] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0060] 상기 구성에 의해, 탄성 표면파 공진자의 2차 온도 계수의 절대값을 $0.01\text{ppm}/^\circ\text{C}^2$ 이하로 억제할 수 있다.

[0061] [적용예 4] 적용예 3에 기재된 탄성 표면파 공진자로서,

[0062] 상기 IDT의 전극 막두께(H)가,

$$0 < H \leq 0.035\lambda$$

[0063]

[0064] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0065] 이러한 특징을 갖는 탄성 표면파 공진자에 의하면, 동작 온도 범위 내에 있어서 양호한 주파수 온도 특성을 나타내는 것을 실현할 수 있다. 또한, 이러한 특징을 갖는 것에 의하면, 전극 막두께의 증가에 수반되는 내환경 특성의 열화를 억제하는 것이 가능해진다.

[0066] [적용예 5] 적용예 4에 기재된 탄성 표면파 공진자로서,

[0067] 상기 실효 라인 점유율(n_{eff})이,

$$\begin{aligned} n_{eff} = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \end{aligned}$$

[0068]

[0069] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0070] 적용예 4에 있어서의 전극 막두께의 범위 내에 있어서 전술한 식을 충족시키도록 n_{eff} 를 정함으로써, 2차 온도 계수의 절대값을, $0.01\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2$ 이하로 얻는 것이 가능해진다.

[0071] [적용예 6] 적용예 2, 적용예 4, 적용예 5 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자로서, 상기 전극 평거 간 흠의 깊이(G)와 상기 전극 막두께(H)와의 합이,

$$0.0407\lambda \leq G + H$$

[0072]

[0073] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0074] 전극 평거 간 흠의 깊이(G)와 전극 막두께(H)와의 합을 상기식과 같이 정함으로써, 종래의 탄성 표면파 공진자 보다도 높은 Q값을 얻을 수 있다.

[0075] [적용예 7] 적용예 1 내지 적용예 6 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자로서, 상기 ψ 와 상기 Θ 가,

$$\psi = 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 \pm 1.0$$

[0076]

[0077] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0078] 이러한 특징을 갖는 커트각으로 절출된 수정 기판을 이용하여 탄성 표면파 공진자를 제조함으로써, 넓은 범위에서 양호한 주파수 온도 특성을 나타내는 탄성 표면파 공진자로 할 수 있다.

[0079] [적용예 8] 적용예 1 내지 적용예 7 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자로서,

[0080] 상기 IDT에 있어서의 스톱 밴드 상단 모드의 주파수를 $ft2$, 상기 IDT를 탄성 표면파의 전파방향에서 사이에 두도록 배치되는 반사기에 있어서의 스톱 밴드 하단 모드의 주파수를 $fr1$, 상기 반사기의 스톱 밴드 상단 모드의 주파수를 $fr2$ 로 했을 때,

$$fr1 < ft2 < fr2$$

[0081]

[0082] 의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0083] 이러한 특징을 가짐으로써, IDT의 스톱 밴드 상단 모드의 주파수($ft2$)에 있어서, 반사기의 반사 계수 $|\Gamma|$ 가 커지고, IDT로부터 여진된 스톱 밴드 상단 모드의 탄성 표면파가, 반사기에서 높은 반사 계수로 IDT 측에 반사되게 된다. 그리고 스톱 밴드 상단 모드의 탄성 표면파의 에너지 가동이 강해져, 저손실인 탄성 표면파 공진자를 실현할 수 있다.

[0084] [적용예 9] 적용예 1 내지 적용예 8 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자로서, 상기 반사기를 구성하는 도

체 스트립 간에 도체 스트립 간 홈을 형성하고, 상기 전극 평거 간 홈보다도 상기 도체 스트립 간 홈의 깊이 쪽이 얕은 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 공진자.

[0085] 이러한 특징을 가짐으로써, 반사기의 스톱 밴드를 IDT의 스톱 밴드보다도 고역측으로 주파수 시프트시킬 수 있다. 이 때문에, 수학식 9의 관계를 실현시키는 것이 가능해진다.

[적용예 10] 적용예 1 내지 적용예 9 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자와, 상기 IDT를 구동하기 위한 회로를 구비한 것을 특징으로 하는 탄성 표면파 발진기.

[적용 예 11] 적용예 1 내지 적용예 9 중 어느 1예에 기재된 탄성 표면파 공진자를 구비한 것을 특징으로 하는 전자 기기.

도면의 간단한 설명

도 1은 제1 실시 형태의 SAW 디바이스의 구성을 나타내는 도로서, 도 1(A)는 평면 구성을 나타내는 도면이며, 도 1(B)는 측면에 있어서의 부분 확대 단면을 나타내는 도이며, 도 1(C)는 도 1(B)에 있어서의 상세를 설명하기 위한 부분 확대도이며, 도 1(D)는 도 1(C)에 있어서의 부분 확대도로서, SAW 공진자를 포토리소그래피 기법과 에칭 기법을 이용하여 제조했을 때에 상정할 수 있는 홈부의 단면 형상을 나타내는 도이다.

도 2는 본 발명에서 이용하는 수정 기판의 모재(base material)가 되는 웨이퍼 방위의 일 예를 나타내는 도이다.

도 3은 제1 실시 형태의 변형예로서 경사형 IDT를 채용한 경우에 있어서의 SAW 디바이스의 구성예를 나타내는 도로서, 도 3(A)는 전극 평거를 경사시켜 X"축으로 직교시킨 형태의 예이며, 도 3(B)는 전극 평거를 연결하는 버스바를 경사시킨 IDT를 갖는 SAW 디바이스의 예이다.

도 4는 스톱 밴드 상단 모드와 하단 모드와의 관계를 나타내는 도이다.

도 5는 전극 평거 간 홈의 깊이와 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 6은 ST-커트 수정 기판에 있어서의 온도 특성을 나타내는 도이다.

도 7은 스톱 밴드 상단 모드의 공진점과 스톱 밴드 하단 모드의 공진점에 있어서의 라인 접유율(n)의 변화에 수반하는 2차 온도 계수의 변화의 차이를 나타내는 그래프로서, 도 7(A)는 홈 깊이(G)를 2% λ 로 한 경우에 있어서의 스톱 밴드 상단 모드의 2차 온도 계수(β)의 변위를 나타내는 그래프이고, 도 7(B)는 홈 깊이(G)를 2% λ 로 한 경우에 있어서의 스톱 밴드 하단 모드의 2차 온도 계수(β)의 변위를 나타내는 그래프이며, 도 7(C)는 홈 깊이(G)를 4% λ 로 한 경우에 있어서의 스톱 밴드 상단 모드의 2차 온도 계수(β)의 변위를 나타내는 그래프이며, 도 7(D)는 홈 깊이(G)를 4% λ 로 한 경우에 있어서의 스톱 밴드 하단 모드의 2차 온도 계수(β)의 변위를 나타내는 그래프이다.

도 8은 전극 막두께를 0으로 하여 전극 평거 간 홈의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 접유율(n)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 8(A)는 홈 깊이(G)를 1% λ 로, 도 8(B)는 홈 깊이(G)를 1.25% λ 로, 도 8(C)는 홈 깊이(G)를 1.5% λ 로, 도 8(D)는 홈 깊이(G)를 2% λ 로, 도 8(E)는 홈 깊이(G)를 3% λ 로, 도 8(F)는 홈 깊이(G)를 4% λ 로, 도 8(G)는 홈 깊이(G)를 5% λ 로, 도 8(H)는 홈 깊이(G)를 6% λ 로, 도 8(I)는 홈 깊이(G)를 8% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 9는 전극 막두께를 0으로 한 경우에 있어서의 2차 온도 계수가 0이 되는 전극 평거 간 홈의 깊이와 라인 접유율(n)과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 10은 전극 막두께를 0으로 하여 전극 평거 간 홈의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 접유율(n)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 10(A)는 홈 깊이(G)를 1% λ 로, 도 10(B)는 홈 깊이(G)를 1.25% λ 로, 도 10(C)는 홈 깊이(G)를 1.5% λ 로, 도 10(D)는 홈 깊이(G)를 2% λ 로, 도 10(E)는 홈 깊이(G)를 3% λ 로, 도 10(F)는 홈 깊이(G)를 4% λ 로, 도 10(G)는 홈 깊이(G)를 5% λ 로, 도 10(H)는 홈 깊이(G)를 6% λ 로, 도 10(I)는 홈 깊이(G)를 8% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 11은 전극 평거 간 홈의 깊이와, 당해 전극 평거 간 홈의 깊이가 $\pm 0.001\lambda$ 어긋난 경우의 주파수 변동량과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 12는 전극 막두께를 변화시킨 경우에 있어서의 2차 온도 계수가 0이 되는 전극 평거 간 홈의 깊이와 라인 접

유율(η)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 12(A)는 전극 막두께를 1% λ 로, 도 12(B)는 전극 막두께를 1.5% λ , 도 12(C)는 전극 막두께를 2% λ 로, 도 12(D)는 전극 막두께를 2.5% λ 로, 도 12(E)는 전극 막두께를 3% λ 로, 도 12(F)는 전극 막두께를 3.5%로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 13은 각 전극 막두께에 있어서의 2차 온도 계수 $\beta \approx 0(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 η_1 과 전극 평거 간 흄의 깊이와의 관계를 그래프에 정리한 도로서, 도 13(A)는 전극 막두께를 1% λ ~ 3.5% λ 까지 변화시켰을 때의 흄 깊이(G)와 η_1 과의 관계를 나타내고, 도 13(B)는, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 영역이 점 A 내지 H를 연결하여 이루어지는 다각형 내인 것을 설명하는 도이다.

도 14는 전극 막두께 $H=0$ 에서 $H=0.035\lambda$ 까지의 전극 평거 간 흄의 깊이와 라인 점유율(η)과의 관계를 근사 곡선으로 나타낸 도면이다.

도 15는 전극 막두께를 0.01 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프이고, 도 15(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 15(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 15(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 15(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 도 15(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 15(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 16은 전극 막두께를 0.015 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 16(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 16(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 16(C)는 흄 깊이(G)를 1.5% λ 로, 도 16(D)는 흄 깊이(G)를 2.5% λ 로, 도 16(E)는 흄 깊이(G)를 3.5% λ 로, 도 16(F)는 흄 깊이(G)를 4.5%로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 17은 전극 막두께를 0.02 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 17(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 17(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 17(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 17(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 도 17(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 17(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 18은 전극 막두께를 0.025 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 18(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 18(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 18(C)는 흄 깊이(G)를 1.5% λ 로, 도 18(D)는 흄 깊이(G)를 2.5% λ 로, 도 18(E)는 흄 깊이(G)를 3.5% λ 로, 도 18(F)는 흄 깊이(G)를 4.5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 19는 전극 막두께를 0.03 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 19(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 19(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 19(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 19(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 19(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 19(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 20은 전극 막두께를 0.035 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 20(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 20(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 20(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 20(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 도 20(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 20(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 21은 전극 막두께를 0.01 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 21(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 21(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 21(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 21(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 도 21(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 21(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 22는 전극 막두께를 0.015 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 22(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 22(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 22(C)는 흄 깊이(G)를 1.5% λ 로, 도 22(D)는 흄 깊이(G)를 2.5% λ 로, 도 22(E)는 흄 깊이(G)를 3.5% λ 로, 도 22(F)는 흄 깊이(G)를 4.5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 23은 전극 막두께를 0.02 λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 23(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 23(B)는 흄 깊이(G)를 1% λ 로, 도 23(C)는 흄 깊이(G)를 2% λ 로, 도 23(D)는 흄 깊이(G)를 3% λ 로, 도 23(E)는 흄 깊이(G)를 4% λ 로, 도 23(F)는 흄 깊이(G)를 5% λ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 24는 전극 막두께를 0.025λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 24(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 24(B)는 흄 깊이(G)를 $1\% \lambda$ 로, 도 24(C)는 흄 깊이(G)를 $1.5\% \lambda$ 로, 도 24(D)는 흄 깊이(G)를 $2.5\% \lambda$ 로, 도 24(E)는 흄 깊이(G)를 $3.5\% \lambda$ 로, 도 24(F)는 흄 깊이(G)를 $4.5\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 25는 전극 막두께를 0.03λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 25(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 25(B)는 흄 깊이(G)를 $1\% \lambda$ 로, 도 25(C)는 흄 깊이(G)를 $2\% \lambda$ 로, 도 25(D)는 흄 깊이(G)를 $3\% \lambda$ 로, 도 25(E)는 흄 깊이(G)를 $4\% \lambda$ 로, 도 25(F)는 흄 깊이(G)를 $5\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 26은 전극 막두께를 0.035λ 로 하여 전극 평거 간 흄의 깊이를 변경한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 26(A)는 흄 깊이(G)를 0으로, 도 26(B)는 흄 깊이(G)를 $1\% \lambda$ 로, 도 26(C)는 흄 깊이(G)를 $2\% \lambda$ 로, 도 26(D)는 흄 깊이(G)를 $3\% \lambda$ 로, 도 26(E)는 흄 깊이(G)를 $4\% \lambda$ 로, 도 26(F)는 흄 깊이(G)를 $5\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 그래프이다.

도 27은 전극 막두께(H)를 $0 \leq H < 0.005\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 27(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 27(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 28은 전극 막두께(H)를 $0.005\lambda \leq H < 0.010\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 28(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 28(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 29는 전극 막두께(H)를 $0.010\lambda \leq H < 0.015\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 29(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 29(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 30은 전극 막두께(H)를 $0.015\lambda \leq H < 0.020\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 30(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 30(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 31은 전극 막두께(H)를 $0.020\lambda \leq H < 0.025\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 31(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 31(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 32는 전극 막두께(H)를 $0.025\lambda \leq H < 0.030\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 32(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 32(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 33은 전극 막두께(H)를 $0.030\lambda \leq H < 0.035\lambda$ 로 한 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프에 따라서 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 범위를 나타내는 도로서, 도 33(A)는 η_1 의 경우를 나타내고, 도 33(B)는 η_2 의 경우를 나타낸다.

도 34는 전극 막두께, 라인 점유율(η)(η_1 : 실선, η_2 : 파선)을 정했을 때의 전극 평거 간 흄의 깊이와 오일러각(ψ)과의 관계를 나타내는 그래프로서, 도 34(A)는 전극 막두께를 $1\% \lambda$ 로, 도 34(B)는 전극 막두께를 $1.5\% \lambda$ 로, 도 34(C)는 전극 막두께를 $2\% \lambda$ 로, 도 34(D)는 전극 막두께를 $2.5\% \lambda$ 로, 도 34(E)는 전극 막두께를 $3\% \lambda$ 로, 도 34(F)는 전극 막두께를 $3.5\% \lambda$ 로 한 경우의 그래프이다.

도 35는 각 전극 막두께(H)에 있어서의 전극 평거 간 흄의 깊이(G)와 오일러각(ψ)과의 관계를 그래프에 정리한 도이다.

도 36은 2차 온도 계수(β)가 $-0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 전극 평거 간 흄의 깊이와 오일러각(ψ)과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 37은 2차 온도 계수(β)가 $+0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되는 전극 평거 간 흄의 깊이와 오일러각(ψ)과의 관계를 나타

내는 그래프이다.

도 38은 전극 막두께(H)의 범위를 $0 < H \leq 0.005\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 38(A)는 ψ 의 최대값과 최소값, 도 38(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 39는 전극 막두께(H)의 범위를 $0.005\lambda < H \leq 0.010\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 39(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 39(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 40은 전극 막두께(H)의 범위를 $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 40(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 40(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 41은 전극 막두께(H)의 범위를 $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 41(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 41(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 42는 전극 막두께(H)의 범위를 $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 42(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 42(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 43은 전극 막두께(H)의 범위를 $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 43(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 43(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 44는 전극 막두께(H)의 범위를 $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프로서, 도 44(A)는 ψ 의 최대값과 최소값을, 도 44(B)는 β 의 요건을 충족시키는 ψ 의 영역을 각각 나타내는 그래프이다.

도 45는 전극 막두께 0.02λ , 전극 평거 간 흄의 깊이 0.04λ 에 있어서의 오일러각(θ)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 46은 오일러각(ϕ)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 47은 주파수 온도 특성이 양호하게 되는 오일러각(θ)과 오일러각(ψ)과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 48은 주파수 온도 특성이 가장 양호하게 되는 조건하에 있어서의 4개의 시험편에서의 주파수 온도 특성 데이터의 예를 나타내는 도면이다.

도 49는 전극 평거 간 흄의 깊이와 전극 막두께의 합인 단차와 CI값과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 50은 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자에 있어서의 등가 회로 정수와 정특성(static characteristic)의 예를 나타내는 표이다.

도 51은 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자에 있어서의 임피던스 커브 데이터(impedance curve data)이다.

도 52는 종래의 SAW 공진자에 있어서의 단차와 Q값의 관계와 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자 단차와 Q값의 관계를 비교하기 위한 그래프이다.

도 53은 IDT와 반사기의 SAW 반사 특성을 나타내는 도면이다.

도 54는 히트 사이클 시험(heat cycle test)에 있어서의 전극 막두께(H)와 주파수 변동과의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 55는 실시 형태에 따른 SAW 발진기의 구성을 나타내는 도면이다.

도 56은 SAW 공진자의 주파수 온도 특성을 나타내는 그래프로서, 도 56(A)는 일본공개특허공보 2006-203408호에 개시되어 있는 SAW 공진자의 주파수 온도 특성을 나타내는 그래프이고, 도 56(B)는 실질적인 동작 온도 범위 내

에 있어서의 주파수 온도 특성의 범위를 나타내는 그래프이다.

도 57은 IDT 및 반사기에 보호막으로서 알루미나를 피복한 SAW 공진자에 있어서의 동작 범위 내의 주파수 변동량의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 58은 IDT 및 반사기에 보호막으로서 SiO₂를 피복한 SAW 공진자에 있어서의 동작 범위 내의 주파수 변동량의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 59는 제2 실시 형태에 따른 SAW 공진자로서, 도 59(A)는 제2 실시 형태의 SAW 공진자의 평면도이고, 도 59(B)는 부분 확대 단면도, 도 59(C)는 도 59(B)에 있어서의 상세를 설명하기 위한 확대도, 도 59(D)는 도 59(C)의 부분 확대도에 관하여, 본 발명에 따른 SAW 공진자를 포토리소그래피 기법과 에칭 기법을 이용하여 제조했을 때에 상정할 수 있는 단면 형상으로서, 단면 형상이 직사각형이 아닌 사다리꼴 형상으로 된 경우에 있어서의, IDT 전극 핑거의 실효 라인 점유율(n_{eff})의 특정 방법을 설명하기 위한 도이다.

도 60은 예 1에 있어서의 타입 1과 타입 2의 주파수 온도 특성을 나타내는 도이다.

도 61은 예 2에 있어서의 타입 1과 타입 2의 주파수 온도 특성을 나타내는 도이다.

도 62는 타입 1의 라인 점유율(n)을 변화시켰을 때의 1차 온도 계수의 변동량의 변화를 나타내는 도이다.

도 63은 타입 2의 실효 라인 점유율(n_{eff})을 변화시켰을 때의 1차 온도 계수의 변동량의 변화를 나타내는 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0089]

이하, 본 발명의 탄성 표면과 공진자 및, 탄성 표면과 발진기에 따른 실시 형태에 대해서 도면을 참조하면서 상세하게 설명한다. 단, 이 실시 형태에 기재되는 구성 요소, 종류, 조합, 형상, 그 상대 배치 등은 특정적인 기재가 없는 한, 이 발명의 범위를 그것으로만 한정하려는 주지가 아니라 단순한 설명예에 지나지 않는다.

[0090]

우선, 도 1을 참조하여, 본 발명의 탄성 표면과(SAW) 공진자에 따른 제1 실시 형태에 대해서 설명한다. 또한 도 1에 있어서, 도 1(A)는 SAW 공진자의 평면도이고, 도 1(B)는 부분 확대 단면도, 도 1(C)는 도 1(B)에 있어서의 상세를 설명하기 위한 확대도, 도 1(D)는 도 1(C)의 부분 확대도에 관한 것으로, 본 발명에 따른 SAW 공진자를 포토리소그래피 기법과 에칭 기법을 이용하여 제조했을 때에 상정할 수 있는 단면 형상으로서, 단면 형상이 직사각형이 아니라 사다리꼴 형상이 된 경우에 있어서의, IDT 전극 핑거의 라인 점유율(n)의 특정 방법을 설명하기 위한 도면이다. 라인 점유율(n)은, 흄(32)의 저부(底部)로부터, 흄(32)의 깊이(대좌(臺座)의 높이)(G)와 전극 막두께(H)를 더한 값인 (G+H)의 1/2이 되는 높이에 있어서의, 볼록부의 폭(L)과 흄(32)의 폭(S)을 더한 값 (L+S)에 대한 상기 폭(L)이 차지하는 비율로 하는 것이 적절하다.

[0091]

본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)는, 수정 기판(30)과 IDT(12) 및, 반사기(20)를 기본으로 하여 구성된다.

[0092]

도 2는, 본 발명에서 이용하는 수정 기판(30)의 모재가 되는 웨이퍼(1)의 방위의 일 예를 나타내는 도면이다. 도 2에 있어서, X축은 수정의 전기축, Y축은 수정의 기계축, Z축은 수정의 광학축이다. 웨이퍼(1)는, 후술과 같이 Z'축을 법선으로 하는 커트면을 갖고, 커트면 내에 X''축과 X''''축으로 수직인 Y'''축을 갖는다. 또한, SAW 공진자(10)를 구성하는 IDT(12) 및 반사기(20)는, 후술과 같이 SAW의 전파 방향을 고려하여 X''축을 따라서 배치된다. SAW 공진자(10)를 구성하는 수정 기판(30)은, 웨이퍼(1)로부터 절출(cut out)되어 개편화(dice) 된 것이다. 수정 기판(30)의 평면에서 봤을 때 형상은 특별히 한정되지 않지만, X''축으로 평행한 방향을 장변(長邊)으로 하고, Y'''축으로 평행한 방향을 단변(短邊)으로 한 장방형(長方形)으로 해도 좋다.

[0093]

본 실시 형태에서는 수정 기판(30)으로서, 오일러각 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq \psi \leq 49.57^\circ$)으로 나타나는 면내 회전 ST 커트 수정 기판을 채용했다. 여기에서, 도 2를 참조하여 오일러각에 대해서 설명한다. 오일러각 (0° , 0° , 0°)으로 나타나는 기판은, Z축에 수직인 주(主)면을 갖는 Z 커트 기판(3)이 된다.

[0094]

여기에서, 오일러각 (ϕ , θ , ψ)의 ϕ 는 Z 커트 기판(3)의 제1 회전에 관한 것이고, Z축을 회전축으로 하고, +X축으로부터 +Y축축으로 회전하는 방향을 정(正)의 회전 각도로 한 제1 회전 각도이다. 제1 회전 후의 X축, Y축을 각각 X'축, Y'축으로 한다. 또한, 도 2에서는, 오일러각의 설명으로서, 오일러각의 ϕ 가 0° 인 경우를 도시하고 있다. 따라서, 도 2에 있어서는, X'축으로 X'축이 겹쳐져 있고, Y'축으로 Y'축이 겹쳐져 있다.

- [0095] 오일러각의 Θ 는 Z 커트 기판(3)의 제1 회전 후에 행하는 제2 회전에 관한 것이고, 제1 회전 후의 X축(즉, X'축)을 회전축으로 하여, 제1 회전 후의 +Y축(즉, +Y'축)으로부터 +Z축으로 회전하는 방향을 정의 회전 각도로 한 제2 회전 각도이다. 압전 기판의 커트면, 즉 전술한 웨이퍼(1)의 커트면은, 제1 회전 각도(ϕ)와 제2 회전 각도(Θ)로 결정된다. 즉, 제2 회전 후의 Y축을 Y''축으로 하고, 제2 회전 후의 Z축을 Z'축으로 한 경우, X'축과 Y''축의 양방에 평행한 면이 압전 기판의 커트면이 되고, Z'축이 이 커트면의 법선이 된다.
- [0096] 오일러각의 ψ 는 Z 커트 기판(3)의 제2 회전 후에 행하는 제3 회전에 관한 것이고, 제2 회전 후의 Z축인 Z'축을 회전축으로 하고, 제2 회전 후의 +X축(즉, +X'축)으로부터 제2 회전 후의 +Y축(즉, +Y''축) 축으로 회전하는 방향을 정의 회전 각도로 한 제3 회전 각도이다. SAW의 전파 방향은, 제2 회전 후의 X축(즉, X'축)에 대한 제3 회전 각도(ψ)로 나타난다. 즉, 제3 회전 후의 X축을 X''축으로 하고, 제3 회전 후의 Y축을 Y''''축으로 한 경우, X''축과 Y''''축 양방에 평행한 면이 압전 기판의 커트면이 되고, 그 법선은 Z'축이 된다. 이와 같이 제3 회전을 행해도 법선은 불변이기 때문에, 이 압전 기판의 커트면도 전술한 웨이퍼(1)의 커트면이 된다. 또한, X''축으로 평행한 방향이 SAW의 전파 방향이 된다.
- [0097] 또한, SAW의 위상 속도 방향은 X''축 방향으로 평행한 방향이 된다. SAW의 파워 플로우(power flow)라고 불리고 있는 현상은, SAW의 위상이 진행되는 방향(위상 속도 방향)과, SAW의 에너지가 진행되는 방향(군(group)속도 방향)에 차이가 발생하는 현상이다. 위상 속도 방향과 군속도 방향이 이루는 각도는 파워 플로우각이라고 불리고 있다(도 3 참조).
- [0098] IDT(12)는, 복수의 전극 팽거(18a, 18b)의 기단부(基端部)를 각각 버스바(16a, 16b)로 접속한 빗살 형상 전극(14a, 14b)을 한 쌍 갖고, 한쪽의 빗살 형상 전극(14a)을 구성하는 전극 팽거(18a)와, 다른 한쪽의 빗살 형상 전극(14b)을 구성하는 전극 팽거(18b)를 소정의 간격을 두고 교대로 배치하고 있다. 또한, 도 1(A)에 나타내는 바와 같이 전극 팽거(18a, 18b)는, 그들 전극 팽거의 연장 방향이, 탄성 표면파의 전파 방향인 X''축과 직교하도록 배치된다. 이와 같이 하여 구성되는 SAW 공진자(10)에 의해 여기되는 SAW는, Rayleigh형(레이일리형)의 SAW이고, X''축과 Z'축의 양방에 진동 변위 성분을 갖는다. 그리고 이와 같이, SAW의 전파 방향을 수정의 결정축인 X축으로부터 조금 옮김으로써, 스톱 밴드 상단 모드의 SAW를 여기하는 것이 가능해지는 것이다.
- [0099] 또한, 추가로, 제1 실시 형태의 변형예에 따른 SAW 공진자(10)는, 도 3에 나타내는 바와 같은 형태로 할 수 있다. 즉, 도 3에 나타내는 바와 같이 X''축으로부터 파워 플로우각(이하, PFA라고 칭함)(δ)만큼 경사시킨 IDT를 적용하는 경우라도, 이하의 요건을 충족시킴으로써 고Q화할 수 있다. 도 3(A)는, 경사형 IDT(12a)의 일 실시 형태예를 나타내는 평면도이고, 오일러각으로 결정되는 SAW의 전파 방향인 X''축과 경사형 IDT(12a)의 전극 팽거(18a, 18b)의 연장 방향이 직교 관계가 되도록, 경사형 IDT(12a)에 있어서의 전극 팽거(18a, 18b)의 배치 형태를 경사시킨 것이다.
- [0100] 도 3(B)는, 경사형 IDT(12a)의 다른 실시 형태예를 나타내는 평면도이다. 본 예에서는, 전극 팽거(18a, 18b)를 서로 접속하는 버스바(16a, 16b)를 경사시킴으로써, X''축에 대하여 전극 팽거 배열 방향을 경사시켜 배치하고 있지만, 도 3(A)과 마찬가지로 X''축과 전극 팽거(18a, 18b)의 연장 방향이 직교 관계가 되도록 구성되어 있다.
- [0101] 어떠한 경사형 IDT를 이용했다고 해도, 이들 실시 형태예와 같이 X''축에 수직인 방향이 전극 팽거의 연장 방향이 되도록 전극 팽거를 배치함으로써, 본 발명에 있어서의 양호한 온도 특성을 유지하면서, 저손실인 SAW 공진자를 실현할 수 있다.
- [0102] 여기에서, 스톱 밴드 상단 모드의 SAW와 하단 모드의 SAW의 관계에 대해서 설명한다. 도 4는, 정규형 IDT(12)에 있어서의 스톱 밴드 상단 모드 및 하단 모드의 정재파의 분포를 나타내는 도면이다. 도 4에 나타내는 바와 같은 정규형 IDT(12)(도 4에 나타내는 것은 IDT(12)를 구성하는 전극 팽거(18))에 의해 형성되는 스톱 밴드 하단 모드 및, 상단 모드의 SAW에 있어서, 각각의 정재파는, 복(anti-node(또는 절(node)))의 위치가 서로 $\pi/2$ (즉, $\lambda/4$) 어긋나 있다.
- [0103] 도 4에 의하면 전술한 바와 같이, 실선으로 나타내는 스톱 밴드 하단 모드의 정재파는, 전극 팽거(18)의 중앙 위치, 즉 반사 중심 위치에 복이 존재하고, 일점 쇄선으로 나타낸 스톱 밴드 상단 모드의 정재파는 반사 중심 위치에 절이 존재한다. 이와 같은 전극 팽거 간의 중심 위치에 절이 존재하는 모드에서는, SAW의 진동을 전극 팽거(18(18a, 18b))에 따라서 효율 좋게 전하로 변환할 수 없고, 그 모드는 전기 신호로서 여진, 또는 수신할 수 없는 경우가 많다. 그러나, 본 출원에 기재된 수법에서는, 오일러각에 있어서의 ψ 를 0으로 없애고, SAW의 전파 방향을 수정의 결정축인 X축으로부터 조금 옮김으로써, 스톱 밴드 상단 모드의 정재파를 도 4의 실선의 위

치, 즉, 그 모드의 정재파의 복을 전극 평거(18)의 중앙 위치에 시프트시키는 것이 가능해지고, 스톱 밴드 상단 모드의 SAW를 여기하는 것이 가능해지는 것이다.

[0104] 또한, 반사기(20)는, 상기 IDT(12)를 SAW의 전파 방향에서 사이에 두도록 한 쌍이 설치된다. 구체적 구성예로서는, IDT(12)를 구성하는 전극 평거(18)와 평행하게 설치되는 복수의 도체 스트립(22)의 양단을 각각 접속한 것이다.

[0105] 여기에서, 다른 실시예에 있어서는, 복수의 도체 스트립(22)의 일단만을 각각 접속할 수 있다. 또한 다른 실시 예에 있어서는, 복수의 도체 스트립(22)의 양단 이외의 개소(예를 들면, 도체 스트립(22)의 연장 방향 중앙)에서 각각 접속할 수 있다.

[0106] 또한, 수정 기판의 SAW 전파 방향의 단면(端面)으로부터의 반사파를 적극적으로 이용하는 단면 반사형 SAW 공진자나, IDT의 전극 평거 쌍의 수를 많게 함으로써 IDT 자체로 SAW의 정재파를 여기하는 다수쌍 IDT형 SAW 공진자에 있어서는, 반사기는 반드시 필요하지는 않다.

[0107] 이와 같이 하여 구성되는 IDT(12)나 반사기(20)를 구성하는 전극막의 재료로서는, 알루미늄(AI)이나 AI을 주체로 한 합금을 이용할 수 있다.

[0108] IDT(12)나 반사기(20)를 구성하는 전극막의 전극의 두께를 최대한 줄임으로써 전극이 갖는 온도 특성의 영향을 최소한으로 하고 있다. 또한, 수정 기판부의 흄의 깊이를 크게 취하여, 수정 기판부의 흄의 성능에 따라서, 즉 수정의 양호한 온도 특성을 이용함으로써, 양호한 주파수 온도 특성을 인출하고 있다. 그에 따라서 전극의 온도 특성이 SAW 공진자의 온도 특성에 주는 영향을 작게 할 수 있고, 전극의 질량이 10% 이내의 변동이면 양호한 온도 특성을 유지할 수 있다.

[0109] 또한, 상기의 이유에 의해 전극막 재료로서 합금을 이용하는 경우, 주성분이 되는 AI 이외의 금속은 중량비로 10% 이하, 바람직하게는 3%이하로 하면 좋다. 이에 따라, 순(純)AI을 이용한 경우와 AI합금을 이용한 경우에서, 온도 특성이나 그 외 전기적 특성을 서로 동등한 것으로 할 수 있다.

[0110] AI 이외의 금속을 주체로 한 전극을 이용한 경우에는, 전극의 질량이 AI를 이용한 경우의 $\pm 10\%$ 이내가 되도록 그 전극의 막두께를 조정하면 좋다. 이와 같이 함으로써 AI를 이용했을 때와 동등한 양호한 온도 특성을 얻을 수 있다.

[0111] 상기와 같은 기본 구성을 갖는 SAW 공진자(10)에 있어서의 수정 기판(30)은, IDT(12)의 전극 평거 간이나 반사기(20)의 도체 스트립간에 흄(전극 평거 간 흄)(32)을 형성하고 있다.

[0112] 수정 기판(30)에 형성하는 흄(32)은, 스톱 밴드 상단 모드에 있어서의 SAW의 파장을 λ 로 하고, 흄 깊이를 G로 한 경우,

$$0.01\lambda \leq G \quad \dots \quad (1)$$

[0113] 로 하면 좋다. 또한 흄 깊이(G)에 대해서 상한값을 정하는 경우에는, 도 5를 참조함으로써 판독할 수 있도록,

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda \quad \dots \quad (2)$$

[0114] 의 범위로 하면 좋다. 흄 깊이(G)를 이와 같은 범위로 정함으로써, 동작 온도 범위 내($-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$)에 있어서의 주파수 변동량을, 상세를 후술하는 목표값으로서의 25ppm 이하로 할 수 있기 때문이다. 또한, 흄 깊이(G)에 대해서 바람직하게는,

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (3)$$

[0115] 의 범위로 하면 좋다. 흄 깊이(G)를 이와 같은 범위로 정함으로써, 흄 깊이(G)에 제조상의 불균일이 발생한 경우라도, SAW 공진자(10) 개체간에 있어서의 공진 주파수의 시프트량을 보정 범위 내로 억제할 수 있다.

[0116] 또한, 라인 점유율(n)이란 도 1(C)나 도 1(D)에 나타내는 바와 같이, 전극 평거(18)의 선폭(수정 볼록부만의 경우에는 볼록부의 폭을 말함)(L)을 전극 평거(18) 간의 폭치 $\lambda/2 (= L+S)$ 로 나눈 값이다. 따라서, 라인 점유율(n)은, 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{L}{L+S} \quad \dots \quad (4)$$

[0120]

[0121] 여기에서 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)는, 라인 점유율(η)을 식 (5), (6)을 충족시키는 바와 같은 범위로 정하면 좋다. 또한, 식 (5), (6)으로부터도 알 수 있는 바와 같이 η 는 흄(32)의 깊이(G)를 정함으로써 도출할 수 있다.

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

$$\dots \quad (5)$$

[0122]

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

$$\dots \quad (6)$$

[0123]

[0124] 또한, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)에 있어서의 전극막 재료(IDT(12)나 반사기(20) 등)의 막두께는,

$$0 < H \leq 0.035\lambda \quad \dots \quad (7)$$

[0125]

[0126] 의 범위로 하는 것이 바람직하다.

[0127]

또한, 라인 점유율(η)에 대해서 식 (7)로 나타낸 전극막의 두께를 고려한 경우, η 는 (8)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots \quad (8) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

[0128]

[0129] 라인 점유율(η)은, 전극 막두께가 두꺼울수록 전기적 특성(특히, 공진 주파수)의 제조 불균일이 커지고, 전극 막두께(H)가 식 (5), (6)의 범위 내에 있어서는 ± 0.04 이내의 제조 불균일, $H > 0.03\lambda$ 에 있어서는 ± 0.04 보다 큰 제조 불균일이 발생할 가능성이 크다. 그러나, 전극 막두께(H)가 식 (5), (6)의 범위 내이며, 그리고 라인 점유율(η)의 불균일이 ± 0.04 이내이면, 2차 온도 계수(β)의 절대값이 작은 SAW 디바이스를 실현할 수 있다. 즉 라인 점유율(η)은, 식 (8)에 ± 0.04 의 공차를 더한 식 (9)의 범위까지 허용할 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots \quad (9) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \end{aligned}$$

[0130]

[0131] 상기와 같은 구성의 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)에서는, 2차 온도 계수(β)를 $\pm 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이내로 하고, 바람직하게는 SAW의 동작 온도 범위를 $-40\text{°C} \sim +85\text{°C}$ 로 한 경우에, 당해 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량(Δf)을 25ppm 이하로 할 수 있는 정도까지, 주파수 온도 특성을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다.

[0132]

그런데, 일반적으로 탄성 표면과 공진자의 온도 특성은, 하기식으로 나타난다.

[0133]

$$\Delta f = \alpha \times (T - T_0) + \beta \times (T - T_0)^2$$

[0134]

여기에서, Δf 는 온도(T)와 정점 온도(T_0) 간의 주파수 변화량(ppm), α 는 1차 온도 계수($\text{ppm}/\text{°C}$), β 는 2차 온도 계수($\text{ppm}/\text{°C}^2$), T 는 온도, T_0 은 주파수가 최대가 되는 온도(정점 온도)를 의미한다.

[0135]

예를 들면, 압전 기판이 소위 ST-커트(오일러각 (ϕ, θ, ψ)=($0^\circ, 120^\circ \sim 130^\circ, 0^\circ$)의 수정판으로 형성되

어 있는 경우, 1차 온도 계수 $\alpha = 0.0(\text{ppm}/\text{°C})$, 2차 온도 계수 $\beta = -0.034(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 가 되고, 그래프에 나타내면 도 6과 같이 된다. 도 6에 있어서, 온도 특성은 위로 볼록의 포물선(2차 곡선)을 그리고 있다.

[0136] 도 6에 나타내는 바와 같은 SAW 공진자는, 온도의 변화에 대한 주파수 변동량이 매우 크고, 온도 변화에 대한 주파수 변화량(Δf)을 억압하는 것이 필요해진다. 따라서, 도 6에 나타내는 2차 온도 계수(β)를 보다 0에 접근시켜, SAW 공진자가 실제로 사용될 때의 온도(동작 온도)의 변화에 대한 주파수 변화량(Δf)이 0에 가까워지도록, 탄성 표면과 공진자를 새로운 지견에 기초하여 실현할 필요가 있는 것이다.

[0137] 따라서, 본 발명의 목적 중 하나는, 상기와 같은 과제를 해소하고, 탄성 표면과 디바이스의 주파수 온도 특성을 매우 양호한 것으로 하여, 온도가 변화해도 주파수가 안정되어 동작하는 탄성 표면과 디바이스를 실현하는 것이다.

[0138] 상기와 같은 기술 사상(기술 요소)을 구비한 구성으로 하는 SAW 디바이스로 하면, 전술한 바와 같은 과제를 해결하는 것을 실현할 수 있는 것, 즉, 본원 발명자가 시뮬레이션과 실험을 반복함으로써, 그 여하에 따라 본 발명에 따른 지견에 생각이 이르렀는지에 대해서, 이하에 상세하게 설명하고, 증명한다.

[0139] 또한, 전술한 ST-커트라고 불리는 수정 기판을 이용하여 전파 방향을 결정 X축 방향으로 한 SAW 공진자는, 동작 온도 범위를 동일하게 한 경우, 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량(Δf)은 약 133(ppm)이 되고, 2차 온도 계수(β)는, $-0.034(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 정도가 된다. 또한, 수정 기판의 커트각과 SAW 전파 방향을 오일러각 표시로 (0, 123°, 45°)로 하고, 동작 온도 범위를 동일하게 한 면내 회전 ST-커트 수정 기판을 이용한 SAW 공진자에 있어서 스톱 밴드 하단 모드의 여진을 이용한 경우, 주파수 변동량(Δf)은 약 63ppm, 2차 온도 계수(β)는 $-0.016(\text{ppm}/\text{°C}_2)$ 정도가 된다.

[0140] 이들 ST-커트 수정 기판이나 면내 회전 ST-커트 수정 기판을 이용한 SAW 공진자는 모두 레일리파라고 불리는 탄성 표면파를 이용하고 있고, LST-커트 수정 기판의 누설파(leaky wave)라고 불리는 탄성 표면파에 비하여 수정 기판이나 전극의 가공 정밀도에 대한 주파수나 주파수 온도 특성의 불균일이 매우 작기 때문에, 양산성이 우수하여, 각종 SAW 장치에 이용되고 있다. 그러나, 종래 이용되고 있던 ST-커트 수정 기판이나 면내 회전 ST-커트 수정 기판 등을 이용한 SAW 공진자는, 전술한 바와 같이, 주파수 온도 특성을 나타내는 곡선을 2차 곡선으로 한 2차 온도 특성이고, 또한, 그 2차 온도 특성의 2차 온도 계수의 절대값이 크기 때문에, 동작 온도 범위에 있어서의 주파수 변동량이 크고, 주파수의 안정성을 요구하는 유선 통신 장치나 무선 통신 장치에 사용되는 공진자나 발진기 등의 SAW 장치에는 이용이 곤란했다. 예를 들면, ST-커트 수정 기판의 2차 온도 계수(β)의 1/3 이하, 면내 회전 ST-커트 수정 기판의 2차 온도 계수(β)의 37% 이상의 개선에 상당하는 2차 온도 계수(β)가 ±0.01(ppm/ °C^2) 이하인 2차 온도 특성을 갖는 주파수 온도 특성이 얻어지면, 그러한 주파수의 안정성을 요구하는 장치를 실현할 수 있다. 또한, 2차 온도 계수(β)가 거의 0이고, 주파수 온도 특성을 나타내는 곡선을 3차 곡선으로 한 3차 온도 특성이 얻어지면, 동작 온도 범위에 있어서, 보다 주파수의 안정성이 높아져, 보다 바람직하다. 이러한 3차 온도 특성에서는, $-40\text{°C} \sim +85\text{°C}$ 넓은 동작 온도 범위에 있어서도 ±25ppm 이하의, 종래와 같은 SAW 디바이스에서는 실현할 수 없었던 매우 높은 주파수 안정도가 얻어진다.

[0141] SAW 공진자(10)의 주파수 온도 특성의 변화에는 전술한 바와 같이, IDT(12)에 있어서의 전극 평거(18)의 라인 점유율(n)이나 전극 막두께(H) 및, 흄 깊이(G) 등이 관계하고 있는 것이, 본원 발명자가 행한 시뮬레이션과 실험에 기초한 지견에 의해 분명해졌다. 그리고 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)는, 스톱 밴드 상단 모드의 여진을 이용한다.

[0142] 도 7은, 도 1(C)에 있어서, 전극 막두께(H)를 영($H=0\% \lambda$)으로 하여, 즉, 수정 기판(30)의 표면에 요철의 수정으로 이루어지는 흄(32)을 형성한 상태에 있어서, 수정 기판(30)의 표면에 SAW를 여기하여 전파시킨 경우의 라인 점유율(n)의 변화에 대한 2차 온도 계수(β)의 변화를 나타내는 그래프이다. 도 7에 있어서 도 7(A)는 흄 깊이(G)를 0.02λ 로 한 경우의 스톱 밴드 상단 모드의 공진에 있어서의 2차 온도 계수(β)를 나타내고, 도 7(B)는 흄 깊이(G)를 0.02λ 로 한 경우의 스톱 밴드 하단 모드의 공진에 있어서의 2차 온도 계수(β)를 나타낸다. 또한, 도 7에 있어서 도 7(C)는 흄 깊이(G)를 0.04λ 로 한 경우의 스톱 밴드 상단 모드의 공진에 있어서의 2차 온도 계수(β)를 나타내고, 도 7(D)는 흄 깊이(G)를 0.04λ 로 한 경우의 스톱 밴드 하단 모드의 공진에 있어서의 2차 온도 계수(β)를 나타낸다. 또한, 도 7에 나타내는 시뮬레이션은, 주파수 온도 특성을 변동시키는 인자를 줄이기 위해, 전극막을 형성하지 않는 수정 기판(30)에 어떠한 형태로 SAW를 전파시킨 경우의 예를 나타내는 것이다. 또한, 수정 기판(30)의 커트각은, 오일러각 (0° , 123° , Ψ)인 것을 사용했다. 또한,

ψ에 관해서는, 2차 온도 계수(β)의 절대값이 최소가 되는 값을 적절히 선택하고 있다.

[0143] 도 7로부터는, 스톱 밴드 상단 모드의 경우도 하단 모드의 경우도, 라인 점유율(n)이 0.6~0.7이 되는 부근에서 2차 온도 계수(β)가 크게 변화하고 있는 것을 판독할 수 있다. 그리고, 스톱 밴드 상단 모드에 있어서의 2차 온도 계수(β)의 변화와 스톱 밴드 하단 모드에 있어서의 2차 온도 계수(β)의 변화를 비교하면, 다음과 같은 것을 판독할 수 있다. 즉, 스톱 밴드 하단 모드에 있어서의 2차 온도 계수(β)의 변화는, 마이너스측으로부터 더욱 마이너스측으로 변화함으로써 특성이 저하되고 있다(2차 온도 계수(β)의 절대값이 커지고 있음). 이에 대하여, 스톱 밴드 상단 모드에 있어서의 2차 온도 계수(β)의 변화는, 마이너스측으로부터 플러스측으로 변화함으로써 특성이 향상되고 있다(2차 온도 계수(β)의 절대값이 작아지는 점이 존재하고 있음)는 것이다.

[0144] 이 점에서, SAW 디바이스에 있어서 양호한 주파수 온도 특성을 얻기 위해서는, 스톱 밴드 상단 모드의 진동을 이용하는 것이 바람직하다는 것이 분명해졌다.

[0145] 다음으로 발명자는, 홈 깊이(G)를 여러 가지로 변화시킨 수정 기판에 있어서 스톱 밴드 상단 모드의 SAW를 전파시켰을 때에 있어서의 라인 점유율(n)과 2차 온도 계수(β)와의 관계에 대해서 조사했다.

[0146] 도 8(A) 내지 도 8(I)는, 도 7과 동일하게 전극 막두께(H)를 0(H=0% λ)으로 하여, 각각 홈 깊이(G)를 0.01λ(1% λ)에서 0.08λ(8% λ)까지 변화시켰을 때의 라인 점유율(n)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 시뮬레이션했을 때의 평가 결과를 나타내는 그래프이다. 평가 결과로부터, 홈 깊이(G)를 도 8(B)에 나타내는 바와 같이 0.0125λ(1.25% λ)로 한 부근으로부터 $\beta=0$ 이 되는 점, 즉 주파수 온도 특성을 나타내는 근사 곡선이, 3차 곡선을 나타내는 점이 나타나기 시작하고 있는 것을 판독할 수 있다. 그리고, 도 8로부터는, $\beta=0$ 이 되는 n 가 각각 2개소(n 가 큰 쪽에 있어서의 $\beta=0$ 이 되는 점(n_1)이나, n 가 작은 쪽에 있어서의 $\beta=0$ 이 되는 점(n_2))가 존재하는 것도 판명되었다. 또한, 도 8에 나타내는 평가 결과로부터, n_2 쪽이, n_1 보다도 홈 깊이(G)의 변화에 대한 라인 점유율(n)의 변동량이 크다는 것도 판독할 수 있다.

[0147] 이 점에 대해서는, 도 9를 참조함으로써 그 이해를 깊게 할 수 있다. 도 9는, 홈 깊이(G)를 변경한 경우에 있어서 2차 온도 계수(β)가 0이 되는 n_1 , n_2 를 각각 플로트한 그래프이다. 도 9는, 홈 깊이(G)가 커짐에 따라서, n_1 , n_2 는 서로 작아지지만, n_2 쪽은, 종축(n)의 스케일을 0.5λ~0.9λ의 범위로 나타낸 그래프에 있어서, 홈 깊이(G)=0.04λ로 된 부근에서 스케일 아웃되어 베릴만큼 변동량이 크다는 것을 판독할 수 있다. 즉, n_2 는, 홈 깊이(G)의 변화에 대한 변동량이 크다는 것을 말할 수 있다.

[0148] 도 10(A) 내지 도 10(I)는, 도 7이나 도 8과 마찬가지로 전극 막두께(H)를 영(H=0% λ)으로 하고, 도 8에 있어서의 종축을 2차 온도 계수(β)를 대신하여 주파수 변동량(ΔF)으로서 나타낸 그래프이다. 도 10으로부터는 당연하게, $\beta=0$ 이 되는 2개의 점(n_1 , n_2)에 있어서, 주파수 변동량(ΔF)이 저하하는 것을 판독할 수 있다. 또한 도 10으로부터는, $\beta=0$ 이 되는 2개의 점에서는, 홈 깊이(G)를 변경한 어느 그래프에 있어서도, n_1 부근에 있는 점쪽이, 주파수 변동량(ΔF)이 작게 억제되고 있다는 것을 판독할 수 있다.

[0149] 상기 경향에 의하면, 제조시에 오차가 발생하기 쉬운 양산품에 관해서는, 홈 깊이(G)의 변동에 대한 $\beta=0$ 이 되는 점의 주파수 변동량이 적은 쪽, 즉, n_1 을 채용하는 것이 바람직하다고 생각된다. 도 5에는, 각 홈 깊이(G)에 있어서 2차 온도 계수(β)가 최소가 되는 점(n_1)에서의 주파수 변동량(ΔF)과 홈 깊이(G)와의 관계의 그래프를 나타낸다. 도 5에 의하면, 주파수 변동량(ΔF)이 목표값인 25ppm 이하가 되는 홈 깊이(G)의 하한값은, 홈 깊이(G)가 0.01λ가 되고, 홈 깊이(G)의 범위는 그 이상, 즉 $0.01 \leq G \leq 0.94\lambda$ 라는 것이 된다.

[0150] 또한, 도 5에는 시뮬레이션에 의해, 홈 깊이(G)가 0.08 이상이 되는 경우의 예도 추가했다. 이 시뮬레이션에 의하면 홈 깊이(G)는, 0.01λ 이상에서 주파수 변동량(ΔF)이 25ppm 이하가 되고, 그 후, 홈 깊이(G)가 늘어날 때마다 주파수 변동량(ΔF)이 작아진다. 그러나, 홈 깊이(G)가 약 0.9λ 이상으로 된 경우에, 주파수 변동량(ΔF)은 재차 증가하고, 0.094λ를 초과하면 주파수 변동량(ΔF)이 25ppm을 초과하게 된다.

[0151] 도 5에 나타내는 그래프는 수정 기판(30) 상에, IDT(12)나 반사기(20) 등의 전극막을 형성하고 있지 않은 상태에서의 시뮬레이션이지만, 상세를 이하에 나타내는 도 21~도 26을 참조하면 알 수 있는 바와 같이, SAW 공진자(10)는 전극막을 형성한 편이 주파수 변동량(ΔF)을 작게 할 수 있다고 생각된다. 따라서 홈 깊이(G)의 상한값을 정한다고 하면 전극막을 형성하고 있지 않은 상태에서의 최대값, 즉 $G \leq 0.94\lambda$ 로 하면 좋고, 목표를 달성하기 위해 적합한 홈 깊이(G)의 범위로서는,

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda \quad \dots \quad (2)$$

[0152]

[0153] 로 나타낼 수 있다.

[0154] 또한, 양산 공정에 있어서 흄 깊이(G)는, 최대 $\pm 0.001\lambda$ 정도의 불균일을 갖는다. 따라서, 라인 점유율(n)을 일정하게 한 경우에 있어서, 흄 깊이(G)가 $\pm 0.001\lambda$ 만큼 어긋난 경우에 있어서의 SAW 공진자(10)의 개개의 주파수 변동량(Δf)에 대해서 도 11에 나타낸다. 도 11에 의하면, $G=0.04\lambda$ 인 경우에 있어서, 흄 깊이(G)가 $\pm 0.001\lambda$ 어긋난 경우, 즉 흄 깊이가 $0.039\lambda \leq G \leq 0.041\lambda$ 인 범위에 있어서는, 주파수 변동량(Δf)이 $\pm 500\text{ppm}$ 정도라는 것을 판독할 수 있다.

[0155] 여기에서, 주파수 변동량(Δf)이 $\pm 1000\text{ppm}$ 미만이면, 여러 가지 주파수 미조정 수단에 의해 주파수 조정이 가능하다. 그러나, 주파수 변동량(Δf)이 $\pm 1000\text{ppm}$ 이상으로 된 경우에는, 주파수의 조정에 의해 Q값, CI(crystal impedance) 값 등의 정특성이나, 장기 신뢰성으로의 영향이 발생하여, SAW 공진자(10)로서 양품률의 저하로 연결된다.

[0156] 도 11에 나타내는 플로트를 연결하는 직선에 대해서, 주파수 변동량(Δf)[ppm]과 흄 깊이(G)와의 관계를 나타내는 근사식을 유도하면, 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$\Delta f = 16334(G/\lambda) - 137 \quad \dots \quad (10)$$

[0157] 여기에서, $(\Delta f) < 1000\text{ppm}$ 으로 되는 G 의 값을 구하면, $G \leq 0.0695\lambda$ 가 된다. 따라서, 본 실시 형태에 따른 흄 깊이(G)의 범위로서 적합하게는,

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (3)$$

[0159]

[0160] 로 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

[0161] 다음으로, 도 12(A) 내지 도 12(F)에, 2차 온도 계수(β)=0이 되는 n , 즉, 3차 온도 특성을 나타내는 라인 점유율(n)과, 흄 깊이(G)와의 관계를 시뮬레이션했을 때의 평가 결과의 그래프를 나타낸다. 수정 기판(30)은, 오일러각을 (0° , 123° , ψ)로 했다. 여기에서, ψ 에 대해서는, 주파수 온도 특성이 3차 곡선의 경향을 나타내는 각도, 즉 2차 온도 계수(β)=0이 되는 각도를 적절히 선택하고 있다. 또한, 도 12와 동일한 조건에 있어서, $\beta=0$ 이 되는 n 를 얻었을 때의 오일러각(ψ)과 흄 깊이(G)와의 관계를 도 34에 나타낸다. 도 34의 전극 막두께(H)= 0.02λ 의 그래프(도 34(C))에 있어서, $\psi < 42^\circ$ 의 플로트가 표시되어 있지 않지만, 이 그래프의 n_2 의 플로트는 $G=0.03\lambda$ 에서 $\psi=41.9^\circ$ 로 되어 있다. 각 전극 막두께에 있어서의 흄 깊이(G)와 라인 점유율(n)과의 관계에 대해서는, 상세를 후술하는 도 15~도 20에 기초하여 플로트를 얻고 있다.

[0162] 도 12(A) 내지 도 12(F)에 나타내는 평가 결과로부터는, 어느 막두께에 있어서도, 전술한 바와 같이, n_1 은 n_2 에 비하여 흄 깊이(G)의 변화에 의한 변동이 적다는 것을 판독할 수 있다. 이 때문에, 도 12에 있어서의 각각의 막두께의 흄 깊이(G)와 라인 점유율(n)과의 관계를 나타내는 그래프로부터 n_1 을 발출하여 도 13(A)에 $\beta=0$ 이 되는 점을 플로트하여 정리했다. 그에 대하여, $\beta \neq 0$ 이 되지 않고도, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 을 만족하는 영역을 평가한 결과, 도 13(B)에 나타내는 바와 같은 실선으로 나타내는 다각형 안에 n_1 이 집중하고 있는 것이 분명해졌다.

[0163] 도 13(B)의 점 a 내지 h의 좌표를 하기표 1에 나타낸다.

[0164]

[표 1]

점	G/λ	η
a	0.01	0.70
b	0.03	0.66
c	0.05	0.62
d	0.07	0.55
e	0.07	0.60
f	0.05	0.65
g	0.03	0.70
h	0.01	0.75

[0165]

[0166]

도 13(B)는, 점 a 내지 h로 둘러싸인 다각형 내이면, 전극 막두께(H)의 두께에 상관없이 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 보증되고, 양호한 주파수 온도 특성이 얻어지는 것을 나타내고 있다. 이 양호한 주파수 온도 특성이 얻어지는 범위는, 하기에 나타내는 식 (11)과 식 (12), 및 식 (13)의 양방을 만족하는 범위이다.

$$\eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \dots (11)$$

[0167]

$$\eta \geq -2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \dots (12)$$

[0168]

$$\eta \geq -3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \quad \text{단, } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \dots (13)$$

[0169]

식 (11), (12), (13)으로부터, 도 13(B)에 있어서 실선으로 둘러싼 범위에 있어서, 라인 점유율(η)은, 식 (5)와 식 (6)의 양방을 충족시키는 범위로서 특정할 수 있다고 말할 수 있다.

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \dots (5)$$

[0171]

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{단, } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \dots (6)$$

[0172]

여기에서, 2차 온도 계수(β)를 $\pm 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이내까지 허용하는 경우, $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$ 에 있어서는, 식 (3)과 식 (5)를 모두 충족시키고, $0.0500\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 에 있어서는, 식 (3)과 식 (6)을 모두 충족시키도록 구성하면, 2차 온도 계수(β)가 $\pm 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이내가 되는 것을 확인했다.

[0174]

또한, 점 a 내지 h에 있어서의 각 전극 막두께(H)의 2차 온도 계수(β)(ppm/C^2)의 값을 하기표 2에 나타낸다. 표 2로부터는, 모든 점에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 이 되어 있는 것을 확인할 수 있다.

[0175]

[표 2]

점	전극 막두께 H					
	1% λ	1.5% λ	2% λ	2.5% λ	3% λ	3.5% λ
a	-0.099×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.030×10^{-1}	0.030×10^{-1}	-0.050×10^{-1}	-0.060×10^{-1}
b	0.040×10^{-1}	0.030×10^{-1}	0.000×10^{-1}	0.000×10^{-1}	-0.020×10^{-1}	-0.040×10^{-1}
c	0.070×10^{-1}	-0.040×10^{-1}	0.010×10^{-1}	-0.036×10^{-1}	-0.040×10^{-1}	-0.057×10^{-1}
d	0.067×10^{-1}	-0.022×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.099×10^{-1}
e	-0.039×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.094×10^{-1}
f	-0.023×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.050×10^{-1}	-0.062×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.070×10^{-1}
g	-0.070×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.070×10^{-1}
h	-0.099×10^{-1}	-0.030×10^{-1}	-0.091×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.080×10^{-1}

[0176]

[0177] 또한, 식 (11)~(13) 및 이에 따라 유도되는 식 (5), (6)을 근거로 하여 전극 막두께(H) ≈ 0 , 0.01λ , 0.02λ , 0.03λ 으로 한 SAW 공진자(10)에 대해서 각각, $\beta = 0$ 이 되는 흄 깊이(G)와 라인 점유율(η)과의 관계를 근사 직선으로 나타내면 도 14와 같이 된다. 또한, 전극막을 형성하지 않는 수정 기판(30)에 있어서의 흄 깊이(G)와 라인 점유율(η)과의 관계에 대해서는, 도 9에 나타낸 바와 같다.

[0178] 전극 막두께(H)를 $3.0\% \lambda$ (0.030λ) 이하로 변화시켰을 때, $\beta = 0$, 즉, 3차 곡선의 주파수 온도 특성이 얻어진다. 이때, 주파수 온도 특성이 양호해지는 G 와 η 와의 관계식은 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots \quad (8) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

[0179]

[0180] 여기에서, G , H 의 단위는 λ 이다.

[0181] 단, 이 식 (8)은, 전극 막두께(H)가, $0 < H \leq 0.030\lambda$ 의 범위에 있어서 성립하는 것이다.

[0182] 라인 점유율(η)은 전극 막두께가 두꺼울수록 전기적 특성(특히, 공진 주파수)의 제조 불균일이 커지고, 전극 막두께(H)가 식 (5), (6)의 범위 내에 있어서는 ± 0.04 이내의 제조 불균일, $H > 0.035\lambda$ 에 있어서는 ± 0.04 보다 큰 제조 불균일이 발생할 가능성이 크다. 그러나, 전극 막두께(H)가 식 (5), (6)의 범위 내이고, 그리고 라인 점유율(η)의 불균일이 0.04 이내이면, 2차 온도 계수(β)가 작은 SAW 디바이스를 실현할 수 있다. 즉, 라인 점유율의 제조 불균일을 고려하면서 2차 온도 계수(β)를 $\pm 0.01\text{ppm}/\text{°C}^2$ 이내로 하는 경우, 라인 점유율(η)은 식 (8)에 ± 0.04 의 공차를 더한 식 (9)의 범위까지 허용할 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots \quad (9) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \end{aligned}$$

[0183]

[0184] 도 15~도 20에, 전극 막두께를 각각 0.01λ ($1\% \lambda$), 0.015λ ($1.5\% \lambda$), 0.02λ ($2\% \lambda$), 0.025λ ($2.5\% \lambda$), 0.03λ ($3\% \lambda$), 0.035λ ($3.5\% \lambda$)로 한 경우에 있어서, 흄 깊이(G)를 변화시킨 경우에 있어서의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계의 그래프를 나타낸다.

[0185]

또한, 도 21~도 26에는, 도 15~도 20에 각각 대응한 SAW 공진자(10)에 있어서의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계의 그래프를 나타낸다. 또한, 수정 기판은 모두 오일러각 (0° , 123° , Ψ)인 것을 사용하고, Ψ 에 대해서는 적정 ΔF 가 최소로 되는 각도를 선택한다.

[0186]

여기에서, 도 15(A) 내지 도 15(F)는, 전극 막두께(H)를 0.01λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도면이고, 도 21(A) 내지 (F)는 전극 막두께(H)를 0.01λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0187]

또한, 도 16(A) 내지 도 16(F)는, 전극 막두께(H)를 0.015λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도면이고, 도 22(A) 내지 도 22(F)는 전극 막두께(H)를 0.015λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0188]

또한, 도 17(A) 내지 도 17(F)는, 전극 막두께(H)를 0.02λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도면이고, 도 23(A) 내지 도 23(F)는 전극 막두께(H)를 0.02λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0189]

또한, 도 18(A) 내지 도 18(F)는, 전극 막두께(H)를 0.025λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도면이고, 도 24(A) 내지 도 24(F)는 전극 막두께(H)를 0.025λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0190]

또한, 도 19(A) 내지 19(F)는, 전극 막두께(H)를 0.03λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도면이고, 도 25(A) 내지 25(F)는 전극 막두께(H)를 0.03λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0191]

또한, 도 20(A) 내지 20(F)는, 전극 막두께(H)를 0.035λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β)와

의 관계를 나타내는 도면이고, 도 26(A) 내지 26(F)는 전극 막두께(H)를 0.035λ 로 한 경우의 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)과의 관계를 나타내는 도면이다.

[0192] 이들 도면(도 15~도 26)에 있어서는, 어느 그래프에 있어서도 미차(slight difference)는 있지만, 그 변화의 경향에 관해서는, 수정 기판(30)에 있어서만의 라인 점유율(η)과 2차 온도 계수(β) 및, 라인 점유율(η)과 주파수 변동량(ΔF)의 관계를 나타내는 그래프인 도 8, 도 10과 닮아 있음을 알 수 있다.

[0193] 즉, 본 실시 형태에 따른 효과는, 전극막을 제거한 수정 기판(30) 단체(單體)에 있어서의 탄성 표면파의 전파에 있어서도 가져올 수 있다고 말할 수 있다.

[0194] 2차 온도 계수(β)가 0이 되는 2점의 η_1 , η_2 의 각각에 대하여, β 의 범위를 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 까지 확장했을 때의 η_1 , η_2 의 범위에 대해서, 전극 막두께(H)의 범위를 정하여 홈 깊이(G)를 변화시킨 경우에 대해서, 각각 시뮬레이션을 실시했다. 또한, η_1 , η_2 는 각각, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 큰 쪽의 η 를 η_1 , $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 작은 쪽의 η 를 η_2 로 하고 있다. 또한, 수정 기판은 모두 오일러각 (0 , 123° , ψ)인 것을 사용하고, ψ 에 대해서는 적정 ΔF 가 최소로 되는 각도를 선택한다.

[0195] 도 27(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.000\lambda < H \leq 0.005\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_1 과 홈 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 3은, 도 27(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0196] [표 3]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.710	-0.098×10^{-1}
b	0.020	0.710	-0.099×10^{-1}
c	0.030	0.710	-0.095×10^{-1}
d	0.040	0.710	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.710	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.710	-0.098×10^{-1}
g	0.070	0.710	-0.099×10^{-1}
h	0.080	0.710	-0.097×10^{-1}
i	0.090	0.710	-0.100×10^{-1}
j	0.090	0.420	0.073×10^{-1}
k	0.080	0.570	0.086×10^{-1}
l	0.070	0.590	0.093×10^{-1}
m	0.060	0.615	0.077×10^{-1}
n	0.050	0.630	0.054×10^{-1}
o	0.040	0.635	0.097×10^{-1}
p	0.030	0.650	0.097×10^{-1}
q	0.020	0.670	0.074×10^{-1}
r	0.010	0.710	0.091×10^{-1}

[0197]

[0198] 도 27(A)와 표 3으로부터, η_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 홈 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.09\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-r을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0199] 도 27(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.000\lambda < H \leq 0.005\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_2 와 홈 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 4는, 도 27(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0200]

[표 4]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.030	0.590	0.097×10^{-1}
b	0.040	0.580	0.097×10^{-1}
c	0.050	0.550	0.054×10^{-1}
d	0.060	0.520	0.077×10^{-1}
e	0.070	0.480	0.093×10^{-1}
f	0.080	0.450	0.086×10^{-1}
g	0.090	0.400	0.073×10^{-1}
h	0.090	0.180	0.056×10^{-1}
i	0.080	0.340	0.093×10^{-1}
j	0.070	0.410	0.078×10^{-1}
k	0.060	0.460	0.094×10^{-1}
l	0.050	0.490	0.085×10^{-1}
m	0.040	0.520	0.099×10^{-1}
n	0.030	0.550	0.098×10^{-1}

[0201]

[0202]

도 27(B)와 표 4로부터, η_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.03 \lambda \leq G \leq 0.09 \lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0203]

도 28(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.005 \lambda < H \leq 0.010 \lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_1 과 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 5는, 도 28(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0204]

[표 5]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.099×10^{-1}
b	0.020	0.740	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.715	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.730	-0.098×10^{-1}
e	0.050	0.740	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.730	-0.098×10^{-1}
g	0.070	0.730	-0.100×10^{-1}
h	0.080	0.730	-0.100×10^{-1}
i	0.080	0.500	0.086×10^{-1}
j	0.070	0.570	0.100×10^{-1}
k	0.060	0.610	0.095×10^{-1}
l	0.050	0.630	0.100×10^{-1}
m	0.040	0.635	0.097×10^{-1}
n	0.030	0.655	0.070×10^{-1}
o	0.020	0.680	0.100×10^{-1}
p	0.010	0.760	0.016×10^{-1}

[0205]

[0206]

도 28(A)와 표 5로부터, η_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.01 \lambda \leq G \leq 0.08 \lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-p를 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0207]

도 28(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.005 \lambda < H \leq 0.010 \lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_2 와 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 6은 도 28(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0208]

[표 6]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.020	0.650	0.090×10^{-1}
b	0.030	0.610	0.098×10^{-1}
c	0.040	0.570	0.097×10^{-1}
d	0.050	0.550	0.040×10^{-1}
e	0.060	0.520	0.066×10^{-1}
f	0.070	0.470	0.070×10^{-1}
g	0.070	0.370	-0.094×10^{-1}
h	0.060	0.440	-0.096×10^{-1}
i	0.050	0.480	-0.096×10^{-1}
j	0.040	0.520	-0.095×10^{-1}
k	0.030	0.550	-0.099×10^{-1}
l	0.020	0.590	-0.100×10^{-1}

[0209]

[0210]

도 28(B)와 표 6으로부터, n_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.02\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-1을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0211]

도 29(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_1 과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 7은 도 29(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0212]

[표 7]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.099×10^{-1}
b	0.020	0.760	-0.099×10^{-1}
c	0.030	0.760	-0.099×10^{-1}
d	0.040	0.750	-0.099×10^{-1}
e	0.050	0.750	-0.099×10^{-1}
f	0.060	0.750	-0.099×10^{-1}
g	0.070	0.740	-0.099×10^{-1}
h	0.080	0.740	-0.098×10^{-1}
i	0.080	0.340	0.088×10^{-1}
j	0.070	0.545	0.088×10^{-1}
k	0.060	0.590	0.099×10^{-1}
l	0.050	0.620	0.090×10^{-1}
m	0.040	0.645	0.060×10^{-1}
n	0.030	0.670	0.030×10^{-1}
o	0.020	0.705	0.076×10^{-1}
p	0.010	0.760	0.010×10^{-1}

[0213]

[0214]

도 29(A)와 표 7로부터, n_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.08\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-p를 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0215]

도 29(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_2 와 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 8은 도 29(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0216]

[표 8]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.740	0.099×10^{-1}
b	0.020	0.650	0.090×10^{-1}
c	0.030	0.610	0.090×10^{-1}
d	0.040	0.570	0.080×10^{-1}
e	0.050	0.540	0.060×10^{-1}
f	0.060	0.480	0.060×10^{-1}
g	0.070	0.430	0.099×10^{-1}
h	0.070	0.350	-0.099×10^{-1}
i	0.060	0.420	-0.090×10^{-1}
j	0.050	0.470	-0.090×10^{-1}
k	0.040	0.510	-0.090×10^{-1}
l	0.030	0.550	-0.090×10^{-1}
m	0.020	0.610	-0.099×10^{-1}
n	0.010	0.700	-0.099×10^{-1}

[0217]

[0218]

도 29(B)와 표 8로부터, η_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0219]

도 30(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_1 과 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 9는 도 30(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0220]

[표 9]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.100×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.760	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.750	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.750	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.510	0.100×10^{-1}
i	0.060	0.570	0.099×10^{-1}
j	0.050	0.620	0.097×10^{-1}
k	0.040	0.640	0.096×10^{-1}
l	0.030	0.660	0.080×10^{-1}
m	0.020	0.675	0.076×10^{-1}
n	0.010	0.700	0.010×10^{-1}

[0221]

[0222]

도 30(A)와 표 9로부터, η_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0223]

도 30(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_2 와 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 10은 도 30(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0224]

[표 10]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.690	0.010×10^{-1}
b	0.020	0.640	0.090×10^{-1}
c	0.030	0.590	0.090×10^{-1}
d	0.040	0.550	0.080×10^{-1}
e	0.050	0.510	0.080×10^{-1}
f	0.060	0.470	0.090×10^{-1}
g	0.070	0.415	0.100×10^{-1}
h	0.070	0.280	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.380	-0.090×10^{-1}
j	0.050	0.470	-0.090×10^{-1}
k	0.040	0.510	-0.090×10^{-1}
l	0.030	0.550	-0.090×10^{-1}
m	0.020	0.610	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.680	-0.100×10^{-1}

[0225]

[0226]

도 30(B)와 표 10으로부터, η_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0227]

도 31(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_1 과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 11은 도 31(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0228]

[표 11]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.100×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.760	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.096×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.100×10^{-1}
i	0.060	0.545	0.090×10^{-1}
j	0.050	0.590	0.097×10^{-1}
k	0.040	0.620	0.100×10^{-1}
l	0.030	0.645	0.100×10^{-1}
m	0.020	0.680	0.070×10^{-1}
n	0.010	0.700	0.030×10^{-1}

[0229]

도 31(A)와 표 11로부터, η_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0231]

도 31(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 η_2 와 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 12는 도 31(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , η)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0232]

[표 12]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.010	0.690	0.030×10^{-1}
b	0.020	0.640	0.090×10^{-1}
c	0.030	0.590	0.090×10^{-1}
d	0.040	0.550	0.090×10^{-1}
e	0.050	0.510	0.080×10^{-1}
f	0.060	0.420	0.090×10^{-1}
g	0.070	0.415	0.080×10^{-1}
h	0.070	0.340	-0.098×10^{-1}
i	0.060	0.340	-0.100×10^{-1}
j	0.050	0.420	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.470	-0.100×10^{-1}
l	0.030	0.520	-0.093×10^{-1}
m	0.020	0.580	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.650	-0.090×10^{-1}

[0233]

[0234]

도 31(B)와 표 12로부터, n_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0235]

도 32(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_1 과 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 13은 도 32(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n_l)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0236]

[표 13]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.098×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.770	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.099×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.080×10^{-1}
i	0.060	0.505	0.087×10^{-1}
j	0.050	0.590	0.090×10^{-1}
k	0.040	0.620	0.100×10^{-1}
l	0.030	0.645	0.100×10^{-1}
m	0.020	0.680	0.083×10^{-1}
n	0.010	0.700	0.052×10^{-1}

[0237]

[0238]

도 32(A)와 표 13으로부터, n_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흠 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0239]

도 32(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_2 와 흠 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 14는 도 32(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n_l)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0240]

[표 14]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.010	0.670	0.052×10^{-1}
b	0.020	0.605	0.081×10^{-1}
c	0.030	0.560	0.092×10^{-1}
d	0.040	0.520	0.099×10^{-1}
e	0.050	0.470	0.086×10^{-1}
f	0.060	0.395	0.070×10^{-1}
g	0.070	0.500	0.080×10^{-1}
h	0.070	0.490	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.270	-0.100×10^{-1}
j	0.050	0.410	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.470	-0.100×10^{-1}
l	0.030	0.520	-0.093×10^{-1}
m	0.020	0.580	-0.099×10^{-1}
n	0.010	0.620	-0.090×10^{-1}

[0241]

[0242]

도 32(B)와 표 14로부터, n_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0243]

도 33(A)는, 전극 막두께(H)를 $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_1 과 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 15는 도 33(A)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0244]

[표 15]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{C}^2)$
a	0.010	0.770	-0.100×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.098×10^{-1}
c	0.030	0.770	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.090×10^{-1}
i	0.060	0.500	0.087×10^{-1}
j	0.050	0.545	0.090×10^{-1}
k	0.040	0.590	0.091×10^{-1}
l	0.030	0.625	0.080×10^{-1}
m	0.020	0.650	0.083×10^{-1}
n	0.010	0.680	0.093×10^{-1}

[0245]

[0246]

도 33(A)와 표 15로부터, n_1 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0247]

도 33(B)는, 전극 막두께(H)를 $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 로 한 경우에 있어서, 상기 β 의 범위를 충족시키는 n_2 와 흄 깊이(G)의 관계를 나타내는 그래프이고, 표 16은 도 33(B)에 나타내는 범위를 정하기 위한 주요한 계측점의 좌표(G/λ , n)와, 당해 계측점에 있어서의 β 의 값을 나타내는 표이다.

[0248]

[표 16]

점	G/λ	η	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.655	0.080×10^{-1}
b	0.020	0.590	0.081×10^{-1}
c	0.030	0.540	0.092×10^{-1}
d	0.040	0.495	0.099×10^{-1}
e	0.050	0.435	0.090×10^{-1}
f	0.060	0.395	0.061×10^{-1}
g	0.070	0.500	0.090×10^{-1}
h	0.070	0.550	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.380	-0.090×10^{-1}
j	0.050	0.330	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.410	-0.095×10^{-1}
l	0.030	0.470	-0.099×10^{-1}
m	0.020	0.520	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.590	-0.100×10^{-1}

[0249]

[0250]

도 33(B)와 표 16으로부터, η_2 에서는 전극 막두께(H)가 상기 범위 내인 경우, 흄 깊이(G)가 $0.01\lambda \leq G \leq 0.07\lambda$ 인 범위에 있어서, 계측점 a-n을 정점으로 하는 다각형으로 둘러싸인 영역 내에서는, β 가 상기 요건을 충족시킨다는 것을 판독할 수 있다.

[0251]

도 35에, 도 34에 나타내는 그래프에 있어서의 η_1 에 의해 얻어지는 ψ 와 흄 깊이(G)와의 관계를 정리했다. 또한, η_1 을 선택한 이유에 대해서는 전술한 바와 같다. 도 35에 나타내는 바와 같이, 전극막의 막두께가 변화한 경우라도, ψ 의 각도에는 거의 차이는 없고, ψ 의 최적 각도는 흄 깊이(G)의 변동에 따라서 변화해 가는 것을 알 수 있다. 이것도, 2차 온도 계수(β)의 변화가 수정 기판(30)의 형태에 기인하는 비율이 높다는 것의 증거라고 할 수 있다.

[0252]

상기와 동일하게 하여, 2차 온도 계수(β) = $0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 ψ 와 $\beta = +0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 이 되는 ψ 에 대해서 흄 깊이(G)와의 관계를 구하고, 도 36, 도 37에 정리했다. 이를 그래프(도 35~도 37)로부터 $-0.01 \leq \beta \leq +0.01$ 로 할 수 있는 ψ 의 각도를 구하면, 상기 조건하에 있어서의 적합한 ψ 의 각도 범위는 $43^\circ < \psi < 45^\circ$ 로 정할 수 있고, 더욱 적합하게는 $43.2^\circ < \psi < 44.2^\circ$ 로 정할 수 있다.

[0253]

또한, 전극 막두께(H)를 변화시킨 경우에 있어서, 흄 깊이(G)를 변화시켰을 때에 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위에 대해서 시뮬레이션을 행했다. 그 시뮬레이션의 결과를, 도 38~도 44에 나타낸다. 또한, 수정 기판은 모두 오일러각 (0° , 123° , ψ)인 것을 사용하고, ψ 에 대해서는 적정 ΔF 가 최소로 되는 각도를 선택한다.

[0254]

도 38(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0 < H \leq 0.005\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 파선으로 끼워진 범위가 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0255]

흡 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 38(A)에 나타내는 실선과 파선의 범위를 다각 형상으로 근사하면, 도 38(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 38(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 38(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (14), (15)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 3.0 \times G/\lambda + 43.92 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (14)$$

[0256]

$$\psi \geq -48.0 \times G/\lambda + 44.35 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (15)$$

[0257]

도 39(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.005\lambda < H \leq 0.010\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{°C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선

과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 과선으로 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0259] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 39(A)에 나타내는 실선과 과선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 39(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 39(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 39(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (16), (17)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 8.0 \times G/\lambda + 43.60 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (16)$$

$$\psi \geq -48.0 \times G/\lambda + 44.00 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (17)$$

[0262] 도 40(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 과선으로 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0263] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 40(A)에 나타내는 실선과 과선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 40(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 40(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 40(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (18), (19)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 10.0 \times G/\lambda + 43.40 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (18)$$

$$\psi \geq -44.0 \times G/\lambda + 43.80 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (19)$$

[0266] 도 41(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 과선으로 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0267] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 41(A)에 나타내는 실선과 과선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 41(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 41(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 41(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (20), (21)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 12.0 \times G/\lambda + 43.31 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (20)$$

$$\psi \geq -30.0 \times G/\lambda + 43.40 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (21)$$

[0270] 도 42는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 과선과의 사이에 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0271] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 42에 나타내는 실선과 과선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 42(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 42(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 42(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (22)~(24)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 14.0 \times G/\lambda + 43.16 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (22)$$

$$\psi \geq -45.0 \times G/\lambda + 43.35 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0600\lambda \quad \dots \quad (23)$$

$$\psi \geq 367.368 \times G/\lambda + 18.608 \quad \text{단, } 0.0600\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (24)$$

[0275] 도 43(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 파선과의 사이에 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0276] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 43(A)에 나타내는 실선과 파선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 43(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 43(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 43(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (25)~(27)로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 12.0 \times G/\lambda + 43.25 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (25)$$

$$\psi \geq -50.0 \times G/\lambda + 43.32 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \quad \dots \quad (26)$$

$$\psi \geq 167.692 \times G/\lambda + 32.435 \quad \text{단, } 0.0500\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (27)$$

[0277] [0278] [0279] [0280] 도 44(A)는, 전극 막두께(H)의 범위를 $0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$ 로 한 경우에 있어서, $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 요건을 충족시키는 ψ 의 범위를 나타내는 그래프이다. 여기에서, ψ 의 최대값을 나타내는 플로트를 연결하는 직선과, ψ 의 최소값을 나타내는 플로트를 연결하는 파선과의 사이에 끼워진 범위가, 상기 조건을 충족시키는 범위이다.

[0281] 흄 깊이(G)를 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 의 범위로 하여, 도 44(A)에 나타내는 실선과 파선의 범위를 다각형 형상으로 근사하면, 도 44(B)와 같이 나타낼 수 있고, 도 44(B)에 있어서 실선으로 나타나는 다각형의 내측에 해당하는 범위에서는, β 가 상기 조건을 충족시킨다고 말할 수 있다. 도 44(B)에 나타나는 다각형의 범위를 근사식으로 나타내면, 식 (28)~(30)으로 나타낼 수 있다.

$$\psi \leq 12.0 \times G/\lambda + 43.35 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (28)$$

$$\psi \geq -45.0 \times G/\lambda + 42.80 \quad \text{단, } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \quad \dots \quad (29)$$

$$\psi \geq 186.667 \times G/\lambda + 31.217 \quad \text{단, } 0.0500\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots \quad (30)$$

[0282] [0283] [0284] [0285] 다음으로, 도 45에 Θ 의 각도를 변경했을 때의 2차 온도 계수(β)의 변화, 즉 Θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타낸다. 여기에서, 시뮬레이션에 이용한 SAW 디바이스는, 커트각과 SAW 전파 방향을 오일러각 표시로 ($0, \Theta, \psi$)로 하고, 흄 깊이(G)를 0.04λ 로 한 수정 기관이며, 전극 막두께(H)는 0.02λ 로 하고 있다. 또한, ψ 에 관해서는, Θ 의 설정 각도에 기초하여, 전술한 각도 범위 내에 있어서, 적절한 2차 온도 계수(β)의 절대값이 최소가 되는 값을 선택했다. 또한, n 에 관해서는, 상기식 (8)에 따라서, 0.6383으로 했다.

[0286] [0287] 이러한 조건하에서, Θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 도 45로부터는, Θ 가 117° 이상 142° 이하의 범위 내이면, 2차 온도 계수(β)의 절대값이 $0.01(\text{ppm}/\text{C}^2)$ 의 범위 내에 있는 것을 판독할 수 있다. 따라서, 상기와 같은 설정값에 있어서, Θ 를 $117 \leq \Theta \leq 142^\circ$ 의 범위로 정하는 것에 의하면, 양호한 주파수 온도 특성을 가진 SAW 공진자(10)를 구성할 수 있다고 할 수 있다.

Θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 뒷받침하는 시뮬레이션 데이터로서, 표 17~19를 나타낸다.

[0288]

[표 17]

H/λ	G/λ	θ	β
%	%	°	ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$
0.01	4.00	117	-0.09×10^{-1}
0.01	4.00	142	0.05×10^{-1}
3.50	4.00	117	-0.09×10^{-1}
3.50	4.00	142	-0.08×10^{-1}

[0289]

[0290]

표 17은, 전극 막두께(H)를 변경한 경우에 있어서의 θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 표이고, 전극 막두께(H)를 $0.01\% \lambda$ 로 한 경우와, 전극 막두께(H)를 $3.50\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 θ 의 임계값(117° , 142°)에서의 2차 온도 계수(β)의 값을 나타낸다. 또한, 이 시뮬레이션에 있어서의 흠 깊이(G)는, 모두 $4\% \lambda$ 이다. 표 17로부터는, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$ 의 범위에서는, 전극 막두께(H)의 두께를 변경한 경우(전극 막두께의 임계값으로서 규정한 $0 = 0.01\% \lambda$ 와 $3.5\% \lambda$)라도, 그 두께에 의존하는 일 없이 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 을 만족한다는 것을 판독할 수 있다.

[0291]

[표 18]

H/λ	G/λ	θ	β
%	%	°	ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$
2.00	1.00	117	-0.09×10^{-1}
2.00	1.00	142	-0.08×10^{-1}
2.00	6.95	117	-0.09×10^{-1}
2.00	6.95	142	-0.09×10^{-1}

[0292]

[0293]

표 18은, 흠 깊이(G)를 변경한 경우에 있어서의 θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 표이고, 흠 깊이(G)를 $1.00\% \lambda$ 와 $6.95\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 θ 의 임계값(117° , 142°)에서의 2차 온도 계수(β)의 값을 나타낸다. 또한, 이 시뮬레이션에 있어서의 전극 막두께(H)는, 모두 $2.00\% \lambda$ 이다. 표 18로부터는, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$ 의 범위에서는, 흠 깊이(G)를 변경한 경우(흡 깊이(G)의 임계값으로서 규정한 $1.00\% \lambda$ 와 $6.95\% \lambda$)라도, 그 깊이에 의존하는 일 없이 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 를 만족한다는 것을 판독할 수 있다.

[0294]

[표 19]

H/λ	G/λ	η	θ	β
%	%		°	ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$
2.00	4.00	0.62	117	-0.10×10^{-1}
2.00	4.00	0.62	142	-0.03×10^{-1}
2.00	4.00	0.76	117	-0.09×10^{-1}
2.00	4.00	0.76	142	-0.09×10^{-1}

[0295]

[0296]

표 19는, 라인 점유율(η)을 변경한 경우에 있어서의 θ 와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 표이고, 라인 점유율(η)을 0.62 와 0.76 으로 한 경우에 있어서의 θ 의 임계값(117° , 142°)에서의 2차 온도 계수(β)의 값을 나타낸다. 또한, 이 시뮬레이션에 있어서의 전극 막두께(H)는, 모두 $2.00\% \lambda$ 이고, 흠 깊이(G)는, 모두 $4.00\% \lambda$ 이다. 표 19로부터는, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$ 의 범위에서는, 라인 점유율(η)을 변경한 경우 ($\eta = 0.62$, 0.76 은, 전극 막두께(H)를 $0.020\lambda \sim 0.025\lambda$ 의 범위로 하여 라인 점유율(η ; η_1)과 흠 깊이(G)의 관계를 나타낸 도 31(A)에 있어서, 흠 깊이를 $4\% \lambda$ 로 한 경우에 있어서의 η 의 최소값과 최대값)라도, 그 값에 의존하는 일 없이 $|\beta| \leq 0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 를 만족한다는 것을 판독할 수 있다.

[0297]

도 46은, 오일러각 표시로 (ϕ , 123° , 43.77°)의 수정 기판(30)을 이용하고, 흠 깊이(G)를 0.04λ , 전극 막두께(H)를 0.02λ 및, 라인 점유율(η)을 0.65 로 한 경우에 있어서, ϕ 의 각도와 2차 온도 계수(β)와의 관계를 나타내는 그래프이다.

[0298]

도 46으로부터는, ϕ 가 -2° , $+2^{\circ}$ 인 경우에는 각각 2차 온도 계수(β)가 $-0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 보다도 낮아져 버리

고 있지만, ϕ 가 -1.5° 로부터 $+1.5^\circ$ 의 범위이면 확실하게, 2차 온도 계수(β)의 절대값이 $0.01(\text{ppm}/\text{ }^\circ\text{C})^2$ 의 범위 내에 있는 것을 판독할 수 있다. 따라서, 상기와 같은 설정값에 있어서 ϕ 를 $-1.5^\circ \leq \phi \leq +1.5^\circ$, 적합하게는 $-1^\circ \leq \phi \leq +1^\circ$ 의 범위로 정하는 것에 의하면, 양호한 주파수 온도 특성을 가진 SAW 공진자(10)를 구성할 수 있다.

[0299] 상기 설명에서는, ϕ , Θ , ψ 는 각각, 일정 조건하에 흠 깊이(G)와의 관계에 있어서 최적값의 범위를 도출하고 있다. 이에 대하여, 도 47에서는, $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 에 있어서의 주파수 변동량이 최소가 되는 매우 바람직한 Θ 와 ψ 의 관계를 나타내고 있고, 그 근사식을 구하고 있다. 도 47에 의하면, ψ 의 각도는, Θ 의 각도 상승에 수반하여 변화하고, 3차 곡선을 그리도록 상승한다. 또한, 도 47의 예에서는, $\Theta = 117^\circ$ 로 한 경우의 ψ 는 42.79° 이고, $\Theta = 142^\circ$ 로 한 경우의 ψ 는 49.57° 이다. 이들 플로트를 근사 곡선으로서 나타내면 도 47 중 파선으로 나타내는 곡선이 되고, 근사식으로서는 식 (31)로 나타낼 수 있다.

$$\psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0$$

· · · (3 1)

[0300]

[0301] 이 점에서, ψ 는 Θ 가 정해짐으로써 정할 수 있고, Θ 의 범위를 $117^\circ \leq \Theta \leq 142^\circ$ 로 한 경우에 있어서의 ψ 의 범위는 $42.79^\circ \leq \psi \leq 49.57^\circ$ 로 할 수 있다. 또한, 시뮬레이션에 있어서의 흠 깊이(G), 전극 막두께(H)는 각각, $G=0.04\lambda$, $H=0.02\lambda$ 로 했다.

[0302] 상기와 같은 이유에 의해, 본 실시 형태에 있어서 여러 가지 정한 조건에 의해 SAW 공진자(10)를 구성하는 것에 의하면, 목표값을 충족시키는 양호한 주파수 온도 특성을 실현 가능한 SAW 공진자로 할 수 있다.

[0303] 또한, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)에서는, 식 (7)이나 도 15~도 26에 나타낸 바와 같이, 전극막의 막두께(H)를 $0 < H \leq 0.035\lambda$ 의 범위로 한 후에, 주파수 온도 특성의 개선을 도모하고 있다. 이것은, 종래와 같이 막두께(H)를 극도로 두껍게 하여 주파수 온도 특성의 개선을 도모하는 것과는 달리, 내환경 특성을 유지한 채로 주파수 온도 특성의 개선을 실현하는 것이다. 도 54에, 히트 사이클 시험에 있어서의 전극 막두께(A1 전극 막두께)와 주파수 변동과의 관계를 나타낸다. 또한, 도 54에 나타낸 히트 사이클 시험의 결과는, -55°C 분위기하에 있어서 SAW 공진자를 30분간 노출시킨 후에 분위기 온도 $+125^\circ\text{C}$ 까지 상승시켜 30분 노출시키는 사이클을 8회 계속한 후의 것이다. 도 54로부터는, 전극 막두께(H)를 0.06λ 로 하고, 그리고 전극 팽겨 간 흠을 형성하지 않는 경우에 비하여, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)의 전극 막두께(H)의 범위에서는, 주파수 변동(F변동)이, $1/3$ 이하가 되어 있는 것을 판독할 수 있다. 또한, 도 54는 어느 플로트도 $H+G=0.06\lambda$ 로 하고 있다.

[0304] 또한, 도 54와 동일 조건으로 제조된 SAW 공진자에 대해서, 125°C 분위기에 1000시간 방치하는 고온 방치 시험을 행한 결과, 종래의 SAW 공진자($H=0.06\lambda$ 그리고 $G=0$)에 비하여, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자($H=0.03\lambda$ 그리고 $G=0.03\lambda$, $H=0.02\lambda$ 그리고 $G=0.04\lambda$, $H=0.015\lambda$ 그리고 $G=0.045\lambda$, $H=0.01\lambda$ 그리고 $G=0.05\lambda$ 의 4조건)의 시험 전후의 주파수 변동량이 $1/3$ 이하가 되는 것을 확인했다.

[0305] 상기와 같은 조건 아래, $H+G=0.067\lambda$ (알루미늄 막두께 2000\AA , 흠 깊이 4700\AA), IDT의 라인 점유율(n_i)=0.6, 반사기의 라인 점유율(n_r)=0.8, 오일러각(0° , 123° , 43.5°), IDT의 쌍수 120쌍, 교차폭(40λ)($\lambda=10\mu\text{m}$), 반사기 개수(편측당) 72개(36쌍), 전극 팽거의 경사 각도 없음(전극 팽거의 배열 방향과 SAW의 위상 속도 방향이 일치)과 같은 조건으로 제조된 SAW 공진자(10)에서는, 도 48에 나타내는 바와 같은 주파수 온도 특성을 나타내게 된다.

[0306] 도 48은, 시험편 개수 $n=4$ 개에 의한 주파수 온도 특성을 플로트한 것이다. 도 48에 의하면, 이들 시험편에 의한 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량(ΔF)은 약 20ppm 이하로 억제되어 있음을 판독할 수 있다.

[0307] 본 실시 형태에서는 흠 깊이(G)나 전극 막두께(H) 등에 의한 주파수 온도 특성으로의 영향을 설명해 왔다. 그러나 흠 깊이(G)와 전극 막두께(H)를 합한 깊이(단차)는, 등가 회로 정수나 CI값 등의 정특성이나 Q값에도 영향을 준다. 예를 들면, 도 49, 단차를 $0.062\lambda \sim 0.071\lambda$ 까지 변화시킨 경우에 있어서의 단차와 CI값의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 49에 의하면 CI값은, 단차를 0.067λ 로 했을 때에 수속(收束)하고, 단차를 그 이상 크게 한 경우라도 개선되지 않는(낮아지지 않는)다는 것을 판독할 수 있다.

[0308] 도 48에 나타내는 바와 같은 주파수 온도 특성을 나타내는 SAW 공진자(10)에 있어서의 주파수와 등가 회로 정수

및, 정특성을 도 50에 정리했다. 여기에서, F 는 주파수, Q 는 Q 값, γ 는 용량비, CI 는 CI (크리스탈 임피던스: Crystal Impedance)값, M 은 성능 지수(파거 오브 메리트: Figure of Merit)를 각각 나타낸다.

[0309] 또한, 도 52에는, 종래의 SAW 공진자와, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)에 있어서의 단자와 Q 값의 관계를 비교하기 위한 그래프를 나타낸다. 또한, 도 52에 있어서는, 굵은 선으로 나타내는 그래프가 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)의 특성을 나타내는 것으로, 전극 평거 간에 홈을 형성하고, 그리고 스톱 밴드 상단 모드의 공진을 이용한 것이다. 세선(細線)으로 나타내는 그래프가 종래의 SAW 공진자의 특성을 나타내는 것으로, 전극 평거 간에 홈을 형성하지 않고 스톱 밴드 상단 모드의 공진을 이용한 것이다. 도 52로부터 분명한 바와 같이, 전극 평거 간에 홈을 형성하고, 그리고 스톱 밴드 상단 모드의 공진을 이용하면, 단자($G+H$)가 0.0407λ ($4.07\% \lambda$) 이상인 영역에 있어서, 전극 평거 간에 홈을 형성하지 않고 스톱 밴드 하단 모드의 공진을 이용한 경우보다도 높은 Q 값이 얻어진다.

[0310] 또한, 시뮬레이션에 따른 SAW 공진자의 기본 데이터는 이하와 같다.

[0311] · 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)의 기본 데이터

[0312] $H: 0.02\lambda$

[0313] $G: \text{변화}$

[0314] IDT 라인 점유율(n_i): 0.6

[0315] 반사기 라인 점유율(n_r): 0.8

[0316] 오일러각 (0° , 123° , 43.5°)

[0317] 쌍수: 120

[0318] 교차폭: 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

[0319] 반사기 개수(편측당): 60

[0320] 전극 평거의 경사 각도 없음

[0321] · 종래의 SAW 공진자의 기본 데이터

[0322] $H: \text{변화}$

[0323] $G: \text{제로}$

[0324] IDT 라인 점유율(n_i): 0.4

[0325] 반사기 라인 점유율(n_r): 0.3

[0326] 오일러각 (0° , 123° , 43.5°)

[0327] 쌍수: 120

[0328] 교차폭: 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

[0329] 반사기 개수(편측당): 60

[0330] 전극 평거의 경사 각도 없음

[0331] 이들 SAW 공진자의 특성을 비교하기 위해 도 50이나 도 52를 참조하면, 본 실시 형태에 따른 SAW 공진자(10)가, 얼마나 고 Q 화 되어 있는지를 이해할 수 있다. 이러한 고 Q 화는, 에너지 가둠 효과의 향상에 따른 것으로 생각되고, 이하의 이유에 의한다.

[0332] 스톱 밴드의 상단 모드로 여진한 탄성 표면파를 효율 좋게 에너지 가둠을 위해서는, 도 53과 같이, IDT(12)의 스톱 밴드 상단의 주파수(ft_2)를, 반사기(20)의 스톱 밴드 하단의 주파수(fr_1)와 반사기(20)의 스톱 밴드 상단의 주파수(fr_2)와의 사이에 설정하면 좋다. 즉,

$$fr_1 < ft_2 < fr_2 \quad \dots \quad (32)$$

[0333]

[0334] 의 관계를 충족시키도록 설정하면 좋다. 이에 따라, IDT(12)의 스톱 밴드 상단의 주파수(ft_2)에 있어서, 반사

기(20)의 반사 계수(Γ)가 커지고, IDT(12)로부터 여진된 스톱 밴드 상단 모드의 SAW가, 반사기(20)에서 높은 반사 계수로 IDT(12)측에 반사되게 된다. 그리고 스톱 밴드 상단 모드의 SAW의 에너지 가둠이 강해지고, 저온 실인 공진자를 실현할 수 있다.

[0335] 이에 대하여, IDT(12)의 스톱 밴드 상단의 주파수(ft_2)와 반사기(20)의 스톱 밴드 하단의 주파수(fr_1), 반사기(20)의 스톱 밴드 상단의 주파수(fr_2)와의 관계를 $ft_2 < fr_1$ 의 상태나 $fr_2 < ft_2$ 의 상태로 설정해 버리면, IDT(12)의 스톱 밴드 상단 주파수(ft_2)에 있어서 반사기(20)의 반사 계수(Γ)가 작아져 버리고, 강한 에너지 가둠 상태를 실현하는 것이 곤란하게 되어 버린다.

[0336] 여기에서, 식 (32)의 상태를 실현하기 위해서는, 반사기(20)의 스톱 밴드를 IDT(12)의 스톱 밴드보다도 고역측으로 주파수 시프트할 필요가 있다. 구체적으로는, IDT(12)의 전극 팽거(18)의 배열 주기보다도, 반사기(20)의 도체 스트립(22)의 배열 주기를 작게 함으로써 실현할 수 있다. 또한, 다른 방법으로서는, IDT(12)의 전극 팽거(18)로서 형성된 전극막의 막두께보다도 반사기(20)의 도체 스트립(22)으로서 형성된 전극막의 막두께를 얇게하거나, IDT(12)의 전극 팽거 간 홈의 깊이보다도 반사기(20)의 도체 스트립간 홈의 깊이를 얕게 함으로써 실현할 수 있다. 또한, 이들 수법을 복수 조합하여 적용해도 좋다.

[0337] 또한, 도 50에 의하면, 고Q화 외에, 높은 피겨 오브 메리트(M)를 얻을 수 있게 되어 있다고 할 수 있다. 또한, 도 51은, 도 50을 얻은 SAW 공진자에 있어서의 임피던스(Z)와 주파수와의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 51로부터는, 공진점 부근에 쓸모없는 스펜리어스(spurious response)가 존재하고 있지 않는 것을 판독할 수 있다.

[0338] 이상, 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 SAW 공진자는, 도 48에서 나타내는 바와 같이 동작 온도 범위(사용 온도 범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$) 내에 변곡점을 갖고 있기 때문에, 3차 곡선 또는 3차 곡선에 가까운 주파수 변동량이 매우 작은, 약 20 ppm 이하라는 주파수 온도 특성을 실현할 수 있었다.

[0339] 도 56(A)는, 일본공개특허공보 2006-203408호에 개시되어 있는 SAW 공진자의 주파수 온도 특성을 나타내는 그래프이다. 주파수 온도 특성이 3차 곡선을 나타내고 있지만, 보이는 바와 같이 변곡점이 동작 온도 범위(사용 온도 범위: $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$)를 초과한 영역에 존재하고 있기 때문에, 실질적으로는 도 56(B)에 나타내는 바와 같이 위에 불록한 정점을 갖는 2차 곡선이 된다. 이 때문에, 주파수 변동량은 100(ppm)이라는 매우 큰 값으로 되어 있다.

[0340] 그에 대하여, 본 발명에 따른 SAW 공진자는, 동작 온도 범위 내에서 3차 곡선 또는 3차 곡선에 가까운 주파수 변동량으로 하여, 주파수 변동량을 비약적으로 작게 하는 것을 실현한 것이다. IDT 및 반사기에 보호막을 피복한 SAW 공진자에 있어서의 동작 범위 내의 주파수 변동량의 변화에 대해서, 도 57 및, 도 58에 나타낸다.

[0341] 도 57에 나타내는 예는, 전극에 대하여 보호막으로서의 알루미나를 피막한 경우에 있어서의 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량을 나타내는 도면이다. 도 57에 의하면, 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량은, 10(ppm) 이하로 할 수 있는 것을 판독할 수 있다.

[0342] · 도 57에 나타내는 예에 따른 SAW 공진자의 기본 데이터

[0343] H(재질: 알루미늄): 2000(Å)

[0344] G: 4700(Å)

[0345] ($H+G=0.067\lambda$)

[0346] IDT 라인 점유율(n_i): 0.6

[0347] 반사기 라인 점유율(n_r): 0.8

[0348] 오일리각 (0° , 123° , 43.5°)의 면내 회전 ST-커트 기판

[0349] 쌍수: 120

[0350] 교차폭: 40λ ($\lambda = 10(\mu\text{m})$)

[0351] 반사기 개수(편측당): 36

[0352] 전극 팽거의 경사 각도 없음

[0353] 보호막(알루미나)의 막두께 400(Å)

[0354] 2차 온도 계수(β) = +0.0007(ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ²)

[0355] 도 58에 나타내는 예는, 전극에 대하여 보호막으로서의 SiO₂를 피막한 경우에 있어서의 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량을 나타내는 도면이다. 도 58에 의하면, 동작 온도 범위 내에 있어서의 주파수 변동량은, 20(ppm) 이하로 할 수 있는 것을 관찰할 수 있다.

[0356] · 도 58에 나타내는 예에 따른 SAW 공진자의 기본 데이터

[0357] H(재질: 알루미늄): 2000(Å)

[0358] G: 4700(Å)

[0359] (H+G=0.067 λ)

[0360] IDT 라인 점유율(n_i): 0.6

[0361] 반사기 라인 점유율(n_r): 0.8

[0362] 오일러각 (0° , 123° , 43.5°)의 면내 회전 ST-커트 기판

[0363] 쌍수: 120

[0364] 교차폭: 40λ ($\lambda = 10(\mu\text{m})$)

[0365] 반사기 개수(편측당): 36

[0366] 전극 평거의 경사 각도 없음

[0367] 보호막(SiO₂)의 막두께 400(Å)

[0368] 2차 온도 계수(β) = +0.0039(ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ²)

[0369] 본원 발명자는, 전술한 바와 같이 설계된 G 및 H에 대하여 라인 점유율(n_l)을 조정함으로써, 2차 온도 계수(β)의 절대값을 0.01ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ² 이하로 하는 것이 가능한 점에 대해서 언급했다. 한편, 스톱 밴드의 상단 모드로 여진시킨 경우에 있어서, 라인 점유율(n_l)에 변동이 발생한 경우에, 탄성 표면파의 주파수 온도 특성이 변동하는 것을 본원 발명자는 발견했다. 탄성 표면파 공진자를 복수 제조하는 경우에, 모든 탄성 표면파 공진자를 소망하는 설계 라인 점유율에 일치시키는 것은 곤란하고, 설계 라인 점유율과는 상이한 라인 점유율인 것이 제조되는 경우가 있다. 이때, 그 라인 점유율의 설계 라인 점유율로부터의 변동량은 일정하게 되지는 않고 라인 점유율에 불균일이 발생한다. 따라서, 탄성 표면파 공진자를 복수 제조한 경우는, 탄성 표면파의 주파수 온도 특성에 불균일이 발생하게 된다. 따라서, 이를 원인에 의해 탄성 표면파 소자의 동작 온도 범위에 있어서의 주파수 편차에 불균일을 발생시켜, 탄성 표면파 공진자의 수율을 저하시키는 원인이 되는 것을 본원 발명자는 발견했다.

[0370] 또한, 전술한 바와 같이, 라인 점유율(n_l)에 불균일이 발생한 경우의 1차 온도 계수의 변동량이 최소가 될 때의 라인 점유율(n_l)과, 2차 온도 계수(β)가 최소($-0.01 \leq \beta \leq 0.01$)가 되는 라인 점유율(n_l)의 값이 서로 일치하지 않는 것도 본원 발명자는 발견했다. 그래서 제2 실시 형태에 있어서는, 2차 온도 계수(β)의 값을 전술한 범위로 억제함과 함께, 동작 온도 범위의 주파수 온도 특성에 있어서 지배적으로 작용하는 1차 온도 계수의 변동량을 최소로 하는 것이 가능한 SAW 디바이스에 대해서 설명한다.

[0371] 도 59에 제2 실시 형태에 따른 SAW 공진자의 모식도를 나타낸다. 또한 도 59에 있어서, 도 59(A)는 제2 실시 형태의 SAW 공진자의 평면도이고, 도 59(B)는 부분 확대 단면도, 도 59(C)는 도 59(B)에 있어서의 상세를 설명하기 위한 확대도, 도 59(D)는 도 59(C)의 부분 확대도에 관한 것으로, 본 발명에 따른 SAW 공진자를 포토리소그래피 기법과 애칭 기법을 이용하여 제조했을 때에 상정할 수 있는 단면 형상으로서, 단면 형상이 직사각형이 아닌 사다리꼴 형상으로 된 경우에 있어서의, IDT 전극 평거의 실효 라인 점유율(n_{eff})의 특정 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0372] 제2 실시 형태의 SAW 공진자의 기본적 구성은, 제1 실시 형태의 SAW 공진자(10)와 유사하다. 즉, SAW 공진자(110)는, 수정 기판(30)과, 수정 기판 상에 형성된 IDT(112)와, IDT(112)의 양측에 형성된 반사기(120)를 갖는 구성이다. 그리고 IDT(112)는, 탄성 표면파(파장λ)가 전파되는 방향에 대하여, 수직인 방향으로 연장하고, 그

리고 서로 교차하는 빗살 형상 전극(114a, 114b)에 의해 형성되어 있다. 그리고 빗살 형상 전극(114a)은, 탄성 표면파의 전파 방향으로 등간격(λ)으로 나열하여 배치된 복수의 전극 평거(118a)와, 복수의 전극 평거(118a)를 병렬로 접속하는 버스바(116a)에 의해 구성된다. 마찬가지로 빗살 형상 전극(114b)은, 탄성 표면파의 전파 방향으로 등간격(λ)으로 나열하여 배치된 복수의 전극 평거(118b)와, 복수의 전극 평거(118b)를 병렬로 접속하는 버스바(116b)에 의해 구성된다. 따라서 전극 평거(118a), 전극 평거(118b)는 탄성 표면파의 전파 방향에 교대로 등간격($\lambda/2$)으로 배치된다. 그리고 반사기(120)는, 탄성 표면파의 전파 방향으로 등간격($\lambda/2$)으로 배치된 도체 스트립(122)을 갖는다. 그리고 SAW 공진자(110)는, 스톱 밴드 상단 모드에 의해 탄성 표면파를 여진한다.

[0373] 제1 실시 형태에 있어서는, 전극 평거 간 흄(32)에 의해 형성되는 볼록부(34)와 전극 평거(18a, 18b)의 탄성 표면파의 전파 방향의 폭은 일치하고 있다. 그러나, 본 실시 형태에 있어서는, 전극 평거 간 흄(32)에 의해 형성되는 볼록부(34) 상의 전극 평거(118a, 118b)의 탄성 표면파의 전파 방향의 폭은, 볼록부의 탄성 표면파의 전파 방향의 폭보다 좁아지고 있는 점에서 상위하다. 그리고 전극 평거(118a, 118b)의 탄성 표면파의 전파 방향의 양단은, 평면에서 볼 때 볼록부(34)의 탄성 표면파의 전파 방향의 양단보다 내측에 배치되어 있다. 따라서, 볼록부(34)의 탄성 표면파의 전파 방향의 양단은, 전극 평거(118a, 118b)로 덮이지 않고 노출된 상태로 되어 있다. 그리고 동일한 구성은 IDT(112)의 양단에 배치된 반사기(120)에도 형성되어 있다.

[0374] 도 59(C)에 있어서, 볼록부(34)의 탄성 표면파의 전파 방향의 폭을 L_g 로 하고, 전극 평거(118a, 118b)의 탄성 표면파의 전파 방향의 폭을 L_e 로 하면,

$$L_g > L_e \dots (3\ 3)$$

[0375]

[0376] 가 된다. 이에 따라, 제1 실시 형태와 비교하여, 전극 평거(118a, 118b)로부터 발산되는 전기력선을 볼록부(34)가 취입하는 양(입체각)이 증가하기 때문에, 탄성 표면파의 여진 효율을 향상시켜, SAW 공진자(110)의 손실을 저감시킬 수 있다.

[0377] 그런데, 제1 실시 형태의 SAW 공진자(10)에서는, 폭(L)의 볼록부(34) (도 1 참조)의 양단의 두께(G) 방향의 단차가 시작되는 부분에서 탄성 표면파가 반사된다. 그리고 라인 점유율(η)은, L 을 조정함으로써 조정되기 때문에, 탄성 표면파의 반사 위치를 조정함으로써 2차 온도 계수(β)를 최소로 할 수 있다. 또한, 1차 온도 계수의 변동량은, 볼록부(34)의 라인 점유율(η)에 의존하기 때문에, 이 값을 조정함으로써 1차 온도 계수의 변동량을 최소로 할 수 있다. 그러나, 이 라인 점유율(η)에 대응하는 볼록부(34)의 폭도 L 이 되기 때문에, 제1 실시 형태의 구성에서는, 2차 온도 계수(β)를 최소로 하는 라인 점유율(η)과, 1차 온도 계수의 변동량을 최소로 하는 라인 점유율(η)을 동시에 특정하는 것은 곤란하다.

[0378] 한편, 제2 실시 형태의 SAW 공진자(110)에 있어서, 폭(L_g)의 볼록부(34)의 양단의 두께(G) 방향의 단차가 시작되는 부분과, 폭(L_e)의 전극 평거(118a, 118b)의 양단의 두께(H)가 시작되는 부분에서 탄성 표면파가 반사된다. 따라서, 제2 실시 형태에서는 전극 평거(118a, 118b)는,

$$L_{eff} = \frac{L_g + L_e}{2} \dots (3\ 4)$$

[0379]

[0380] 를 실효폭으로 하고, 그 양단 위치에서 탄성 표면파를 반사하는 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 이때의 실효 라인 점유율(η_{eff})은, 볼록부(34)의 라인 점유율을 $\eta_g (=L_g/P)$, 전극 평거(118a, 118b)의 라인 점유율을 $\eta_e (=L_e/P)$ 로 하면,

$$\eta_{eff} = \frac{\eta_g + \eta_e}{2} \dots (3\ 5)$$

[0381]

[0382] 가 된다. 이 때,

$$\eta_g > \eta_e \dots (36)$$

[0383]

[0384] 가 된다. 따라서, 이 η_{eff} 를 조정함으로써 2차 온도 계수를 조정할 수 있다. 한편, 1차 온도 계수의 변동량은, η_g 에 의해 조정할 수 있다. 따라서, η_{eff} 를 조정함으로써 2차 온도 계수를 조정하고, η_g 를 조정함으로써 1차 온도 계수의 변동량을 조정할 수 있다.

[0385]

또한, 도 59(D)와 같이, 전극 평거(119) 및, 볼록부(135)의 폭방향의 양측면이 경사지고, 단면이 사다리꼴 형상이 되어 있는 경우는, 전극 평거(119)의 두께 방향의 하단의 폭을 Leb, 상단의 폭을 Let로 한다. 그리고 볼록부(135)의 두께 방향의 하단의 폭을 Lgb, 상단의 폭을 Lgt로 한다. 이때,

$$\begin{cases} L_{eb} > L_{et} \\ L_{gb} > L_{gt} \\ L_{gt} > L_{eb} \end{cases} \dots (37)$$

[0386]

[0387] 이다. 이 때, Le, Lg는,

$$\begin{cases} L_e = \frac{L_{et} + L_{eb}}{2} \\ L_g = \frac{L_{gt} + L_{gb}}{2} \end{cases} \dots (38)$$

[0388]

[0389] 라고 정의한다.

[0390]

본원 발명자는, 제1 실시 형태와 같이 전극 평거의 폭(Le)과 볼록부의 폭(Lg)이 일치하는 경우(타입 1)와, 제2 실시 형태와 같이 Lg>Le가 되는 경우(타입 2)의 주파수 편차, CI값, 1차 온도 계수의 변동량을 조사했다.

[0391]

본 조사에 이용한 SAW 디바이스는, 타입 1, 타입 2 모두, 오일러각 ($\phi = 0^\circ$, $\Theta = 123$, $\Psi = 44^\circ$), $G = 0.046\lambda$, $H = 0.021\lambda$ 로 하고, 또한 IDT 전극의 쌍수를 210쌍, IDT 전극의 양단에 있는 반사기의 개수를 편측당 94개로 했다.

[0392]

우선, 예 1로서, 타입 1에서는 전극 평거의 라인 점유율(η_e)을 0.64, 볼록부(34)(도 1 참조)의 라인 점유율(η_g)을 0.64로 하고, 이에 따라 라인 점유율(η)을 0.64로 했다. 타입 2에서는 η_e 를 0.57, η_g 를 0.71로 하고, 실효 라인 점유율(η_{eff})을 0.64로 했다.

[0393]

다음으로, 예 2로서, 타입 1에서는 전극 평거(118a, 118b)의 라인 점유율(η_e)을 0.66, 볼록부(134)의 라인 점유율(η_g)을 0.66으로 하고, 이에 따라 라인 점유율(η)을 0.66으로 했다. 타입 2에서는, η_e 를 0.59, η_g 를 0.73으로 하고, 실효 라인 점유율(η_{eff})을 0.66으로 했다. 즉, 어느 예에 있어서도, 타입 2의 η_{eff} 는, 타입 1의 η 의 값을 유지하면서, $\eta_g > \eta_e$ 가 되도록 조정하고 있다. 또한, CI값에 대해서는 각 타입의 샘플을 다수(1784개) 준비하고, 그 평균값을 산출했다.

[0394]

도 60에 예 1에 있어서의 타입 1과 타입 2의 주파수 온도 특성을 나타내고, 도 61에 예 2에 있어서의 타입 1과 타입 2의 주파수 온도 특성을 나타낸다. 도 60에 나타내는 바와 같이, 예 1에서는, 타입 1, 타입 2 모두 변곡점이 되는 온도(기준 온도)가 약 25°C가 되는 3차 함수적인 곡선을 그리고 있다. 또한, 도 61에 나타내는 바와 같이, 예 2에서는, 타입 1, 타입 2 모두 변곡점이 되는 온도(기준 온도)가 약 40°C가 되는 3차 함수적인 곡선을 그리고 있다. 따라서 예 1, 예 2에 있어서, 타입 1, 타입 2는 모두 2차 온도 계수(β)는 매우 작은 값으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

[0395]

도 60에 나타내는 바와 같이, 예 1에 있어서, 타입 1, 타입 2 모두, -40°C ~ +85°C에 있어서의 주파수 편차는 12ppm임과 함께, 동일한 곡선 형상을 갖고 있다. 그리고 도 61에 나타내는 바와 같이, 예 2에 있어서, 타입 1의 주파수 편차는 18ppm이고, 타입 2의 주파수 편차는 16ppm이다. 따라서, 타입 1로부터 타입 2로 변형시켜도, 타입 2의 η_{eff} 가 타입 1의 η (η_g)의 값을 유지하는 한, 타입 2는 타입 1의 주파수 온도 특성을 유지하는 것을 알 수 있다.

[0396] 또한 예 1에서는, 타입 1의 CI값은 23.8Ω이었지만, 타입 2에 있어서는 20.1Ω으로 개선되어 있다. 또한 예 2에서는, 타입 1의 CI값은 22.4Ω이었지만, 타입 2에서는 19.2Ω으로 개선되어, 예 1, 예 2의 타입 2에 있어서 저손실인 SAW 공진자를 실현하고 있다. 이것은 전술한 바와 같이, 전극 평거로부터 발생하는 전기력선을 볼록부가 내다보는 입체각이, 타입 1과 비교하여 타입 2쪽이 커지고, 여전 효율이 높아졌기 때문이라고 생각할 수 있다.

[0397] 다음으로, 타입 1, 타입 2의 1차 온도 계수의 변동량의 변화를 조사했다. 도 62에 타입 1의 라인 점유율(η)을 0.01 변화시켰을 때의 1차 온도 계수의 변동량의 변화를 나타내고, 도 63은 타입 2의 실효 라인 점유율(η_{eff})을 0.01 변화시켰을 때의 1차 온도 계수의 변동량의 변화를 나타낸다. 본 조사에 이용한 SAW 디바이스는, 타입 1, 타입 2 모두, 오일러각 ($\phi = 0^\circ$, $\Theta = 123$, $\psi = 44^\circ$), $G = 0.045\lambda$, $H = 0.02\lambda$ 로 했다.

[0398] 도 62에 나타내는 바와 같이, 타입 1에 있어서는 η (또는 η_g)를 0.60으로부터 상승시키면 단조 감소하고, 0.70에서 1차 온도 계수의 변동량의 극소값이 되어, 0.70 이상에서 단조 증가가 된다.

[0399] 한편, 도 63에 나타내는 바와 같이, 타입 2에 있어서는 η_{eff} 를 0.53으로부터 상승시키면 1차 온도 계수의 변동량은 단조 감소하고, 0.63에서 극소값이 되어, 0.63 이상에서 단조 증가가 된다.

[0400] 전술한 바와 같이, 예 1의 타입 1 및 타입 2는, 도 60에 나타내는 바와 같이, 12ppm이라는 양호한 주파수 편차를 갖고 있다. 그러나, 타입 1에 있어서는, 도 62에 나타내는 바와 같이, η (또는 η_g)가 0.64일 때에는, 1차 온도 계수의 변동량이 0.6ppm/°C로 되어 있다. 따라서, 라인 점유율(η)(η_g)의 불균일에 의한, 1차 온도 계수의 불균일(즉, 주파수 온도 특성의 불균일)이 현저해진다. 한편, 타입 2에 있어서는, 도 63의 플로트로부터 근사 곡선을 생성하여, 근사 곡선상의 $\eta_{eff} = 0.64$ 를 추출하면, 1차 온도 계수의 변동량이 0.2 정도가 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 도 63으로부터,

$$0.58 < \eta_{eff} < 0.73 \quad \dots \quad (39)$$

[0401]

[0402] 로 함으로써, 1차 온도 계수의 변동량을 0.6ppm/°C 이하로 억제할 수 있는 것을 알 수 있다.

[0403] 또한, 예 1의 타입 1, 타입 2의 샘플을 다수(1784개) 준비하고, 1차 온도 계수의 불균일 및, 25°C에 있어서의 공진 주파수의 불균일을 조사했다. 그 결과 타입 1의 1차 온도 계수의 불균일의 크기를 1로 하면, 타입 2의 1차 온도 계수의 불균일의 크기는 0.2로까지 개선되고 있다. 전술한 바와 같이, 타입 1에 있어서는 볼록부(34) (도 1 참조)의 라인 점유율(η_g)이 0.64이고, 도 62에 의해, 1차 온도 계수의 변동량이 0.6ppm/°C이다. 한편, 타입 2에 있어서는, 볼록부(134)의 라인 점유율(η_g)이 0.71이고, 도 62의 플로트로부터 근사 곡선을 생성하여, 근사 곡선상의 $\eta_g = 0.71$ 을 추출하면, 1차 온도 계수의 변동량이 0.1ppm/°C 정도라고 확인할 수 있다. 그리고, 1차 온도 계수의 불균일은 1차 온도 계수의 변동량에 비례하기 때문에, 이러한 개선이 보여졌다고 생각할 수 있다. 또한, 25°C에 있어서의 공진 주파수의 불균일도, 타입 1에 있어서 그 크기를 1로 하면, 타입 2에서는 그 크기가 0.5로까지 개선되어 있다.

[0404] 또한, 전술한 점에서, 타입 2는 η_{eff} 의 값과 일치하는 η 를 갖는 타입 1의 주파수 온도 특성을 유지한 것으로 되어 있다. 따라서, 전술한 횡축을 η 로 하는 모든 도면에 있어서 η 를 η_{eff} 로 치환하여 생각할 수 있다. 따라서, η_{eff} 를, 식 (39)의 범위에 포함시키고, 그리고 도 13(B)에 있어서 알파벳 순으로 연결하여 일순(一巡)하는 선에 둘러싸인 범위, 즉 전술한 식 (3), 식 (5), 식 (6)을 충족시키는 범위로 설계함으로써, 1차 온도 계수의 변동량을 억제하여 SAW 공진자(110)의 동작 온도 범위에 있어서의 주파수 편차의 불균일을 억제함과 함께, 2차 온도 계수(β)의 절대값을 0.01(ppm/°C²) 이하로 억제할 수 있다.

[0405] 또한, η_{eff} 를 식 (39)의 범위에 포함시키고, 그리고 도 27(A) ($0 < H \leq 0.005\lambda$), 도 28(A) ($0.005\lambda < H \leq 0.010\lambda$), 도 29(A) ($0.010\lambda < H \leq 0.015\lambda$), 도 30(A) ($0.015\lambda < H \leq 0.020\lambda$), 도 31(A) ($0.020\lambda < H \leq 0.025\lambda$), 도 32(A) ($0.025\lambda < H \leq 0.030\lambda$), 도 33(A) ($0.030\lambda < H \leq 0.035\lambda$)에 있어서, 도면 중의 평면 좌표(G/λ , η_{eff})에 나타난 각 점을 알파벳 순으로 연결하여 일순하는 선에 둘러싸인 범위에 각각 포함되는 범위로 설정한다. 이에 따라, 1차 온도 계수의 변동량을 억제하여, 주파수 온도 특성의 불균일, 즉 SAW 공진자(110)의 동작 범위에 있어서의 주파수 편차의 불균일을 억제함과 함께, 전극 평거의 막두께(H)에 대응하여, 2차 온도 계수(β)의 절대값을 0.01(ppm/°C²) 이하로 억제할 수 있다.

[0406] 상기 실시 형태에서는, SAW 공진자(10)를 구성하는 IDT(12), SAW 공진자(110)를 구성하는 IDT(112)는 모든 전극

평거가 교대로 교차하고 있도록 나타냈다. 그러나, 본 발명에 따른 SAW 공진자(10), SAW 공진자(110)는, 그 수 정 기판에만 의해서도 상당한 효과를 나타낼 수 있다. 이 때문에, IDT(12)에 있어서의 전극 평거(18) 및, IDT(112)에 있어서의 전극 평거(118a, 118b)를 속아낸 경우라도, 동일한 효과를 나타낼 수 있다.

[0407] 또한, 제1 실시 형태에 있어서, 흄(32)은, 전극 평거(18) 간이나 반사기(20)의 도체 스트립(22) 간에 부분적으로 형성하도록 해도 좋다. 특히, 진동 범위가 높은 IDT(12)의 중앙부는 주파수 온도 특성에 지배적인 영향을 주기 때문에, 그 부분에만 흄(32)을 형성하는 구조로 해도 좋다. 이러한 구조라도, 주파수 온도 특성이 양호한 SAW 공진자(10)로 할 수 있다.

[0408] 또한, 상기 실시 형태에서는, 전극막으로서 AI 또는 AI을 주체로 하는 합금을 이용하는 취지를 기재했다. 그러나, 상기 실시 형태와 동일한 효과를 나타낼 수 있는 금속이면, 다른 금속 재료를 이용하여 전극막을 구성해도 좋다. 또한 전극막 상에 SiO₂나 알루미나 등의 보호막을 형성해도 좋다.

[0409] 또한, 상기 실시 형태는 IDT를 하나만 형성한 1단자쌍 SAW 공진자이지만, 본 발명은 IDT를 복수 형성한 2단자쌍 SAW 공진자에도 적용 가능하고, 세로 결합형이나 가로 결합형의 이중 모드 SAW 필터나 다중 모드 SAW 필터에도 적용 가능하다.

[0410] 다음으로, 본 발명에 따른 SAW 발진기에 대해서, 도 55를 참조하여 설명한다. 본 발명에 따른 SAW 발진기는 도 55에 나타내는 바와 같이, 전술한 SAW 공진자(10)(SAW 공진자(110))와, 이 SAW 공진자(10)(SAW 공진자(110))의 IDT(12)에 전압을 인가하여 구동 제어하는 회로가 되는 IC(integrated circuit)(50)와, 이들을 수용하는 패키지로 이루어진다. 또한, 도 55에 있어서, 도 55(A)는 리드를 제거한 평면도이고, 도 55(B)는, 도 55 (A)에 있어서의 A-A단면을 나타내는 도면이다.

[0411] 실시 형태에 따른 SAW 발진기(100)에서는, SAW 공진자(10)와 IC(50)를 동일한 패키지(56)에 수용하고, 패키지(56)의 바닥판(56a)에 형성된 전극 패턴(54a~54g)과 SAW 공진자(10)의 빗살 형상 전극(14a, 14b) 및, IC(50)의 패드(52a~52f)를 금속 와이어(60)에 의해 접속하고 있다. 그리고, SAW 공진자(10)(SAW 공진자(110))와 IC(50)를 수용한 패키지(56)의 캐비티는, 리드(58)에 의해 기밀하게 봉지되어 있다. 이러한 구성으로 함으로써, IDT(12)(도 1 참조)와 IC(50) 및, 패키지(56)의 바닥면에 형성된 도시하지 않은 외부 실장 전극을 전기적으로 접속할 수 있다.

[0412] 따라서, 최근의 정보 통신의 고속화에 의한 레퍼런스 클럭(reference clock)의 고주파화에 더하여, 블레이드 서버(blade server)를 비롯한 케이스체의 소형화에 수반하여, 내부 벌렬의 영향이 커지고, 내부에 탑재되는 전자 디바이스에 요구되는 동작 온도 범위의 확대나 고정밀화의 요구, 나아가서는, 옥외에 설치되는 무선 기지국 등 저온으로부터 고온의 환경에 있어서, 장기에 걸쳐 안정된 동작이 필요하게 되어 있는 시장에 있어서, 본 발명에 따른 SAW 발진기는, 동작 온도 범위(사용 온도 범위: -40°C ~ +85°C)에서 주파수 변동량이 약 20(ppm) 이하라는 매우 양호한 주파수 온도 특성을 갖고 있기 때문에 적합하다.

[0413] 또한, 본 발명에 따른 SAW 공진자 혹은 해당 SAW 공진자를 구비한 SAW 발진기는 주파수 온도 특성의 대폭적인 개선을 실현하고 있기 때문에, 예를 들면, 휴대 전화, 하드 디스크, 퍼스널 컴퓨터, BS 및 CS 방송을 수신하는 튜너, 동축 케이블 중을 전파하는 고주파 신호 또는 광케이블 중을 전파하는 광신호를 처리하는 기기, 넓은 온도 범위에서 고주파·고정밀도 클락(저(低)지터, 저위상 잡음)이 필요로 되는 서버·네트워크 기기나 무선 통신 용 기기 등의 전자 기기에 있어서, 매우 양호한 주파수 온도 특성과 함께, 지터 특성, 위상 노이즈 특성이 우수한 제품을 실현하는 것에 크게 기여하여, 더 나은 시스템의 신뢰성과 품질의 향상에 크게 공헌하는 것은 말할 필요도 없다.

부호의 설명

[0414] 10 : 탄성 표면파 공진자(SAW 공진자)

12 : IDT

14a, 14b : 빗살 형상 전극

16a, 16b : 버스바

18a, 18b : 전극 평거

20 : 반사기

22 : 도체 스트립

30 : 수정 기판

32 : 흠

34 : 볼록부

110 : 탄성 표면과 공진자(SAW 공진자)

112 : IDT

114a, 114b : 뱃살 형상 전극

116a, 116b : 버스바

118a, 118b : 전극 팽거

119 : 전극 팽거

120 : 반사기

122 : 도체 스트립

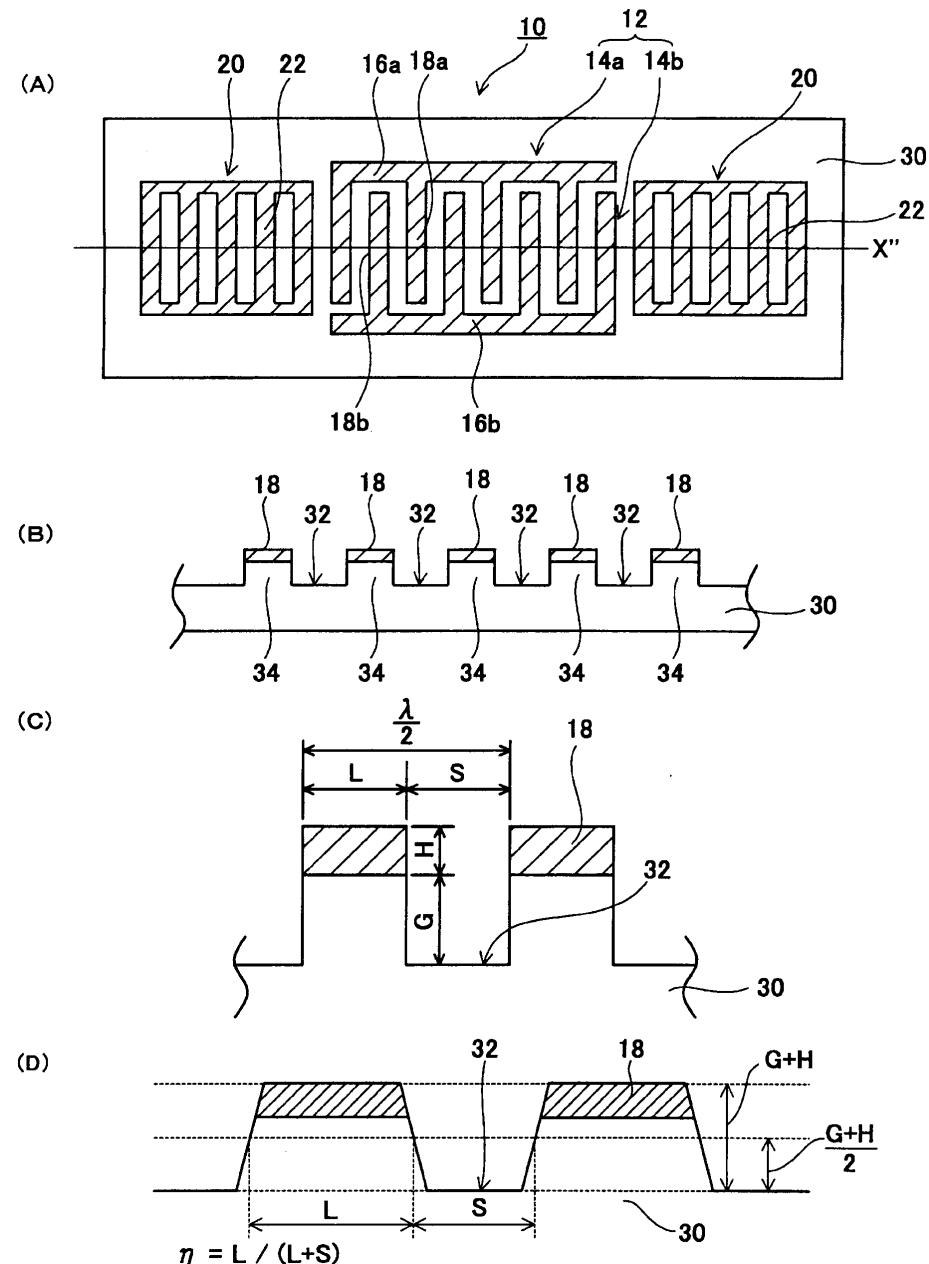
132 : 흠

134 : 볼록부

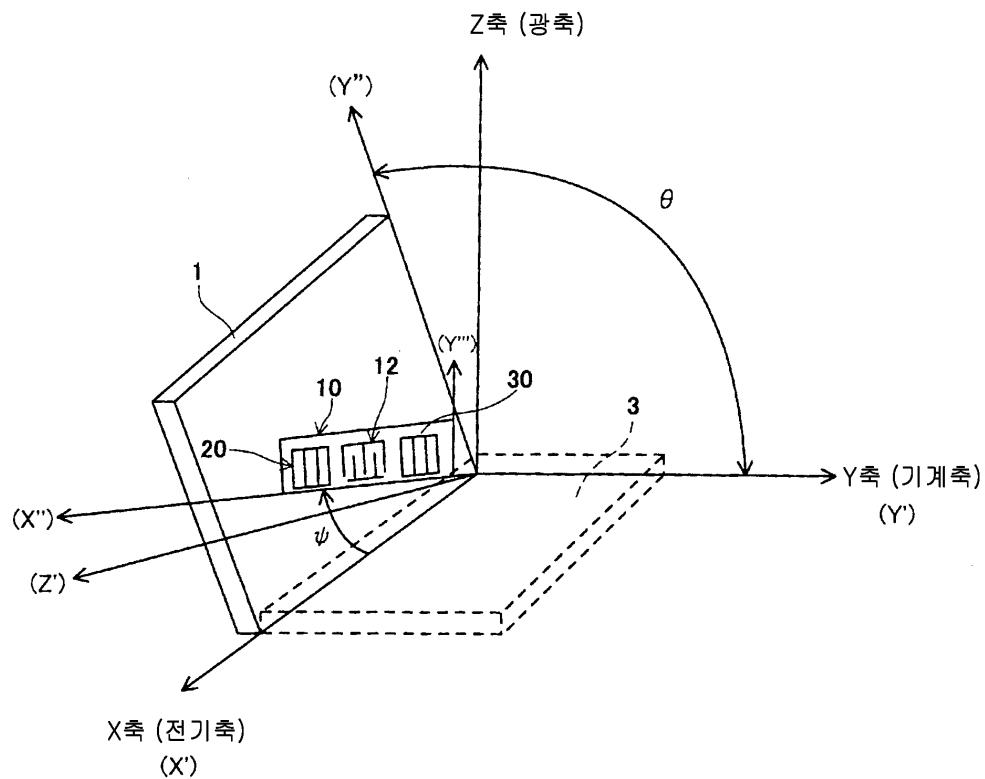
135 : 볼록부

도면

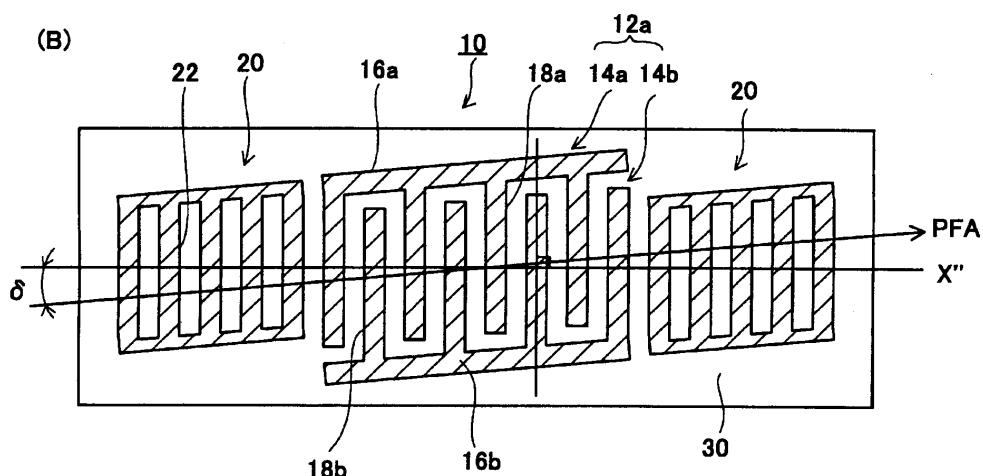
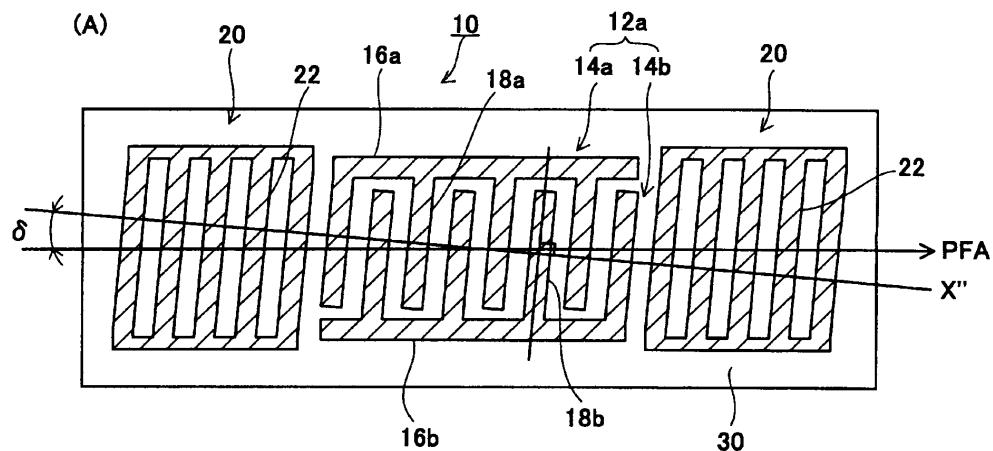
도면1



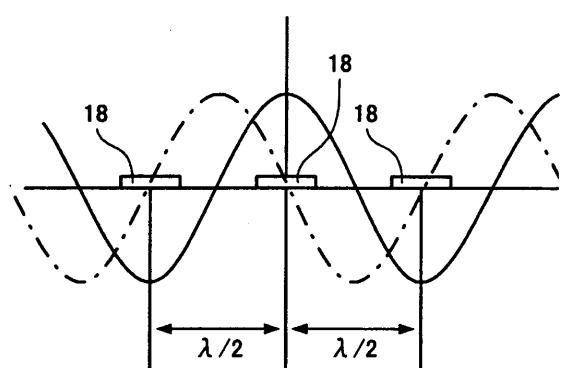
도면2



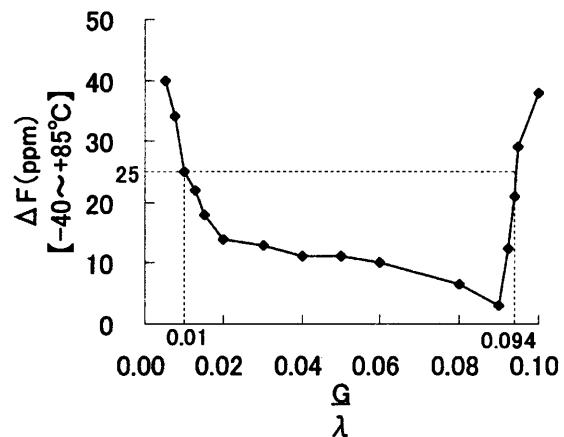
도면3



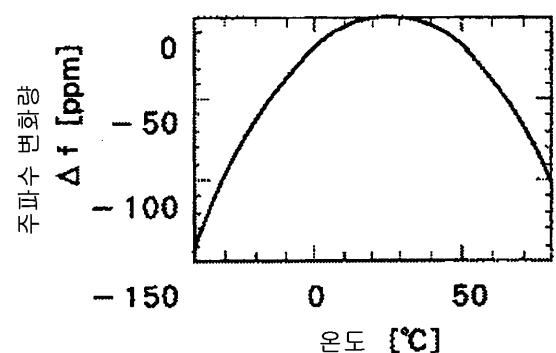
도면4



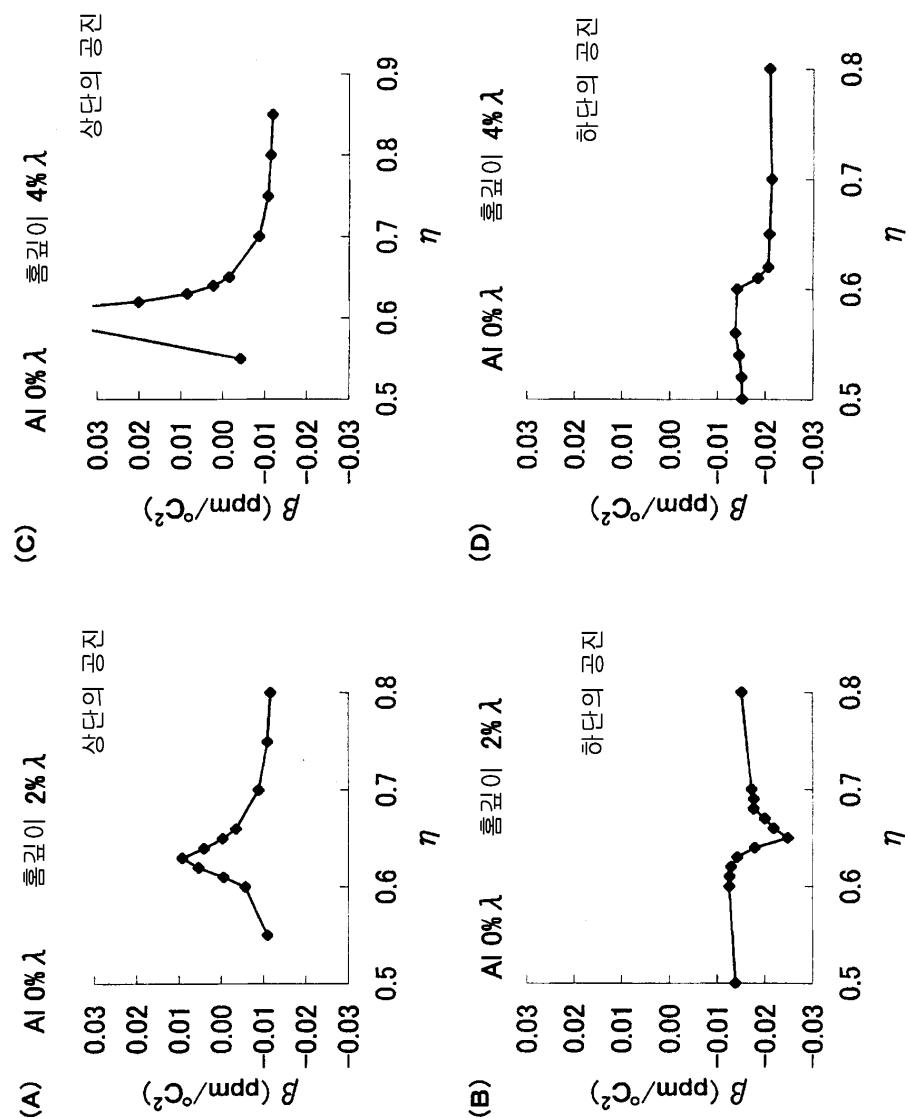
도면5



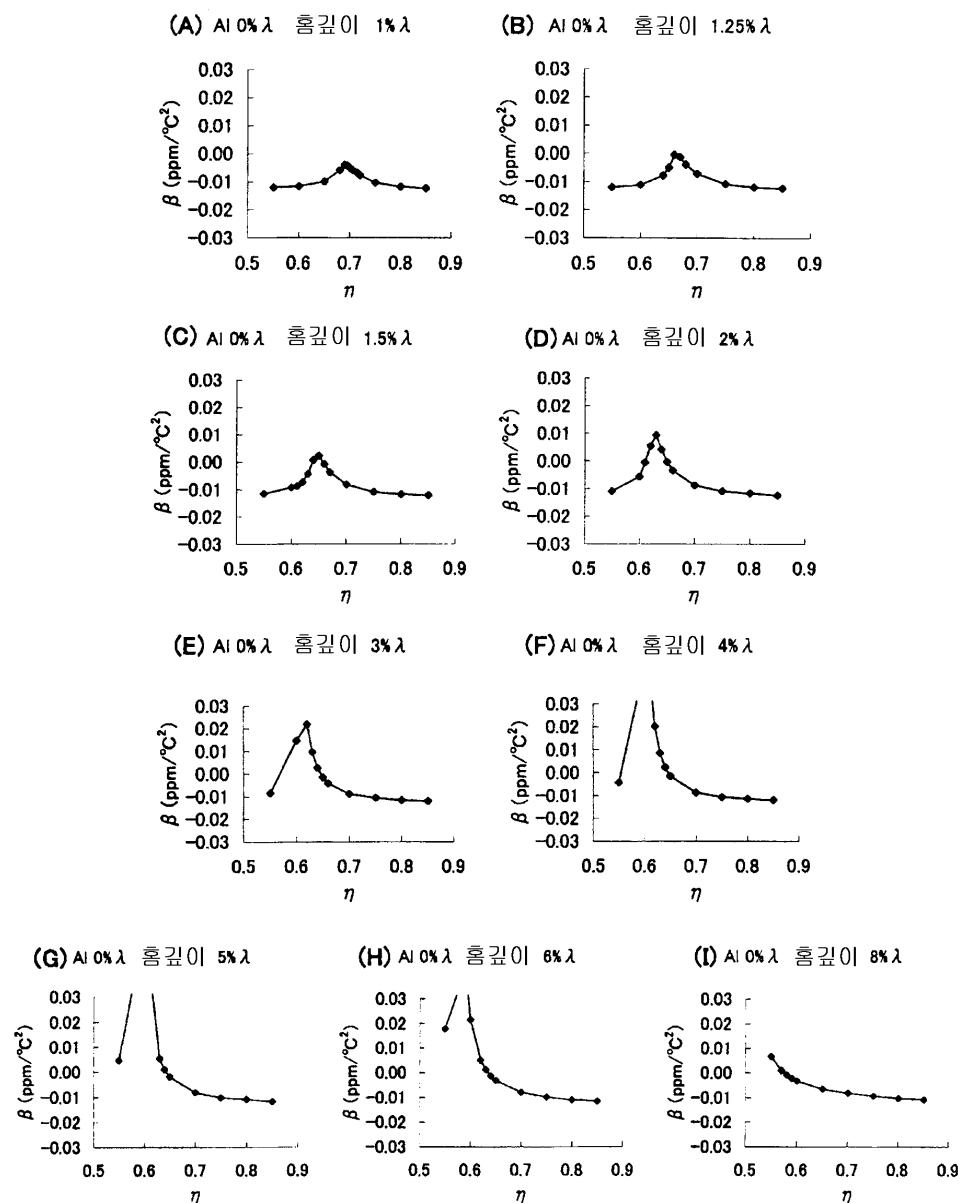
도면6



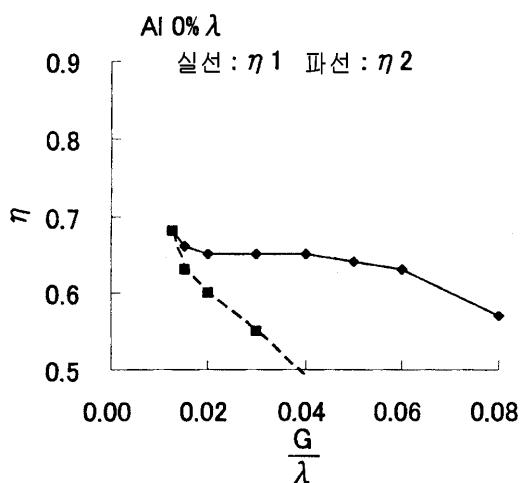
도면7



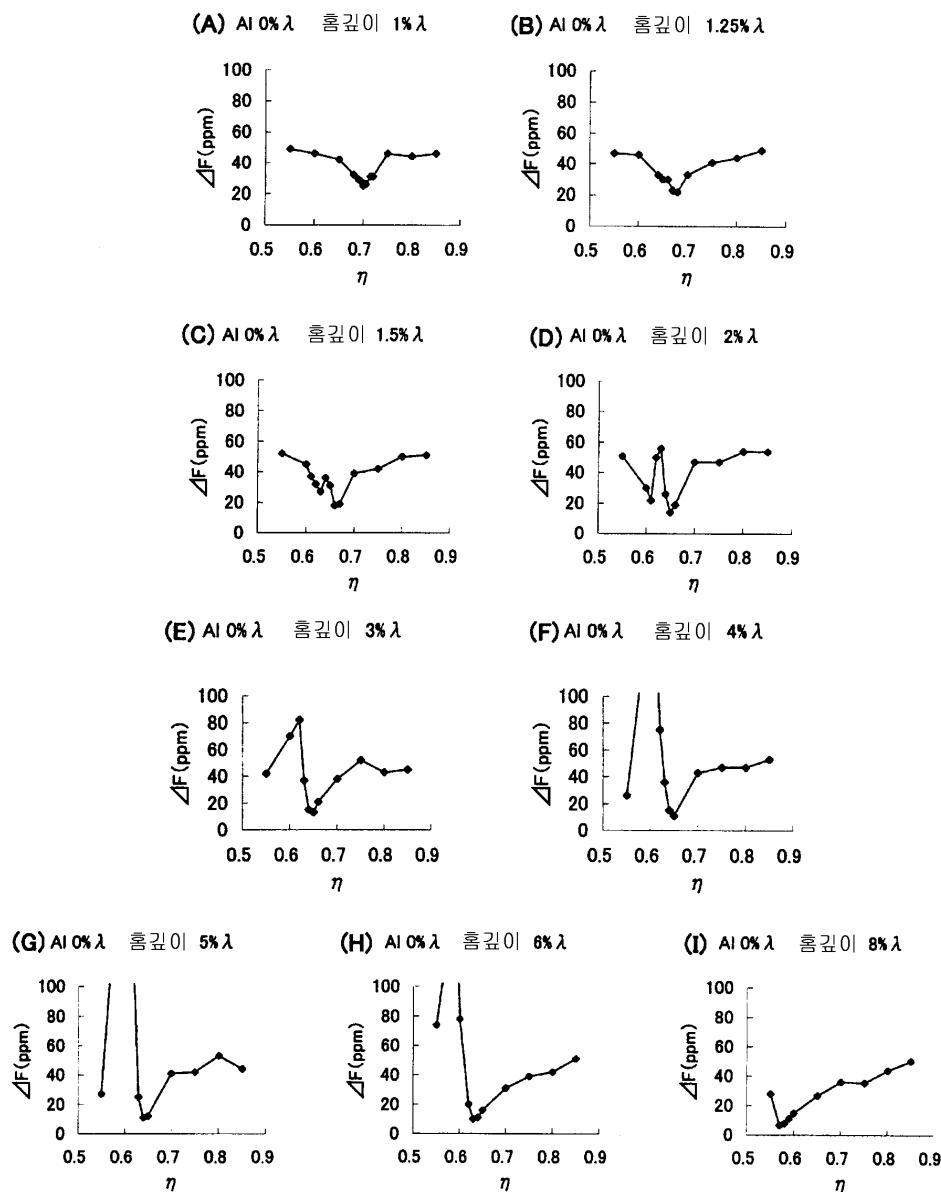
도면8



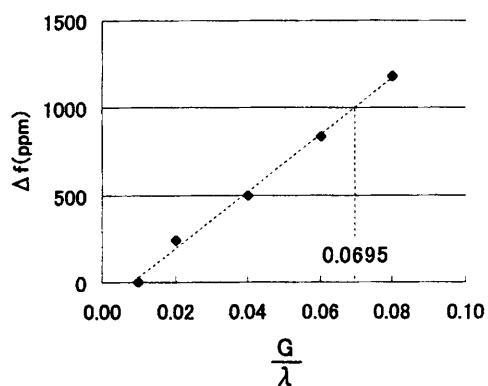
도면9



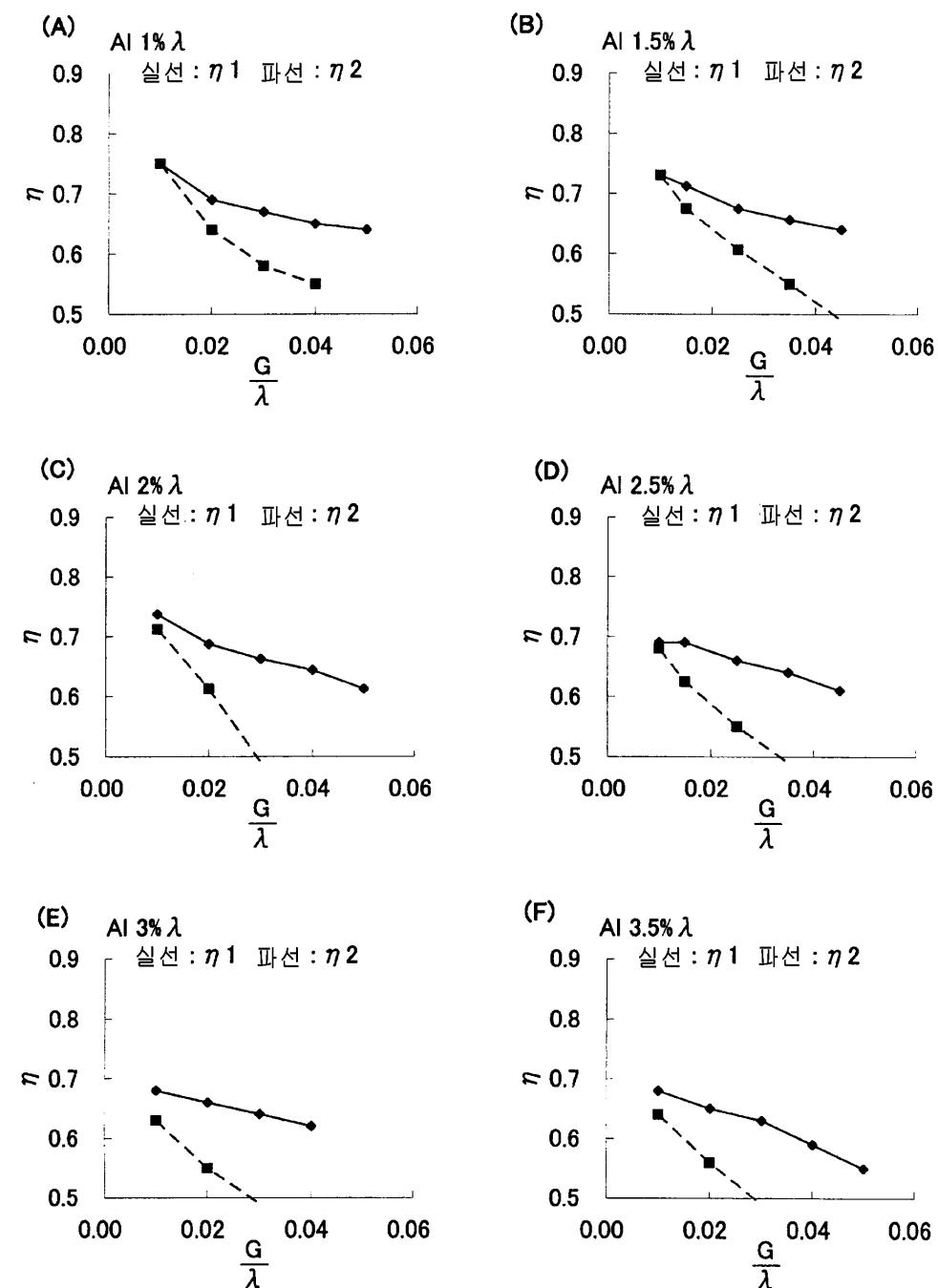
도면10



도면11

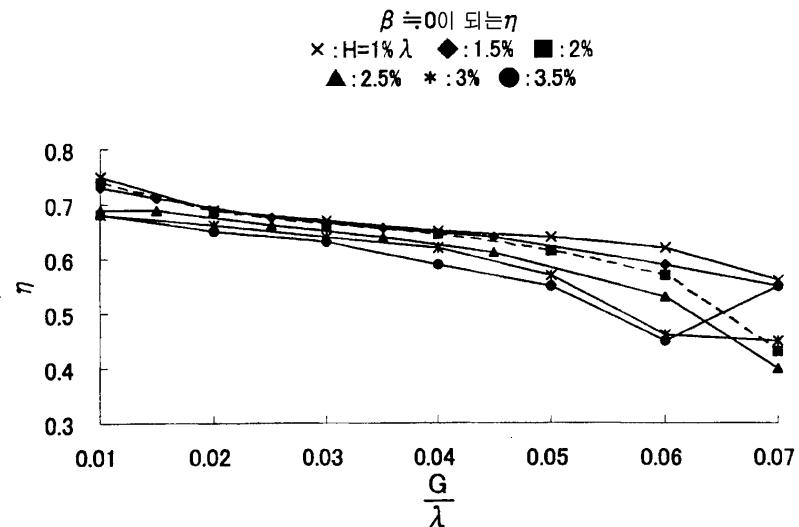


도면12

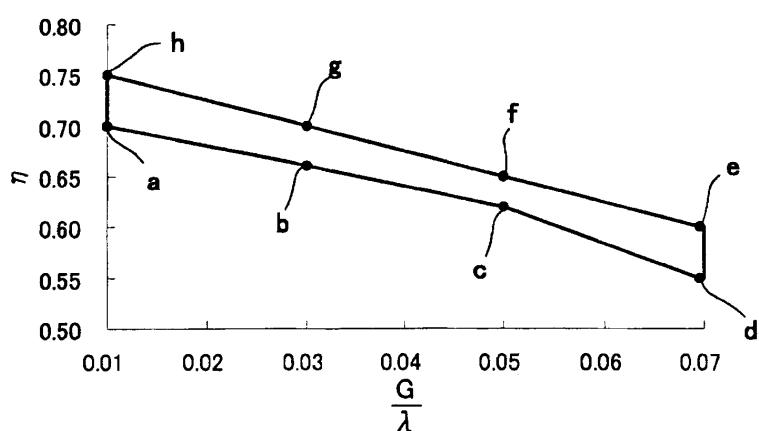


도면13

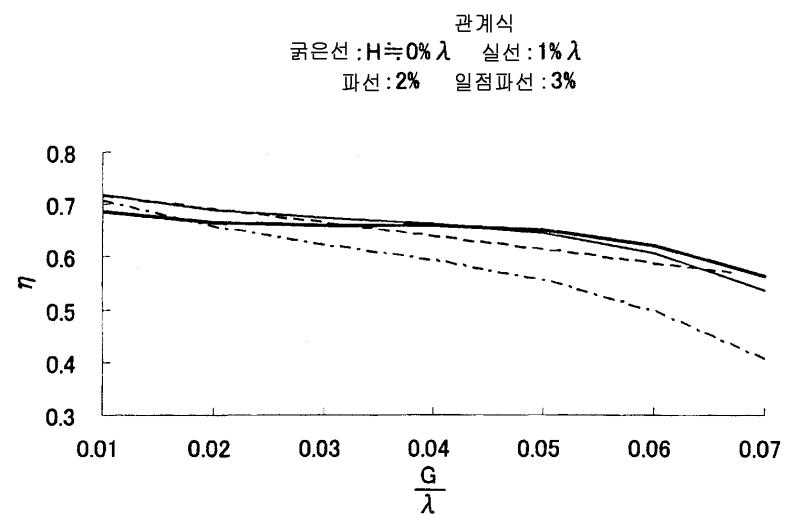
(A)



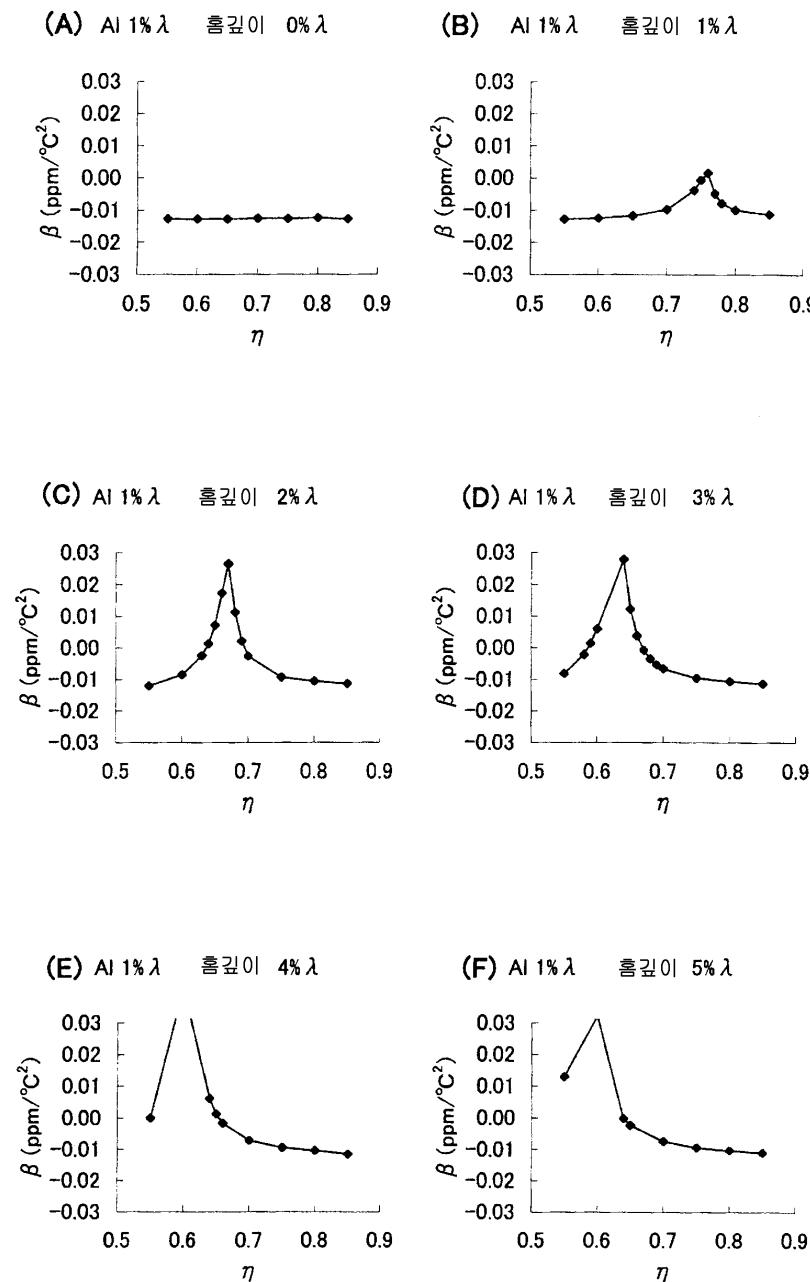
(B)



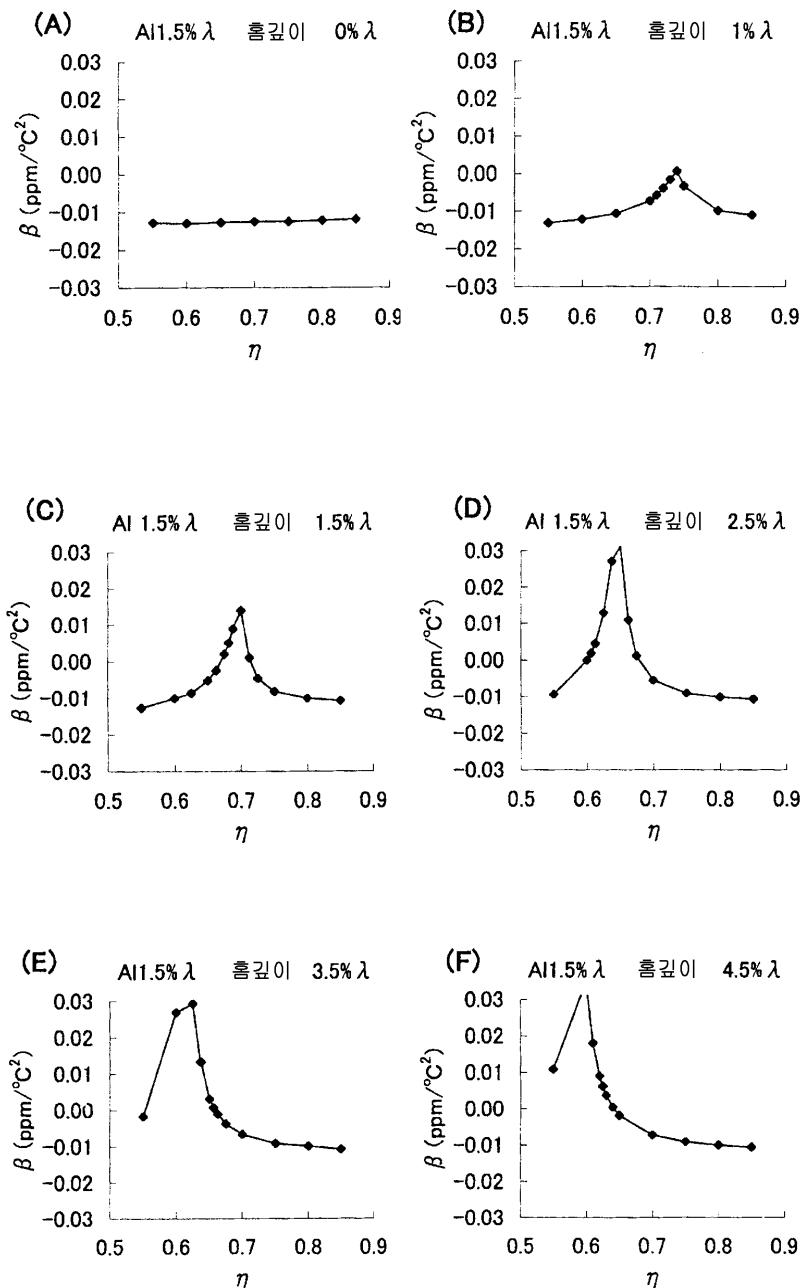
도면14



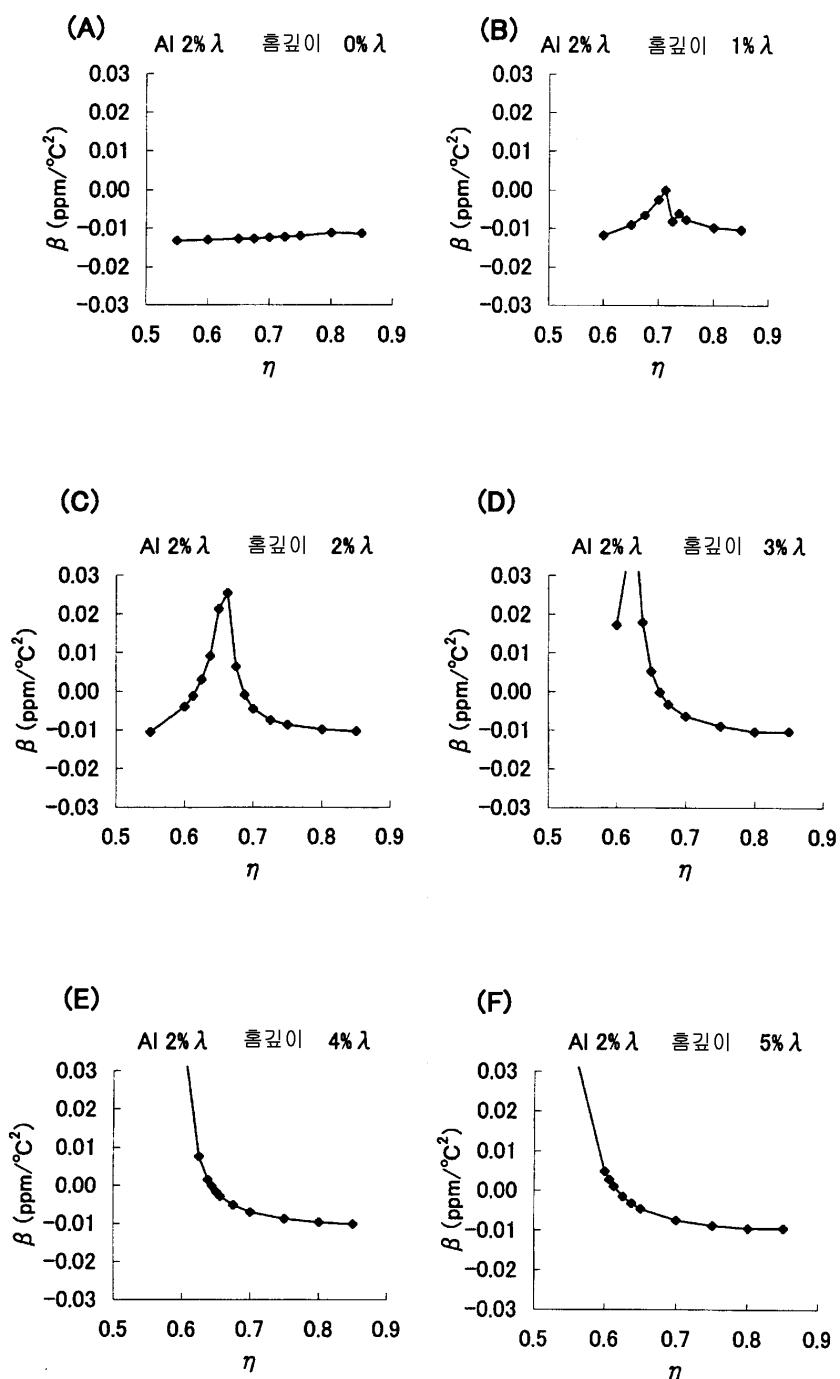
도면15



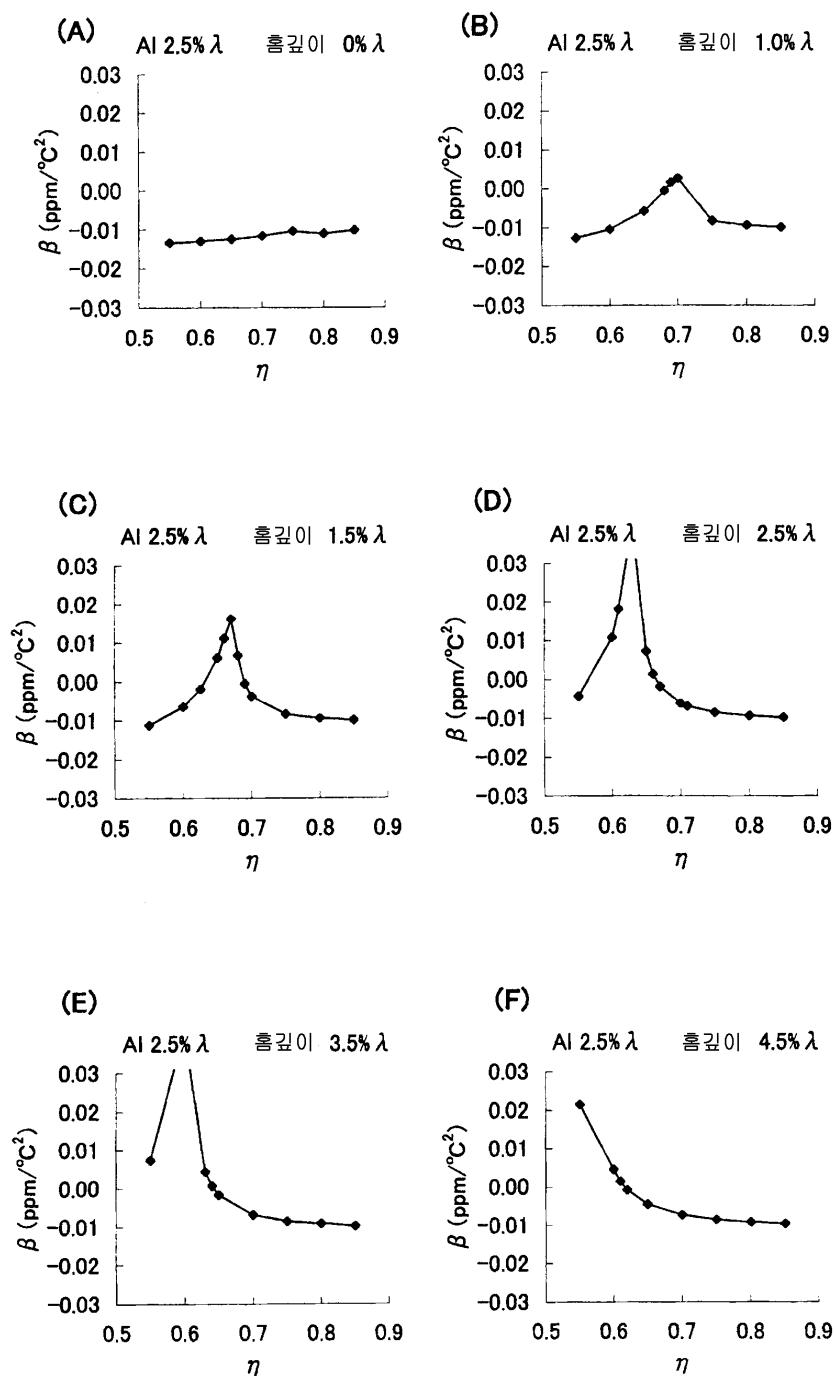
도면16



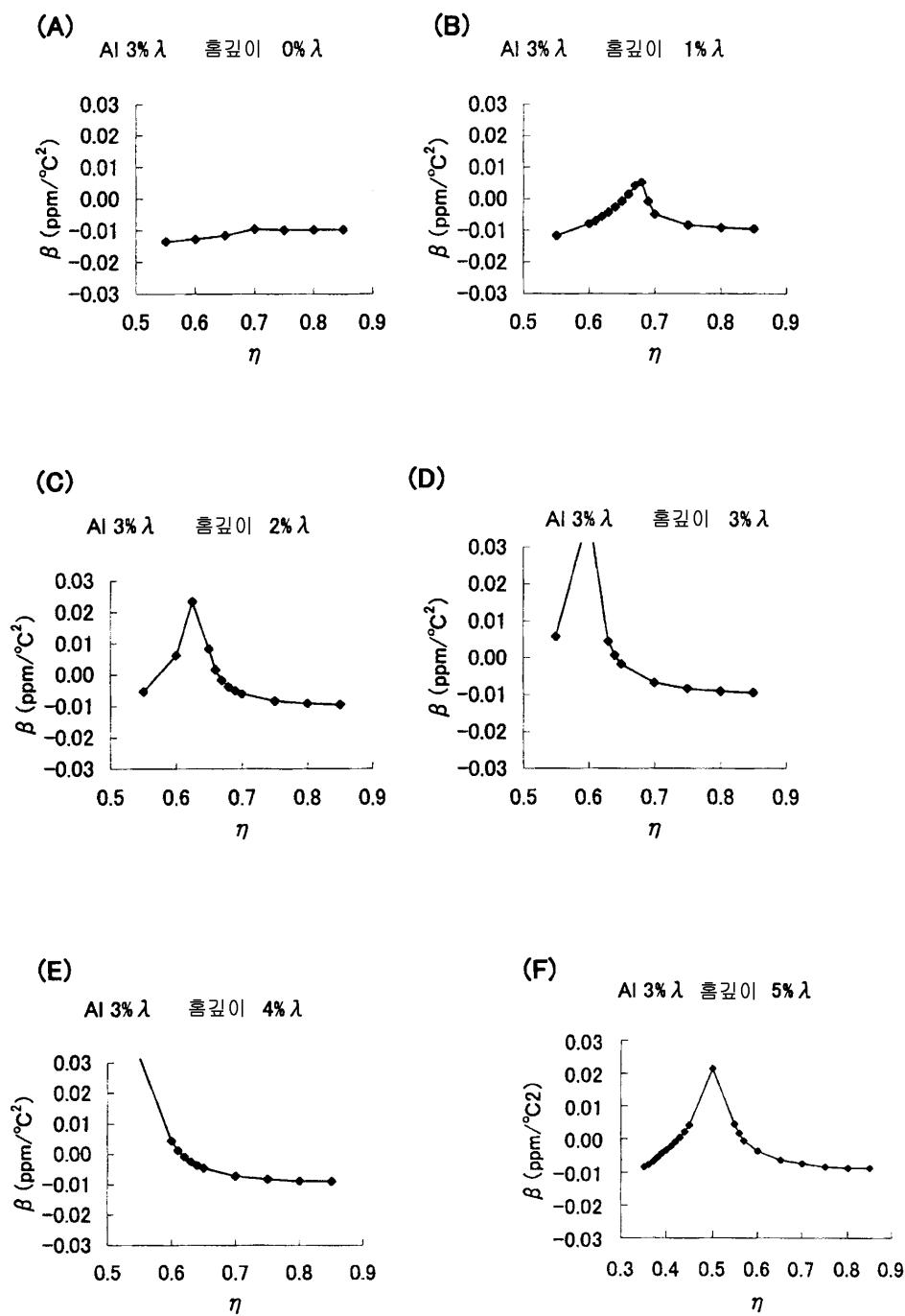
도면17



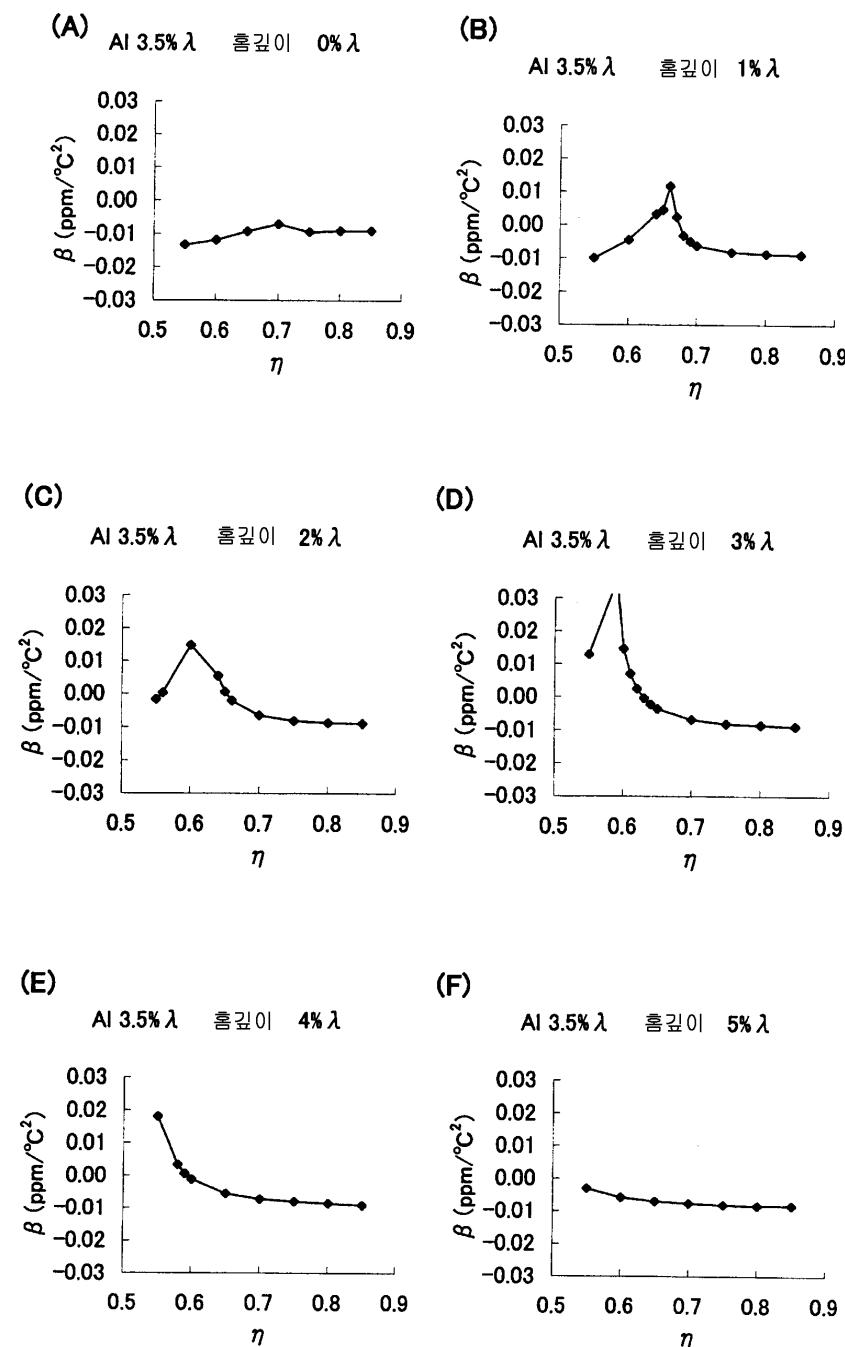
도면18



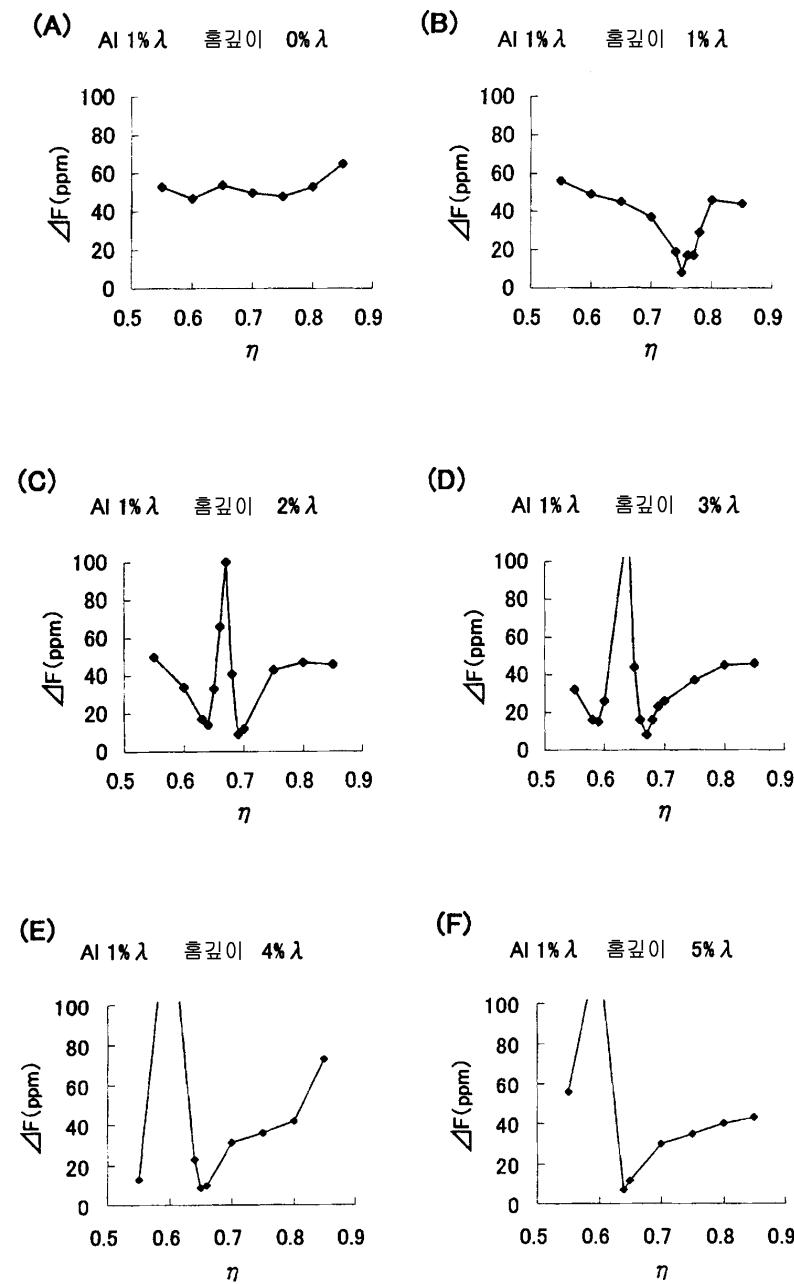
도면19



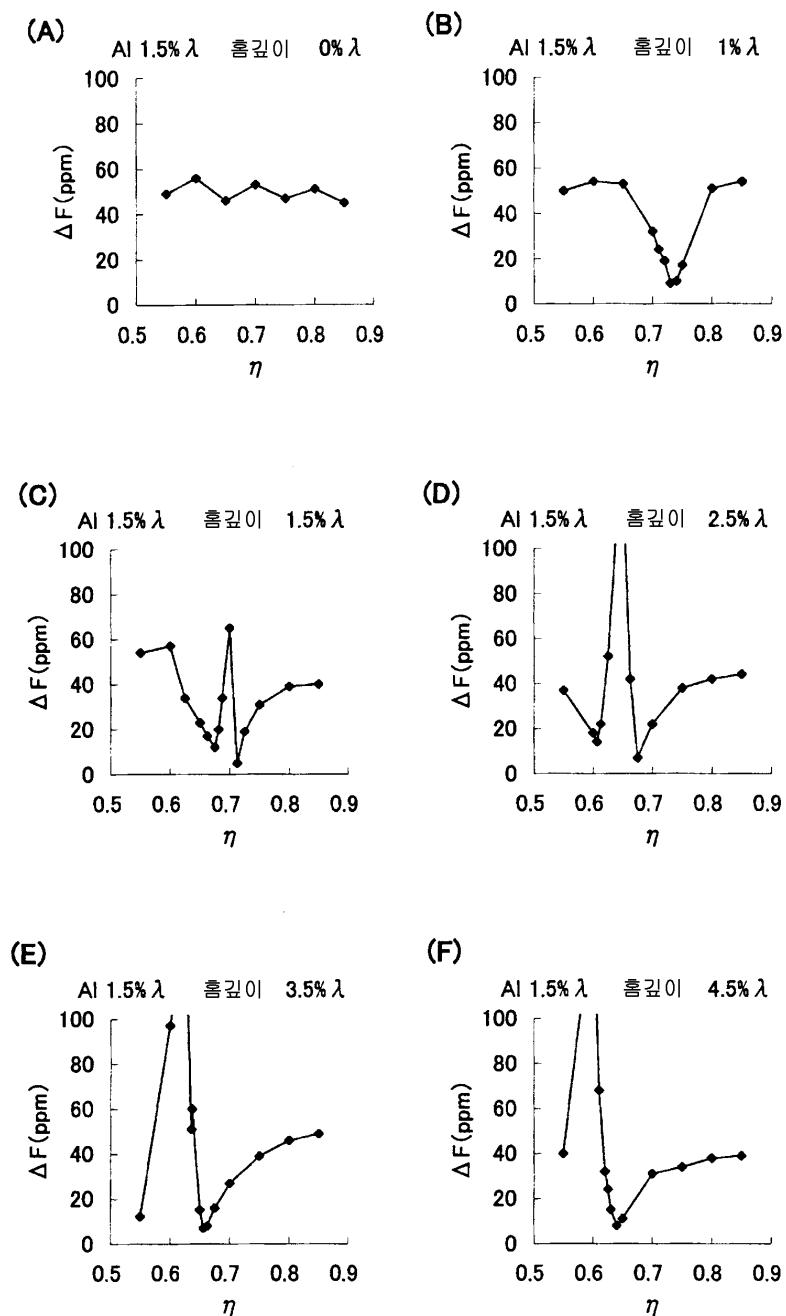
도면20



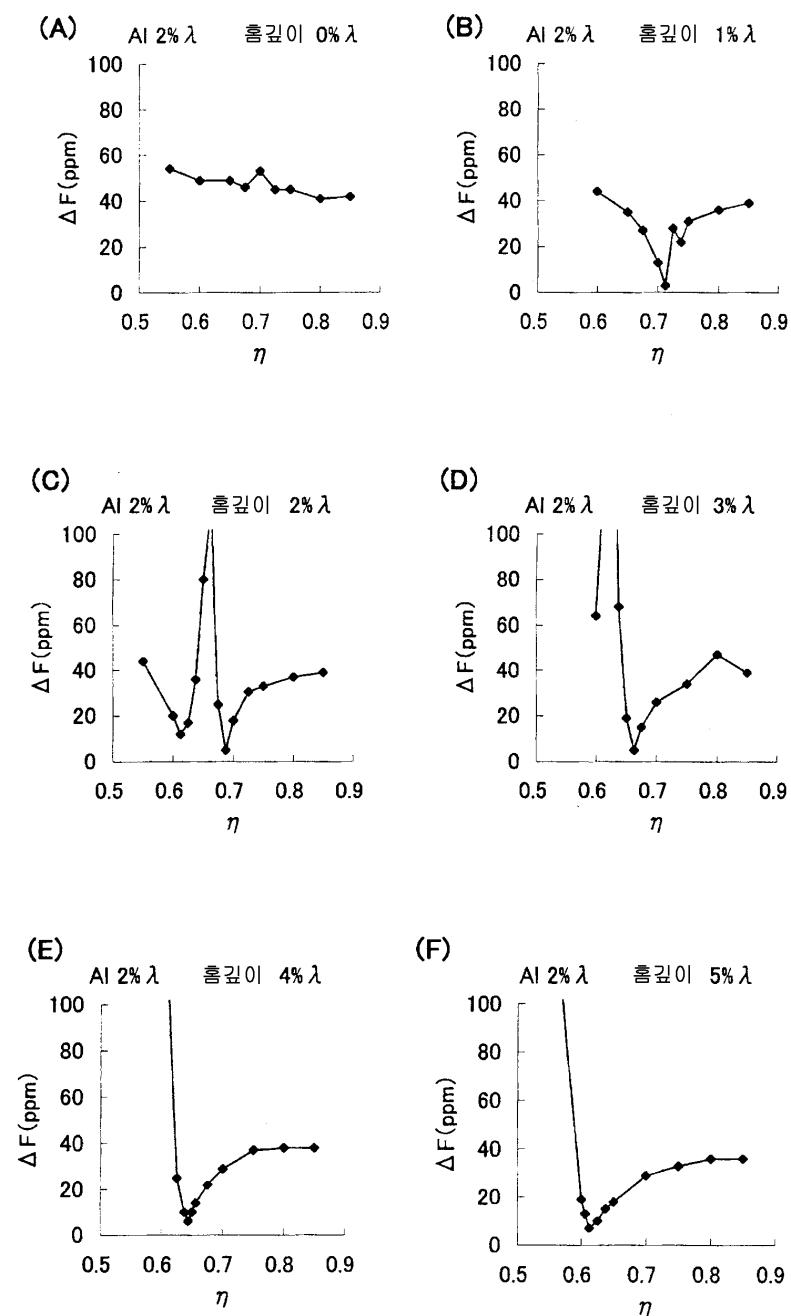
도면21



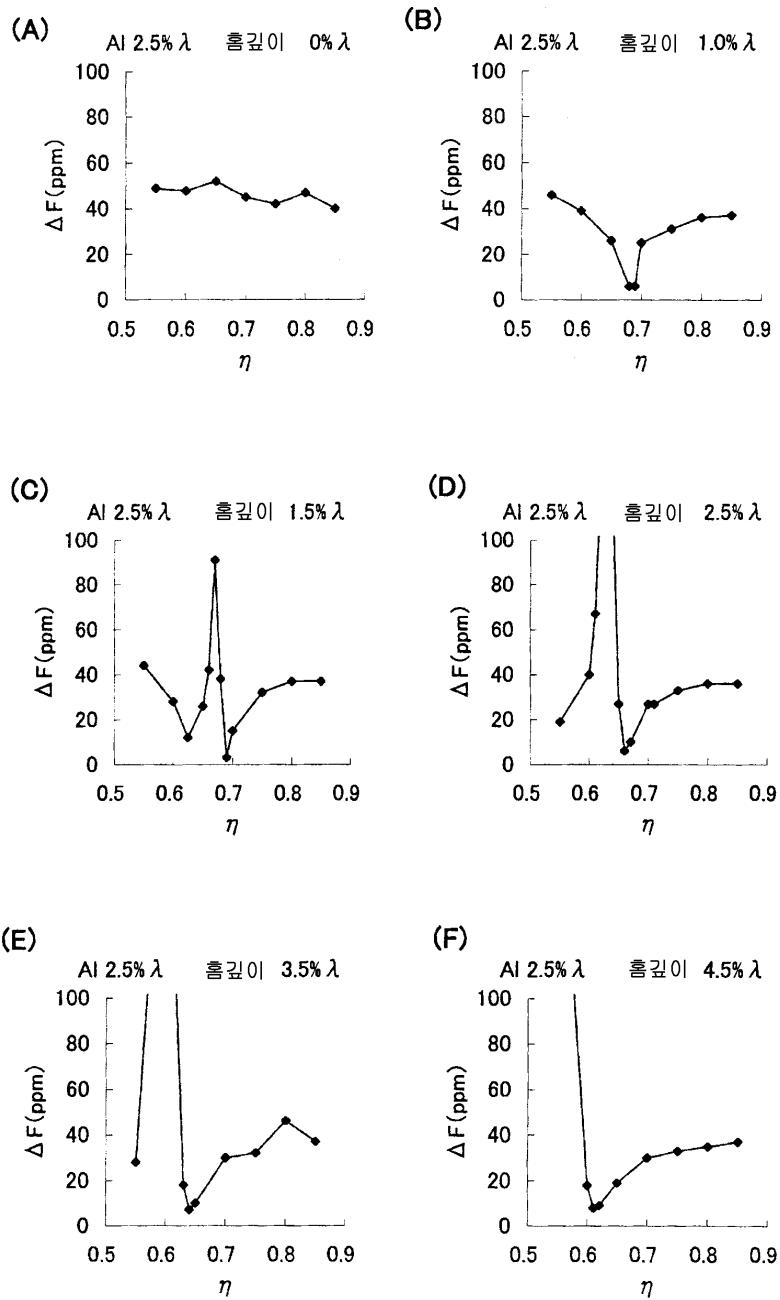
도면22



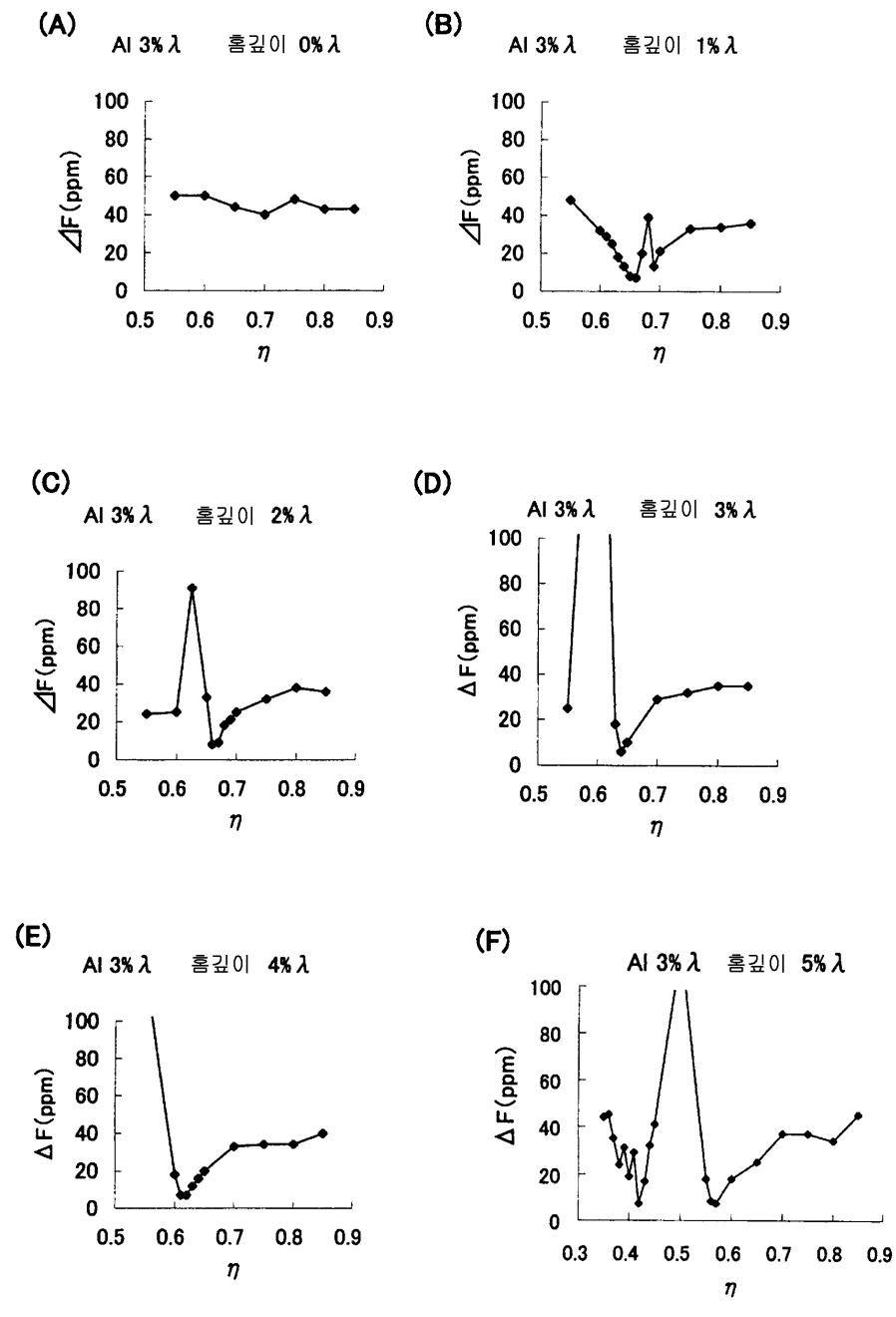
도면23



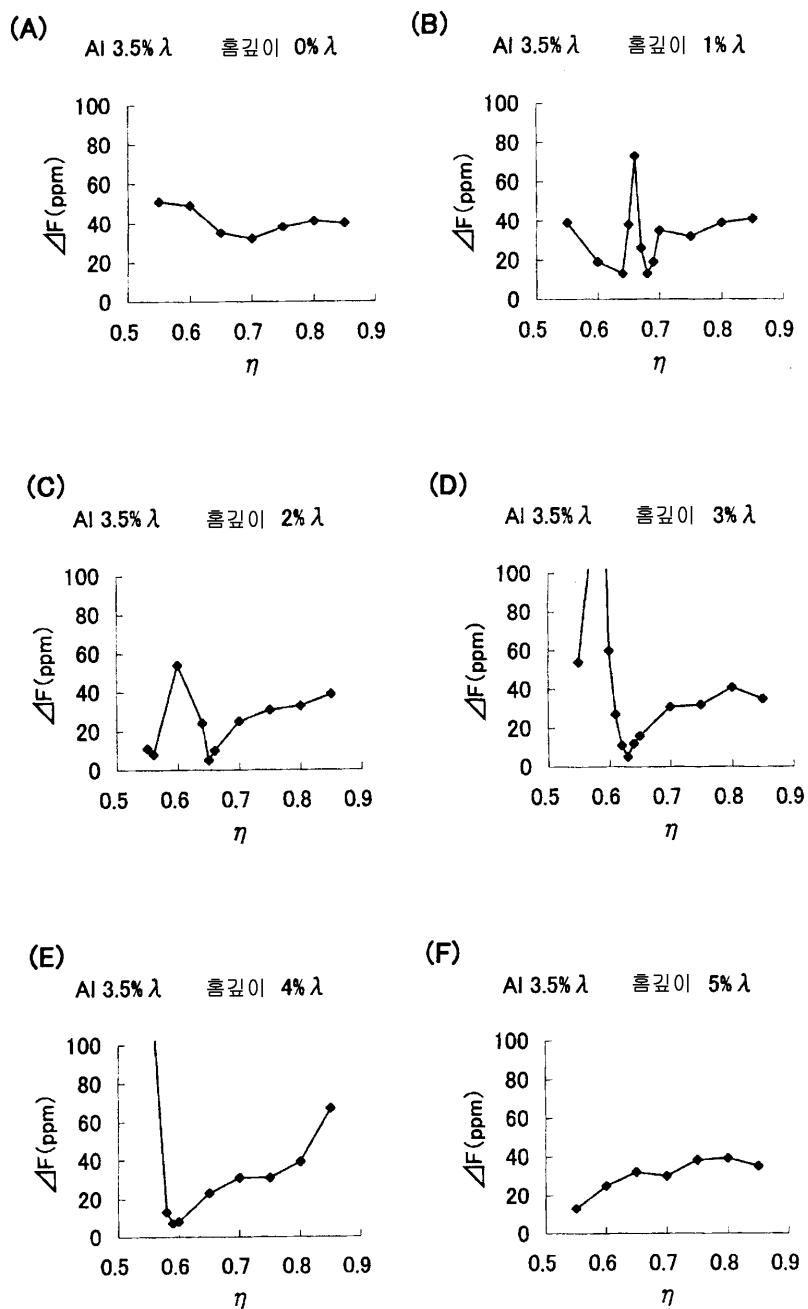
도면24



도면25



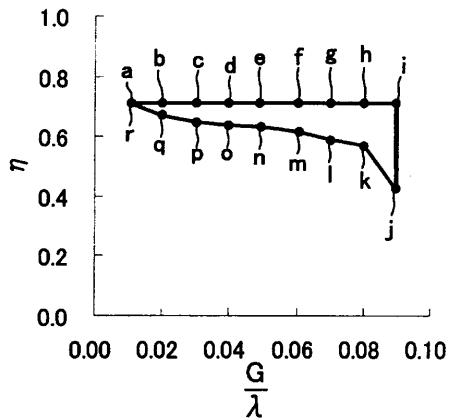
도면26



도면27

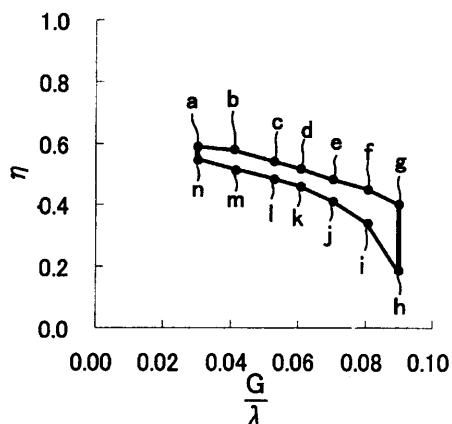
(A)

$$H=0.000 \lambda \sim 0.005 \lambda$$



(B)

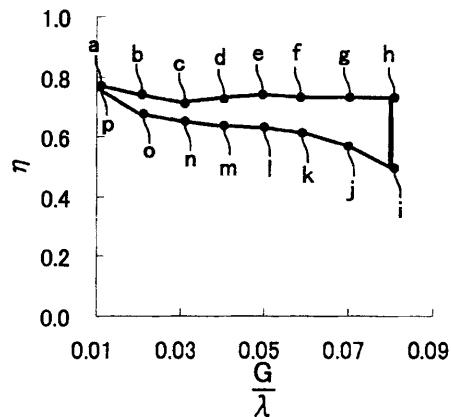
$$H=0.000 \lambda \sim 0.005 \lambda$$



도면28

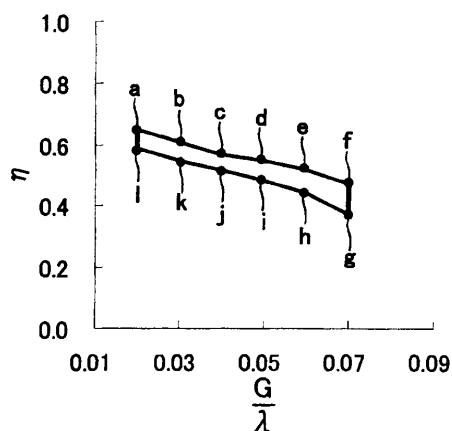
(A)

$$H=0.005 \lambda \sim 0.010 \lambda$$



(B)

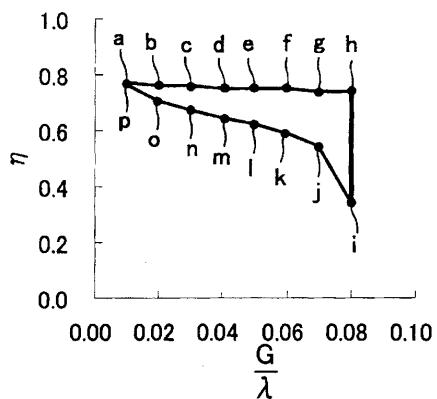
$$H=0.005 \lambda \sim 0.010 \lambda$$



도면29

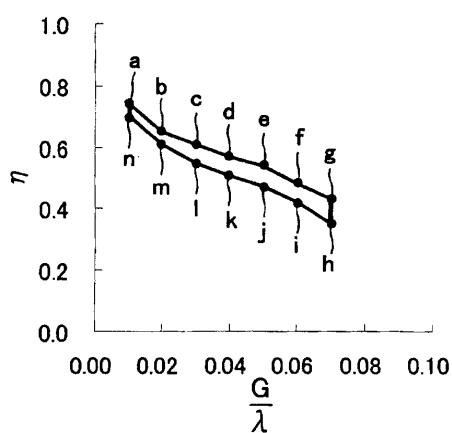
(A)

$$H=0.010\lambda \sim 0.015\lambda$$



(B)

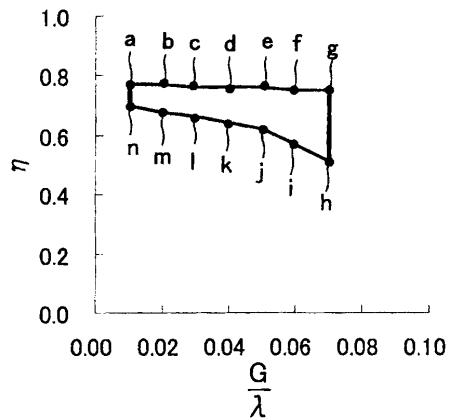
$$H=0.010\lambda \sim 0.015\lambda$$



도면30

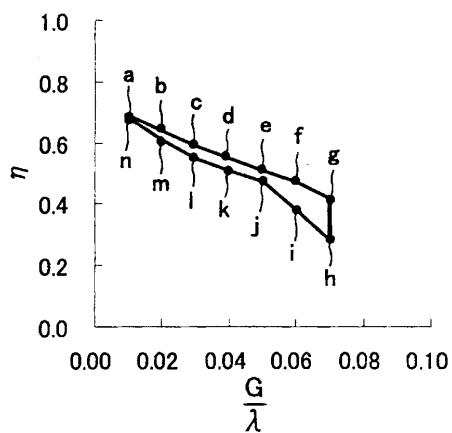
(A)

$$H=0.015 \lambda \sim 0.020 \lambda$$



(B)

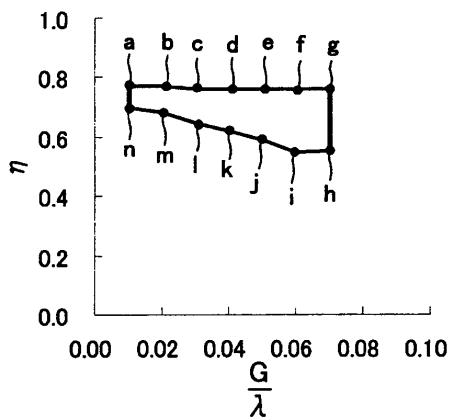
$$H=0.015 \lambda \sim 0.020 \lambda$$



도면31

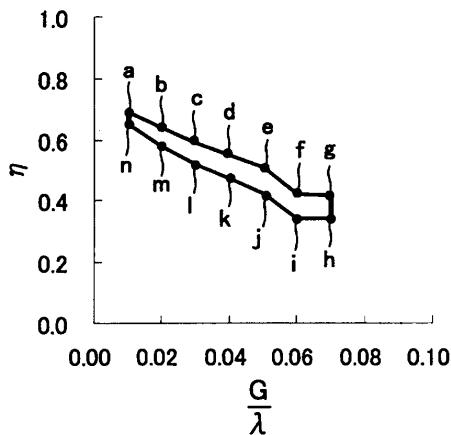
(A)

$$H=0.020 \lambda \sim 0.025 \lambda$$



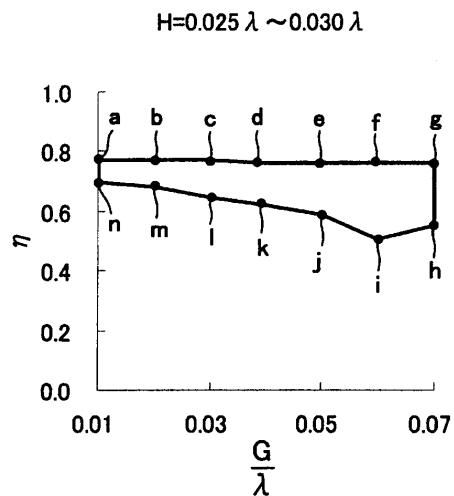
(B)

$$H=0.020 \lambda \sim 0.025 \lambda$$

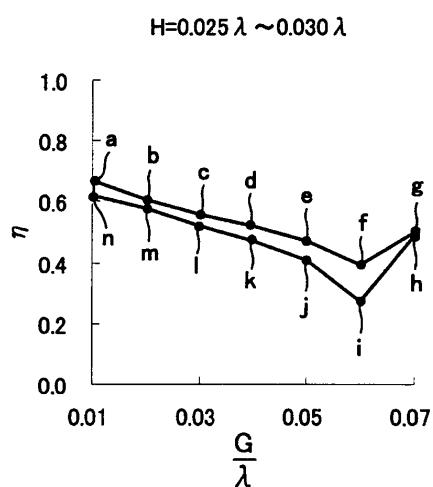


도면32

(A)

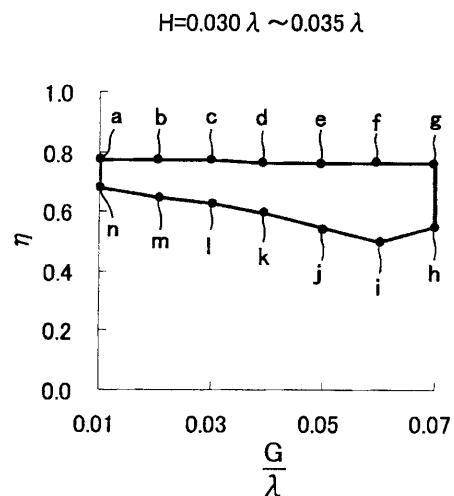


(B)

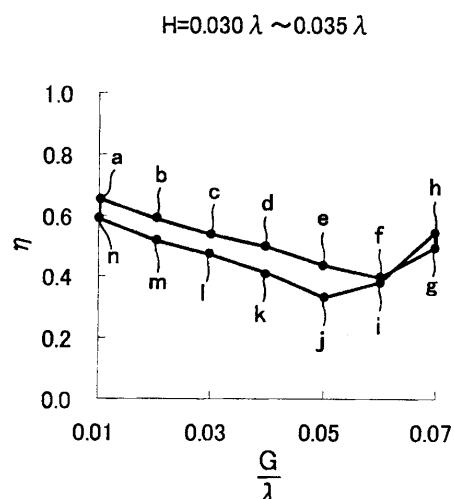


도면33

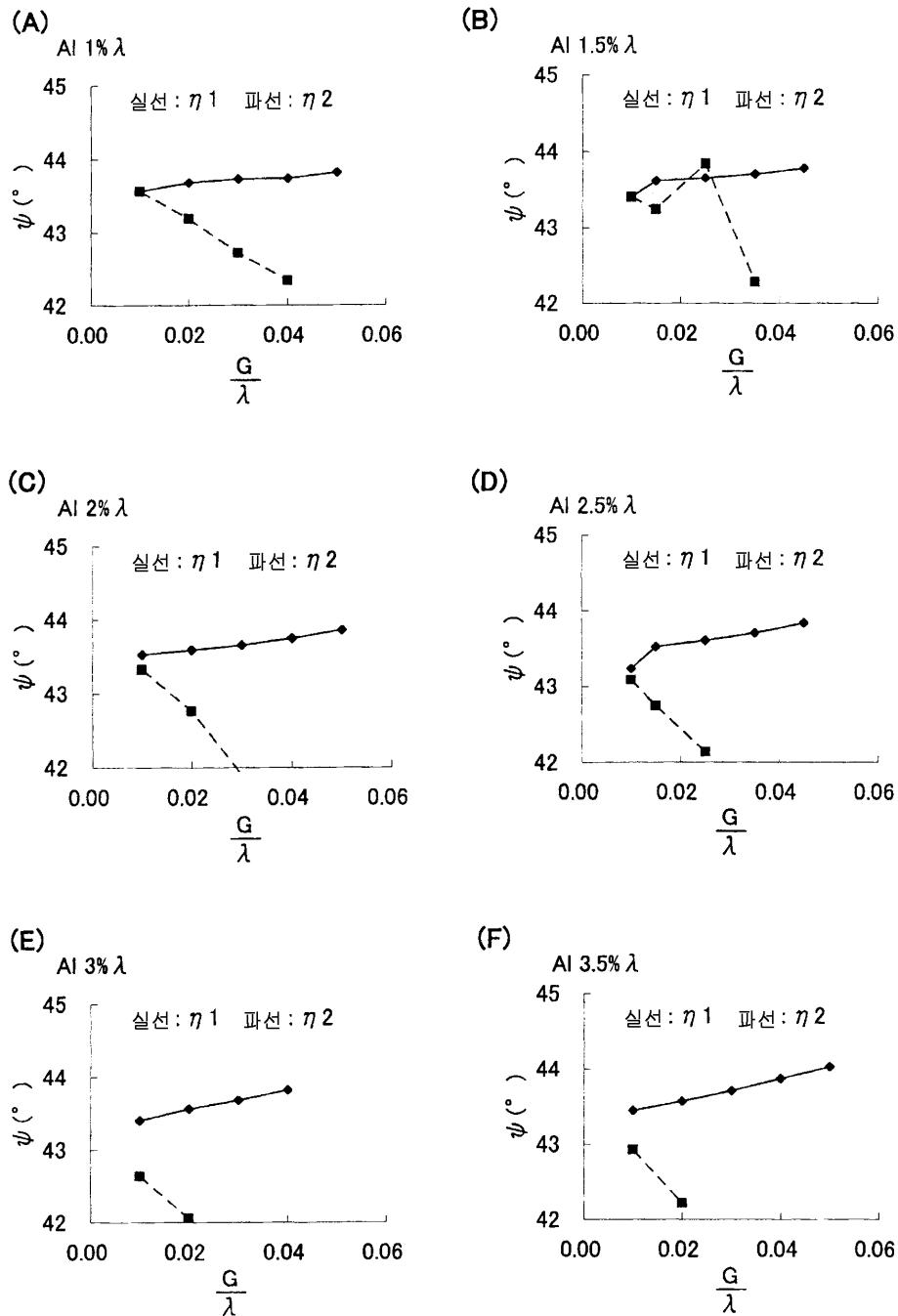
(A)



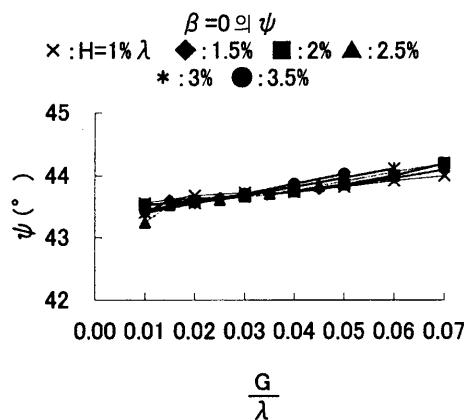
(B)



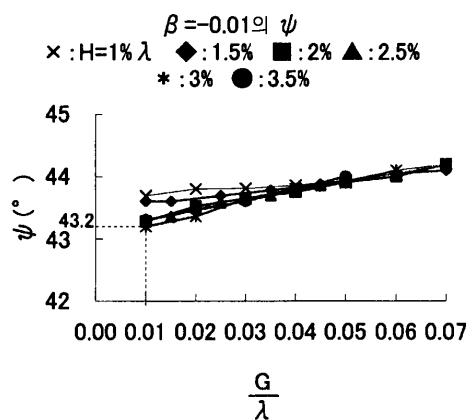
도면34



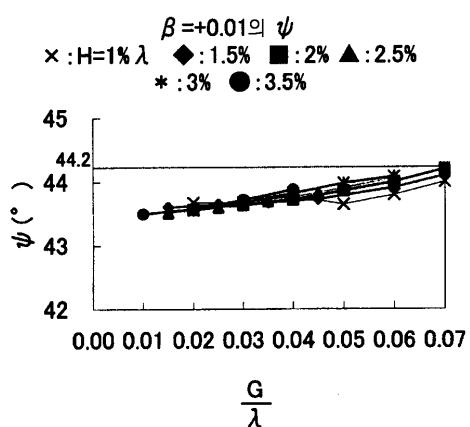
도면35



도면36

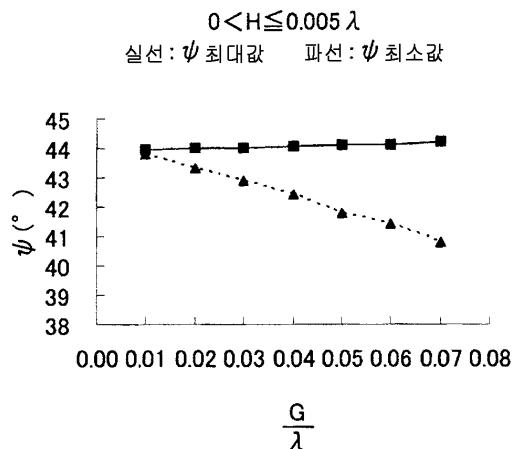


도면37

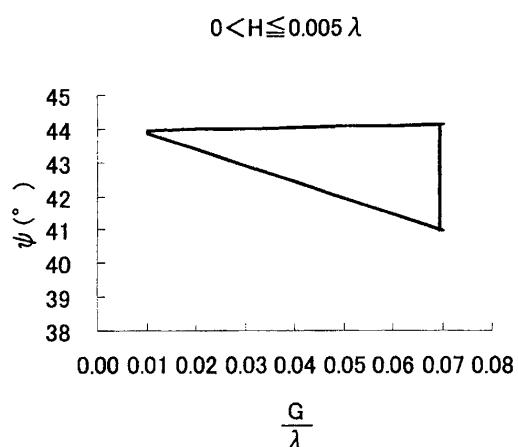


도면38

(A)

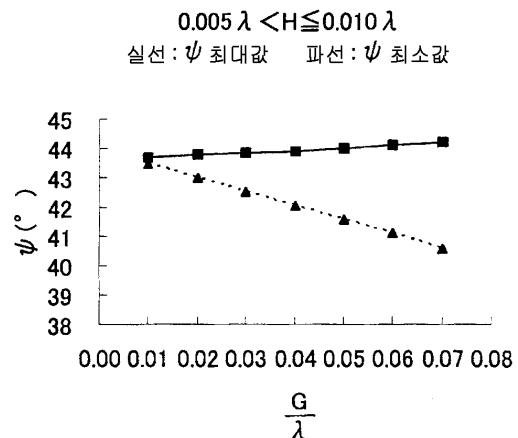


(B)

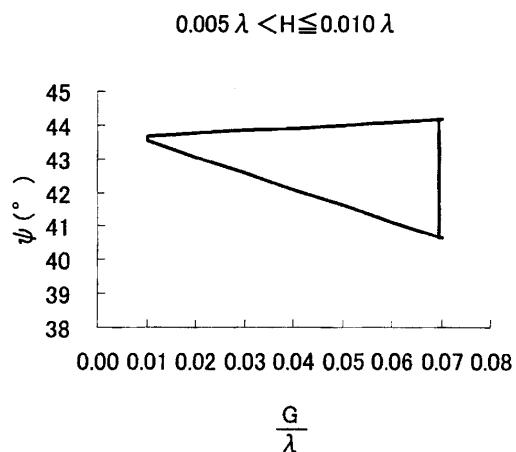


도면39

(A)

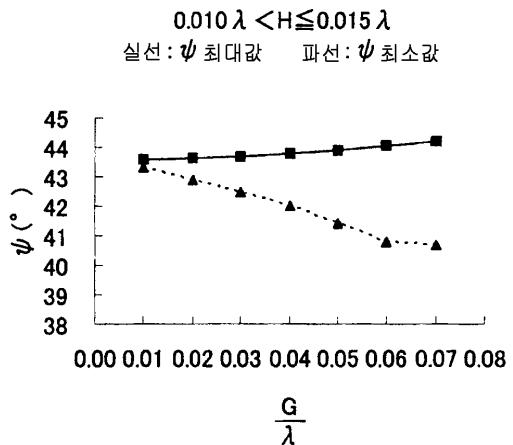


(B)

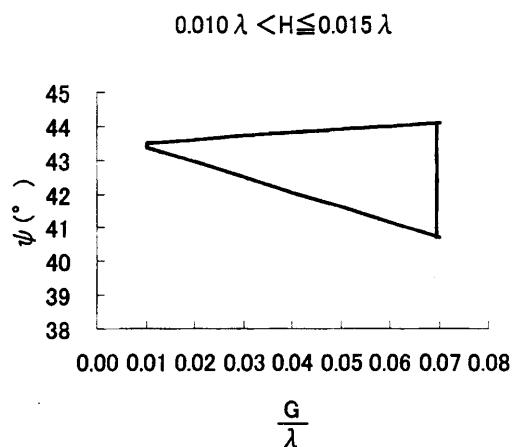


도면40

(A)

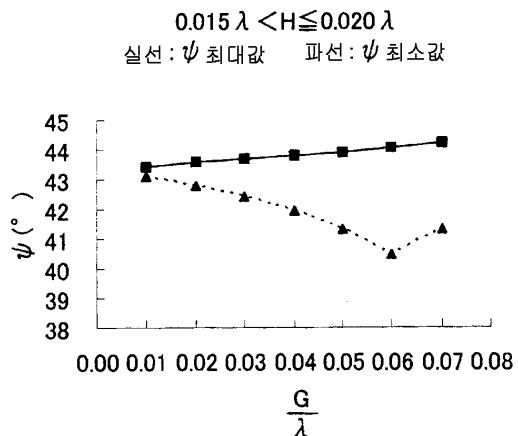


(B)

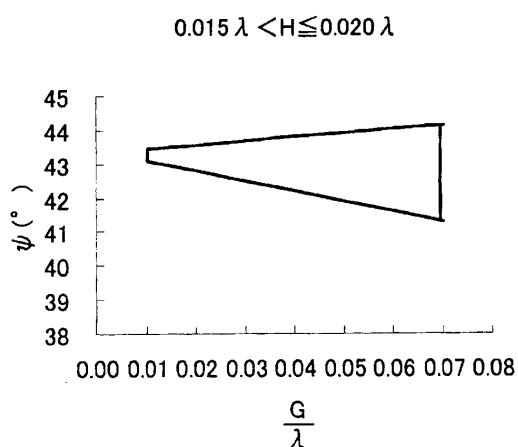


도면41

(A)

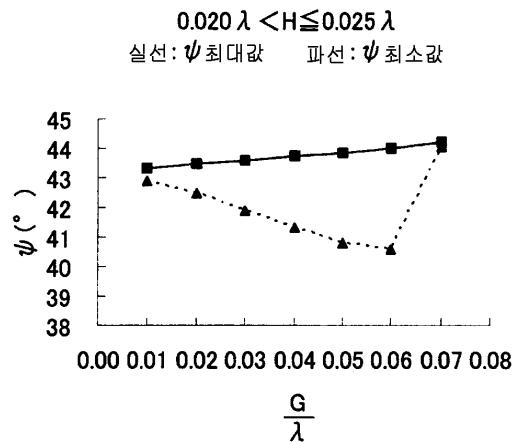


(B)

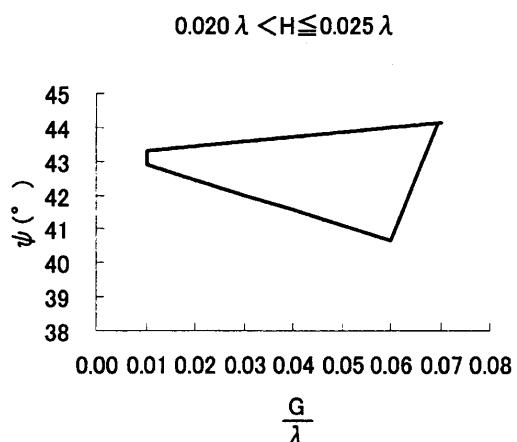


도면42

(A)

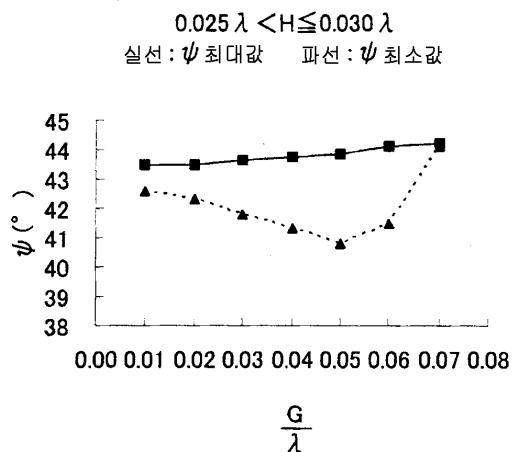


(B)

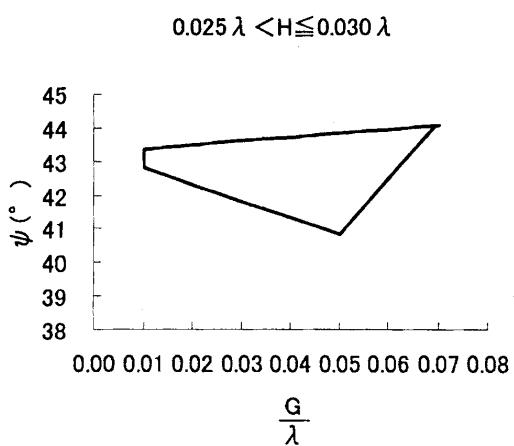


도면43

(A)



(B)

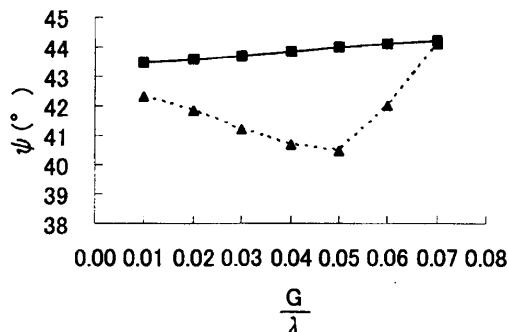


도면44

(A)

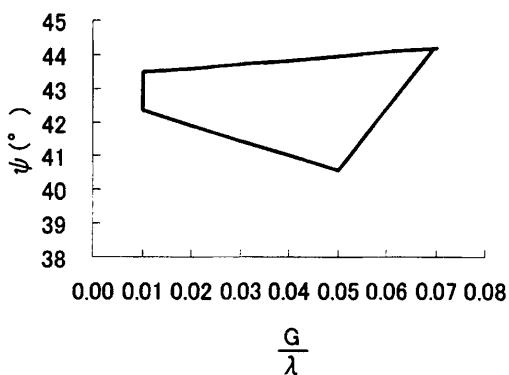
$$0.030 \lambda < H \leq 0.035 \lambda$$

실선: ψ 최대값 파선: ψ 최소값

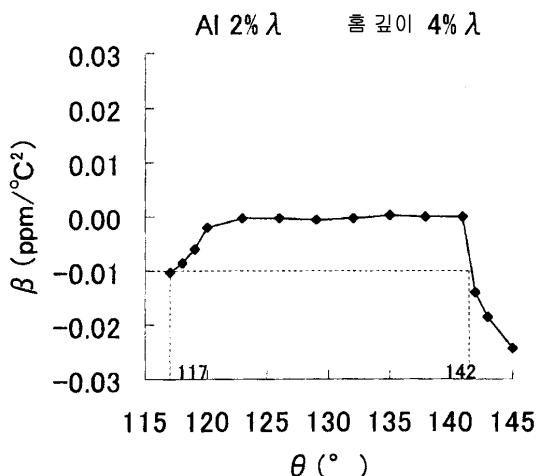


(B)

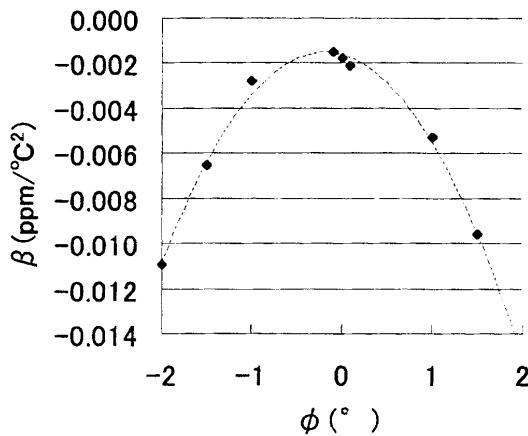
$$0.030 \lambda < H \leq 0.035 \lambda$$



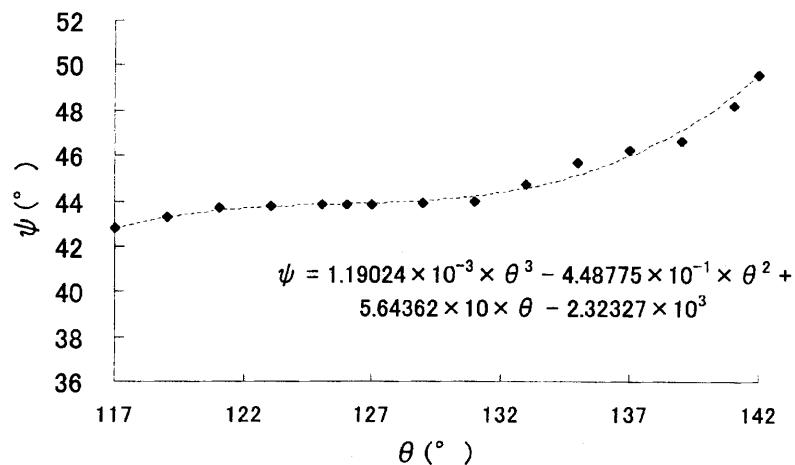
도면45



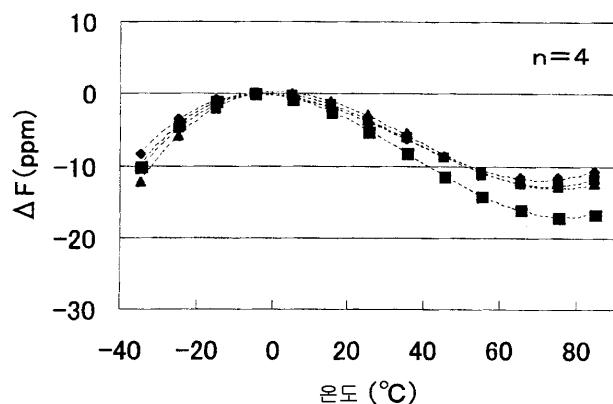
도면46



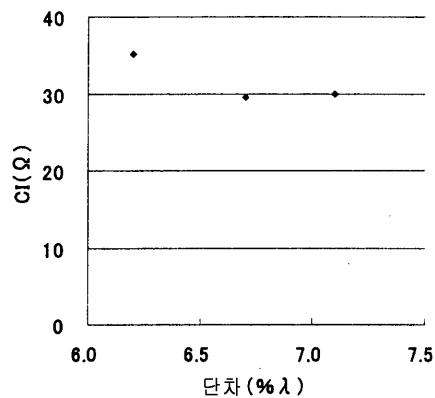
도면47



도면48



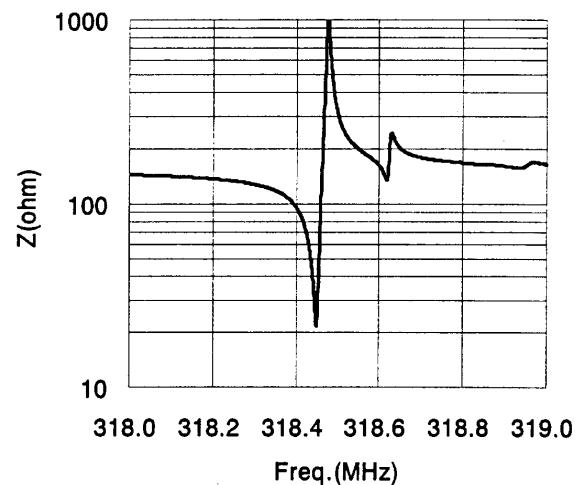
도면49



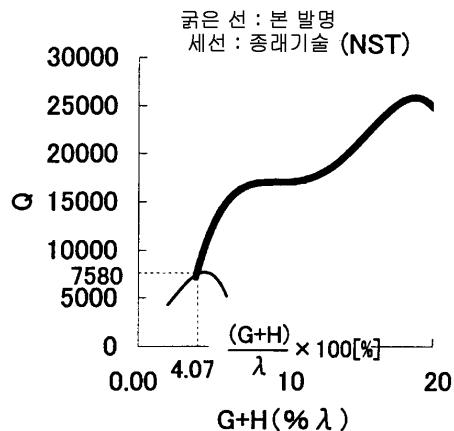
도면50

	F MHz	Q	γ	Cl Ω	M
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

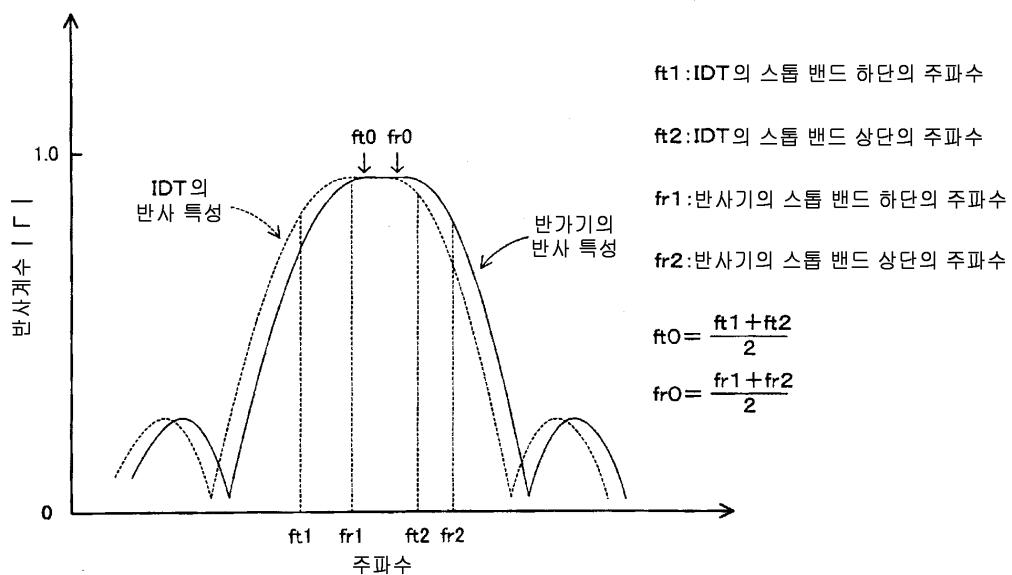
도면51



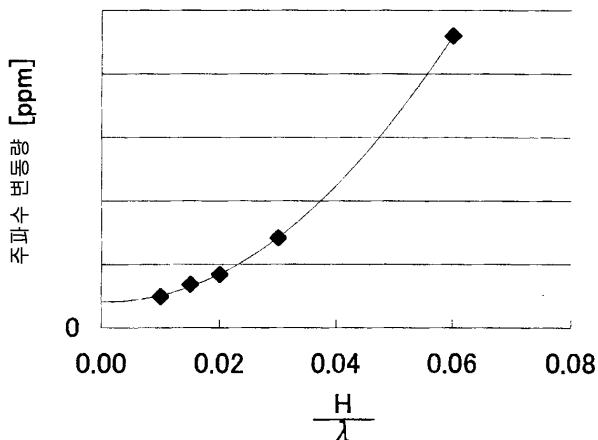
도면52



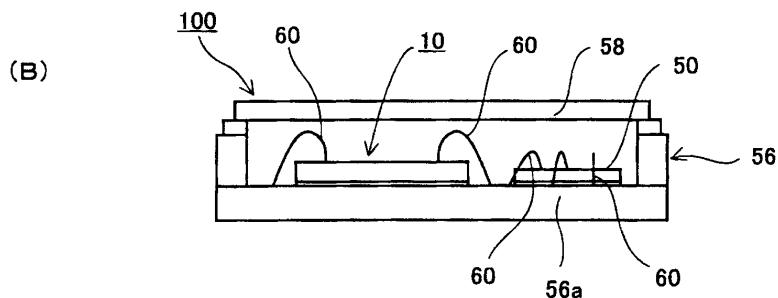
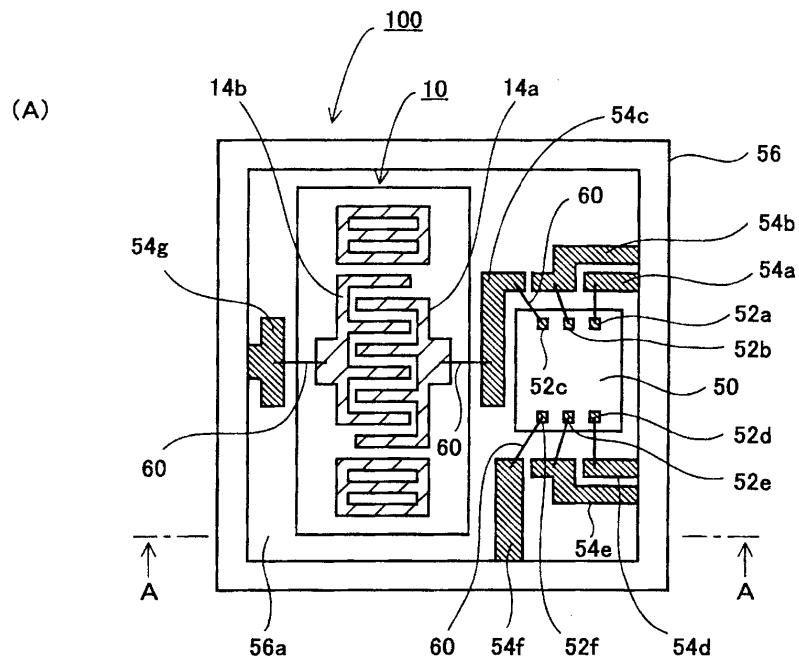
도면53



도면54

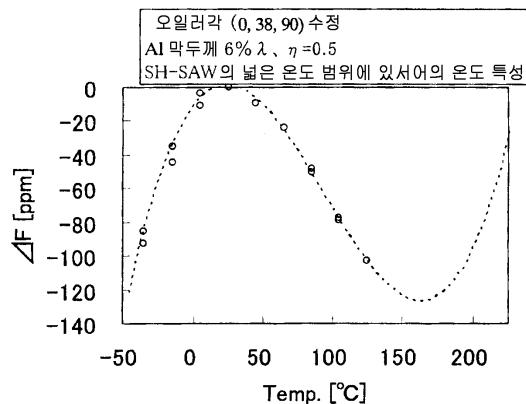


도면55

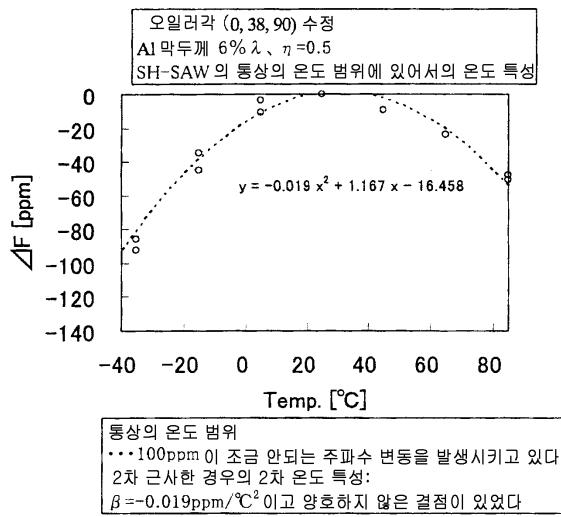


도면56

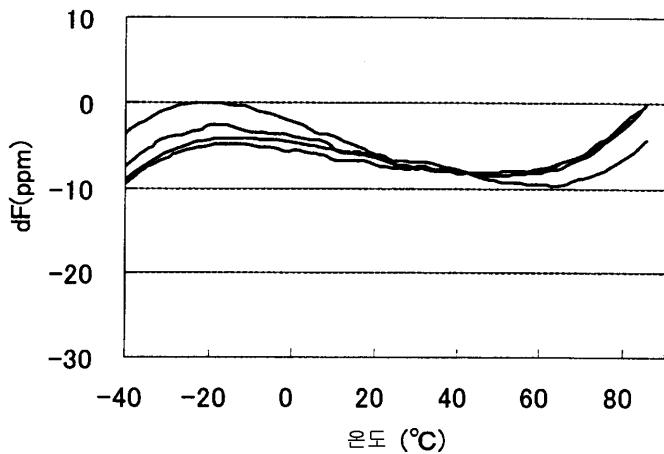
(A)



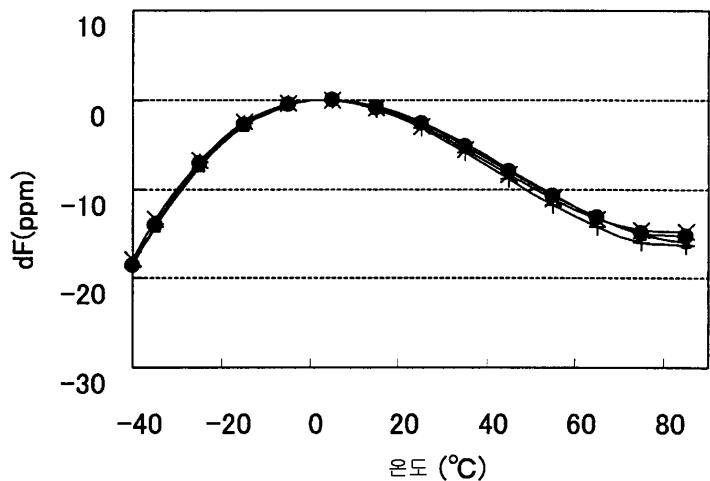
(B)



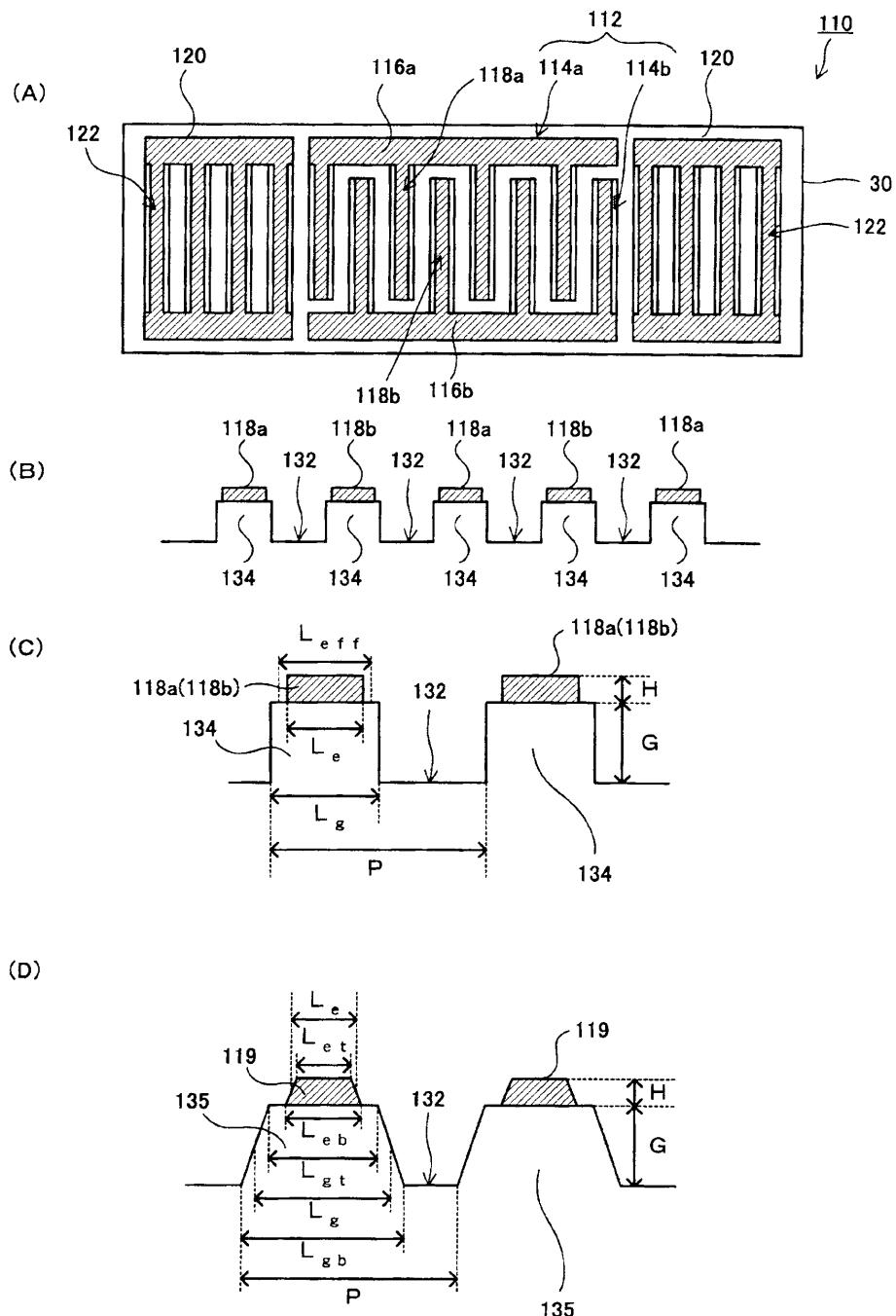
도면57



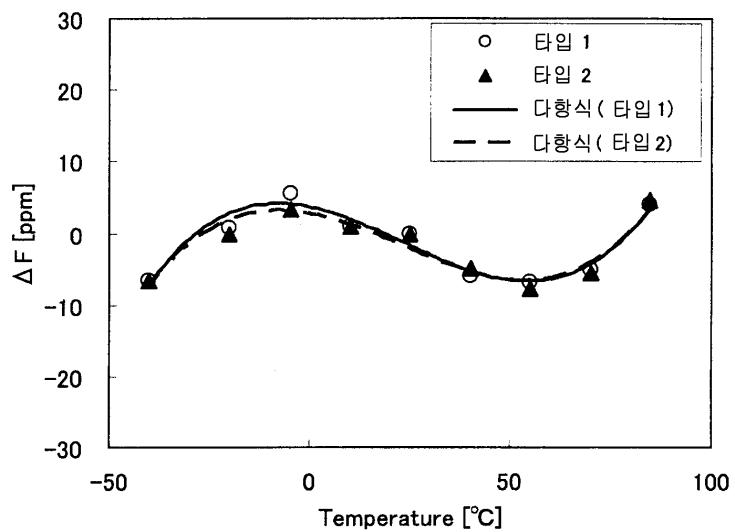
도면58



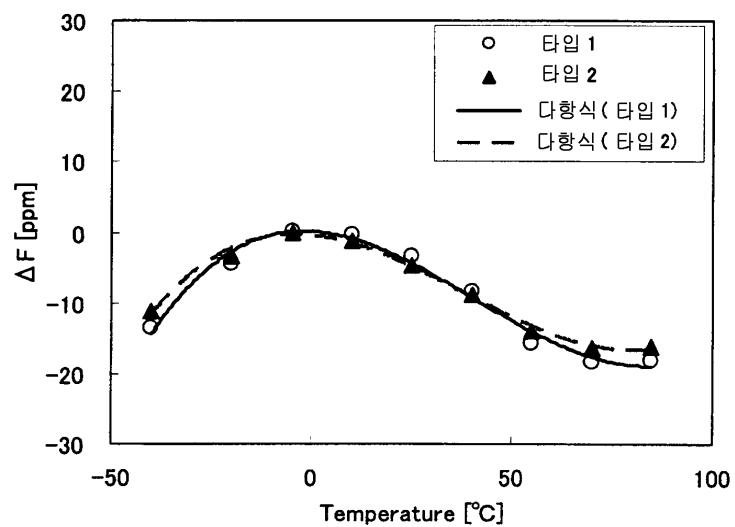
도면59



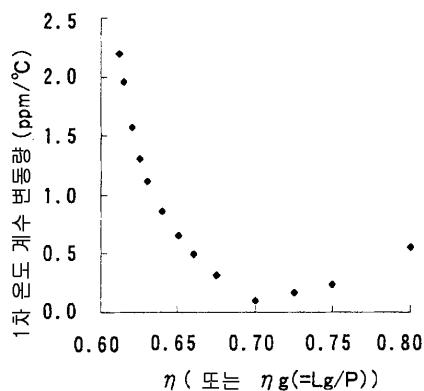
도면60



도면61



도면62



도면63

