

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2007-267366
(P2007-267366A)

(43) 公開日 平成19年10月11日(2007. 10. 11)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
H03H 9/145 (2006.01)			H03H 9/145			C 5J097		
H03H 9/25 (2006.01)			H03H 9/145			Z		
			H03H 9/25			C		
審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 60 頁)								
(21) 出願番号			特願2007-17473 (P2007-17473)			(71) 出願人 398067270		
(22) 出願日			平成19年1月29日 (2007. 1. 29)			富士通メディアデバイス株式会社		
(31) 優先権主張番号			特願2006-53486 (P2006-53486)			神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目3番地		
(32) 優先日			平成18年2月28日 (2006. 2. 28)			12		
(33) 優先権主張国			日本国 (JP)			(71) 出願人 000005223		
						富士通株式会社		
						神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番		
						1号		
						(74) 代理人 100087480		
						弁理士 片山 修平		
						(72) 発明者 三浦 道雄		
						神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番		
						1号 富士通株式会社内		
最終頁に続く								

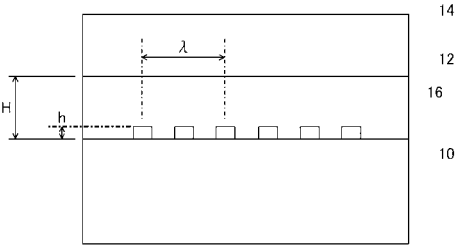
(54) 【発明の名称】 弾性境界波素子、共振器およびフィルタ

(57) 【要約】

【課題】弾性境界波素子の機能として使用する弾性境界波の近傍の周波数に出現するストンリー波を抑圧することが可能な弾性境界波素子、共振器およびフィルタを提供すること。

【解決手段】本発明は、LiNbO₃基板10と、基板10上に設けられた弾性波を励振する電極16と、基板10上に電極16を覆うように設けられた酸化シリコン膜12と、を有する。そして、基板10の回転Yカット角、電極16の密度のCuの密度に対する比、電極16に励振される弾性波の波長、電極16の膜厚、酸化シリコン膜12の膜厚をストンリー波の電気機械結合係数が0.00015以下の範囲となるように設定することを特徴とする弾性境界波素子、共振器、フィルタである。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項1】

LiNbO₃ 基板と、

該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、

前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、を具備し、

前記基板の回転Yカット角を θ 、前記電極の密度の銅の密度に対する比を a 、前記電極に励振される弾性波の波長を λ 、前記電極の膜厚を h 、前記酸化シリコン膜の膜厚を H としたとき、

$0.045\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

$25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.46\lambda$ 、

10

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.41\lambda \leq H < 0.48\lambda$ 、

$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.51\lambda$ 、

$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.53\lambda$ 、

$29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.45\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、

$30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.58\lambda$ 、

$31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.61\lambda$ 、

$32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.64\lambda$ 、

$33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.67\lambda$ 、

$35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.74\lambda$ 、

20

$37.5^\circ \leq \theta < 42^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$42^\circ \leq \theta < 57^\circ$ のとき $0.55\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$57^\circ \leq \theta < 63^\circ$ のとき $0.51\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$63^\circ \leq \theta < 69^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$69^\circ \leq \theta < 75^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$75^\circ \leq \theta < 99^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および

$99^\circ \leq \theta < 105^\circ$ のとき $0.58\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.0525\lambda/a \leq h < 0.065\lambda/a$ であって、

$24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.32\lambda$ 、

30

$25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.37\lambda$ 、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.38\lambda$ 、

$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.34\lambda \leq H < 0.41\lambda$ 、

$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.37\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、

$29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.44\lambda$ 、

$30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.47\lambda$ 、

$31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.44\lambda \leq H < 0.48\lambda$ 、

$32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.49\lambda$ 、

$33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.51\lambda$ 、

$34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.57\lambda$ 、

40

$35.5^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.62\lambda$ 、

$36.5^\circ \leq \theta < 38^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.67\lambda$ 、

$38^\circ \leq \theta < 40.5^\circ$ のとき $0.54\lambda \leq H < 0.79\lambda$ 、

$40.5^\circ \leq \theta < 43.5^\circ$ のとき $0.58\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$43.5^\circ \leq \theta < 46.5^\circ$ のとき $0.61\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$46.5^\circ \leq \theta < 51^\circ$ のとき $0.64\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、

$51^\circ \leq \theta < 57^\circ$ のとき $0.69\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および

$57^\circ \leq \theta < 63^\circ$ のとき $0.78\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.065\lambda/a \leq h < 0.0725\lambda/a$ であって、

$25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.32\lambda$ 、

50

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.36\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.38\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.34\lambda \leq H < 0.46\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.5\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.55\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.6\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.66\lambda$ 、
 $35^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.54\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $36.5^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.59\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $37.5^\circ \leq \theta < 38.5^\circ$ のとき $0.65\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $38.5^\circ \leq \theta < 39^\circ$ のとき $0.73\lambda \leq H < 0.8\lambda$

10

であり、または、

$0.0725\lambda / a \leq h < 0.0775\lambda / a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.35\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.39\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.49\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.35\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.63\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.75\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $35.5^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.57\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $36.5^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.63\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $37.5^\circ \leq \theta < 38.5^\circ$ のとき $0.72\lambda \leq H < 0.8\lambda$

20

であり、または、

$0.0775\lambda / a \leq h < 0.0825\lambda / a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.34\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.41\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.47\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.69\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.44\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $35^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.65\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $36.5^\circ \leq \theta < 38^\circ$ のとき $0.77\lambda \leq H < 0.8\lambda$

30

であり、または

$0.0825\lambda / a \leq h < 0.0875\lambda / a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.36\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.44\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.57\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.37\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.51\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.59\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.72\lambda \leq H < 0.8\lambda$

40

であり、または

50

$0.0875\lambda/a \leq h < 0.0925\lambda/a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.39\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.58\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.53\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.67\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.0925\lambda/a \leq h < 0.0975\lambda/a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.63\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.6\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.0975\lambda/a \leq h < 0.1025\lambda/a$ であって、
 $25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.7\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.45\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.1025\lambda/a \leq h < 0.1125\lambda/a$ であって、
 $24.5^\circ \leq \theta < 25.5^\circ$ のとき $0.6\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.33\lambda$ 若しくは $0.64\lambda \leq H < 0.8\lambda$

であり、または、

$0.1125\lambda/a \leq h \leq 0.12\lambda/a$ であって、
 $22.5^\circ \leq \theta < 23.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.76\lambda$ 、および
 $23.5^\circ \leq \theta < 24.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.45\lambda$

であることを特徴とする弾性境界波素子。

【請求項2】

LiNbO₃ 基板と、

該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、

前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、を具備し、

前記基板の回転Yカット角を θ 、前記電極の密度の銅の密度に対する比を a 、前記電極に励振される弾性波の波長を λ 、前記電極の膜厚を h 、前記酸化シリコン膜の膜厚を H としたとき、

$0^\circ \leq \theta < 0.5^\circ$ であって、

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

であり、かつ

$0.6 \leq H/\lambda < 0.625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2H/\lambda + 1.8$ 、および

$0.625 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.543(H/\lambda)^2 - 2.484H/\lambda + 1.5$

であり、または

$0.5^\circ \leq \theta < 2^\circ$ であって、

$0.508 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

であり、かつ

10

20

30

40

50

$0.508 \leq H/\lambda < 0.531$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.3478 H/\lambda + 0.6847$ 、

$0.531 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6087 H/\lambda + 0.8232$ 、および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.6 (H/\lambda)^2 - 0.98 H/\lambda + 0.83$

であり、または

$2^\circ \leq \theta < 4.5^\circ$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

であり、かつ

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 28.998 (H/\lambda)^2 - 29.088 H/\lambda + 7.668$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.6 (H/\lambda)^2 - 2.06 H/\lambda + 1.003$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.0733 H/\lambda + 0.3877$

であり、または

$4.5^\circ \leq \theta < 7.5^\circ$ であって、

$0.3625 \leq H/\lambda < 0.496$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

$0.496 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.111 H/\lambda + 0.5511$ 、

$0.55 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 3.4 (H/\lambda)^2 - 4.45 H/\lambda + 1.909$ 、

$0.65 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.06 H/\lambda + 0.492$ 、および

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.45$ 、

であり、かつ

$0.3625 \leq H/\lambda < 0.3875$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.46 H/\lambda + 0.5293$ 、

$0.3875 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2.96 H/\lambda + 1.498$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.58 H/\lambda + 0.546$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.2667 (H/\lambda)^2 - 1.503 H/\lambda + 0.705$ 、および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.04 H/\lambda + 0.283$

であり、または

$7.5^\circ \leq \theta < 9.5^\circ$ であって、

$0.315 \leq H/\lambda < 0.406$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

$0.406 \leq H/\lambda < 0.419$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.077 H/\lambda + 0.8432$ 、

$0.419 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 61.7512 (H/\lambda)^2 - 55.565 H/\lambda + 12.8326$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.8667 (H/\lambda)^2 - 2.233 H/\lambda + 0.96$ 、および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.2 (H/\lambda)^2 - 0.32 H/\lambda + 0.412$ 、

であり、かつ

$0.315 \leq H/\lambda < 0.342$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5556 H/\lambda + 0.49$ 、

$0.342 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -3.75 H/\lambda + 1.582$

10

20

30

40

50

5、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6H/\lambda + 0.48$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.133(H/\lambda)^2 - 1.243H/\lambda + 0.556$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.1067(H/\lambda)^2 - 0.18H/\lambda + 0.2817$

であり、または

$9.5^\circ \leq \theta < 10.5^\circ$ であって、

$0.31 \leq H/\lambda < 0.37$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

$0.37 \leq H/\lambda < 0.383$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.37$ 、

$0.383 \leq H/\lambda < 0.392$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.111H/\lambda + 0.7956$ 、

$0.392 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2.5H/\lambda + 1.34$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 12(H/\lambda)^2 - 11.1H/\lambda + 2.86$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 3.2(H/\lambda)^2 - 3.36H/\lambda + 1.159$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.61$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.5455(H/\lambda)^2 - 0.7327H/\lambda + 0.509$ 、および

$0.61 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.08848(H/\lambda)^2 - 0.1616H/\lambda + 0.3307$ 、

であり、かつ

$0.31 \leq H/\lambda < 0.331$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4762H/\lambda + 0.4576$ 、

$0.331 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2.632H/\lambda + 1.171$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5H/\lambda + 0.425$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq (H/\lambda)^2 - 1.09H/\lambda + 0.501$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.1(H/\lambda)^2 - 0.17H/\lambda + 0.266$

であり、または

$10.5^\circ \leq \theta < 11.5^\circ$ であって、

$0.304 \leq H/\lambda < 0.36$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

$0.36 \leq H/\lambda < 0.3625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -4H/\lambda + 1.8$ 、

$0.3625 \leq H/\lambda < 0.375$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.8H/\lambda + 0.64$

、

$0.375 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 80.702(H/\lambda)^2 - 64.344H/\lambda + 13.120$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 3(H/\lambda)^2 - 3.091H/\lambda + 1.051$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4(H/\lambda)^2 - 0.56H/\lambda + 0.436$ 、および

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.02H/\lambda + 0.254$ 、

であり、かつ

$0.304 \leq H/\lambda < 0.329$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.56H/\lambda + 0.474$ 、

$0.329 \leq H/\lambda < 0.331$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -15H/\lambda + 5.225$ 、

$0.331 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -1.579H/\lambda + 0.7826$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4H/\lambda + 0.37$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.575$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.4762(H/\lambda)^2 - 0.5786H/\lambda + 0.3652$ 、および
 $0.575 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.0381(H/\lambda)^2 - 0.07905H/\lambda + 0.2229$

であり、または

$11.5^\circ \leq \theta < 12.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.358$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.7875$ 、

$0.358 \leq H/\lambda < 0.3625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -6.667H/\lambda + 2.7267$ 、
 $0.3625 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 27.781(H/\lambda)^2 - 22.3379H/\lambda + 4.7569$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2.18(H/\lambda)^2 - 2.271H/\lambda + 0.8263$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.44(H/\lambda)^2 - 0.578H/\lambda + 0.4148$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.02667H/\lambda + 0.2423$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.308$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5H/\lambda + 0.45$ 、
 $0.308 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 25.1541(H/\lambda)^2 - 18.099H/\lambda + 3.4683$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.8(H/\lambda)^2 - 1.69H/\lambda + 0.586$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.3333(H/\lambda)^2 - 0.4167H/\lambda + 0.31$ 、および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.02H/\lambda + 0.192$

であり、または

$12.5^\circ \leq \theta < 13.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.32$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

$0.32 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -H/\lambda + 0.64$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.373$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.3044H/\lambda + 0.7465$ 、

$0.373 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.6296H/\lambda + 0.4949$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.6(H/\lambda)^2 - 1.66H/\lambda + 0.651$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4667(H/\lambda)^2 - 0.61H/\lambda + 0.4093$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.02H/\lambda + 0.223$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.8H/\lambda + 0.48$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.27$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.09524(H/\lambda)^2 - 0.1595H/\lambda + 0.2325$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01143H/\lambda + 0.1771$

であり、または

10

20

30

40

50

1 3. $5^\circ \leq \theta < 14.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.318$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.318 \leq H/\lambda < 0.325$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -4H/\lambda + 1.59$ 、
 $0.325 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 6.933(H/\lambda)^2 - 5.88H/\lambda + 1.4687$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.585$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.6618(H/\lambda)^2 - 0.7924H/\lambda + 0.437$ 、および
 $0.585 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.11527(H/\lambda)^2 - 0.1829H/\lambda + 0.2676$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6H/\lambda + 0.4$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.475$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.8(H/\lambda)^2 - 0.82H/\lambda + 0.379$ 、
 $0.475 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.2095(H/\lambda)^2 - 0.2814H/\lambda + 0.2564$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.0133H/\lambda + 0.1707$

であり、または

1 4. $5^\circ \leq \theta < 15.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.304$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.304 \leq H/\lambda < 0.308$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.685$ 、
 $0.308 \leq H/\lambda < 0.321$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2.308H/\lambda + 1.011$ 、
 $0.321 \leq H/\lambda < 0.375$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 11.239(H/\lambda)^2 - 8.748H/\lambda + 1.920$ 、
 $0.375 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.1733(H/\lambda)^2 - 1.2347H/\lambda + 0.518$ 、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.267(H/\lambda)^2 - 0.36H/\lambda + 0.3073$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.01333H/\lambda + 0.1947$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5H/\lambda + 0.355$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.25$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.21$ 、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.03H/\lambda + 0.175$ 、および
 $0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.154$

であり、または

1 5. $5^\circ \leq \theta < 16.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.308$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.675$ 、
 $0.308 \leq H/\lambda < 0.311$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -10H/\lambda + 3.37$ 、
 $0.311 \leq H/\lambda < 0.321$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2H/\lambda + 0.882$ 、
 $0.321 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 5.9188(H/\lambda)^2 - 4.799H/\lambda + 1.171$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.711(H/\lambda)^2 - 0.7956H/\lambda + 0.4024$ 、
 $0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.128(H/\lambda)^2 - 0.197H/\lambda + 0.2495$ 、

10

20

30

40

50

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.35 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4 H/\lambda + 0.31、$$

$$0.35 \leq H/\lambda < 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.3556 (H/\lambda)^2 - 0.4089 H/\lambda + 0.2696、\text{ および}$$

$$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.08762 (H/\lambda)^2 - 0.1306 H/\lambda + 0.1974$$

であり、または、

$$16.5^\circ \leq \theta < 17.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 8.6 (H/\lambda)^2 - 6.75 H/\lambda + 1.511、$$

$$0.4 \leq H/\lambda < 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.467 (H/\lambda)^2 - 0.557 H/\lambda + 0.335、\text{ および}$$

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0667 (H/\lambda)^2 - 0.11 H/\lambda + 0.2103、$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 1.133 (H/\lambda)^2 - 1.043 H/\lambda + 0.391、$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.6 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.133 (H/\lambda)^2 - 0.183 H/\lambda + 0.2065、\text{ および}$$

$$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.0075 H/\lambda + 0.149$$

であり、または

$$17.5^\circ \leq \theta < 18.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 4 (H/\lambda)^2 - 3.28 H/\lambda + 0.848、$$

$$0.4 \leq H/\lambda < 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.467 (H/\lambda)^2 - 0.537 H/\lambda + 0.316、\text{ および}$$

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.1 (H/\lambda)^2 - 0.155 H/\lambda + 0.217、$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.867 (H/\lambda)^2 - 0.817 H/\lambda + 0.337、$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.05 H/\lambda + 0.1675、\text{ および}$$

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.008 H/\lambda + 0.1444$$

であり、または

$$18.5^\circ \leq \theta < 19.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 2.8 (H/\lambda)^2 - 2.34 H/\lambda + 0.655$$

$$0.4 \leq H/\lambda < 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.467 (H/\lambda)^2 - 0.537 H/\lambda + 0.307、\text{ および}$$

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.04 (H/\lambda)^2 - 0.07 H/\lambda + 0.1794、$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.933 (H/\lambda)^2 - 0.847 H/\lambda + 0.331、\text{ および}$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.6 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.081 (H/\lambda)^2 - 0.118 H/\lambda + 0.1759、\text{ および}$$

$$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.005 H/\lambda + 0.137$$

であり、または

$$19.5^\circ \leq \theta < 20.5^\circ \text{ であって、}$$

10

20

30

40

50

0. $3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2.4 (H/\lambda)^2 - 2H/\lambda + 0.574$ 、

0. $4 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4 (H/\lambda)^2 - 0.46H/\lambda + 0.278$ 、および

0. $55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0933 (H/\lambda)^2 - 0.142H/\lambda + 0.1959$ 、

であり、かつ

0. $3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.667 (H/\lambda)^2 - 0.627H/\lambda + 0.281$ 、および

0. $45 \leq H/\lambda < 0.575$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.107 (H/\lambda)^2 - 0.141H/\lambda + 0.176$ 、および

0. $575 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.00444H/\lambda + 0.1326$

であり、または

20. $5^\circ \leq \theta < 21.5^\circ$ であって、

0. $3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2.2 (H/\lambda)^2 - 1.83H/\lambda + 0.529$ 、

0. $4 \leq H/\lambda < 0.52$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.357 (H/\lambda)^2 - 0.404H/\lambda + 0.2533$ 、および

0. $52 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0604 (H/\lambda)^2 - 0.0976H/\lambda + 0.1744$ 、

であり、かつ

0. $3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.733 (H/\lambda)^2 - 0.657H/\lambda + 0.276$ 、および

0. $45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.04286 (H/\lambda)^2 - 0.065H/\lambda + 0.1496$

であり、または

21. $5^\circ \leq \theta < 22.5^\circ$ であって、

0. $3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.198 (H/\lambda)^2 - 0.291H/\lambda + 0.234$ 、

であり、かつ

0. $3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.8 (H/\lambda)^2 - 0.69H/\lambda + 0.2735$ 、および

0. $45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.00286H/\lambda + 0.1263$

であり、または、

22. $5^\circ \leq \theta < 23.5^\circ$ であって、

0. $3 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.568 (H/\lambda)^2 - 0.649H/\lambda + 0.2976$ 、および

0. $7 \leq H/\lambda < 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03H/\lambda + 0.1425$

であり、かつ

0. $3 \leq H/\lambda < 0.73$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.136 (H/\lambda)^2 - 0.174H/\lambda + 0.1719$ 、および

0. $73 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.125H/\lambda + 0.02625$

であり、または、

23. $5^\circ \leq \theta < 24^\circ$ であって、

0. $3 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4 (H/\lambda)^2 - 0.46H/\lambda + 0.246$ 、および

0. $5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.116$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.667(H/\lambda)^2 - 0.613$
 $H/\lambda + 0.253$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01H/\lambda + 0.118$
 であり、または、

$23.5^\circ \leq \theta < 24^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.208H/\lambda + 0.128$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.125H/\lambda + 0.0925$
 であり、または、

10

$24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ であって、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.12$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.08H/\lambda + 0.156$ 、お
 よび

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.116$

であり、かつ、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.047H/\lambda + 0.136$ 、
 および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01H/\lambda + 0.118$

であり、または、

20

$24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.208H/\lambda + 0.128$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.125H/\lambda + 0.0925$
 であり、または、

$25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.05H/\lambda + 0.132$ 、お
 び

$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.112$

であり、かつ、

30

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.1$

であり、または、

$25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.3H/\lambda + 0.17$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.09$
 であり、または、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.11$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.04H/\lambda + 0.124$ 、お
 よび

40

$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.108$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.08$ 、

$0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.2H/\lambda + 0.01$ 、および

$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.015H/\lambda + 0.084$

であり、または、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.08$ 、および

$0.35 \leq H/\lambda \leq 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.5H/\lambda + 0.255$ 、

50

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.09H/\lambda + 0.091$$

であり、または、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ であって、

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.1H/\lambda + 0.091$$

であり、かつ、

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.087$$

であり、または、

$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ であって、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03H/\lambda + 0.116, \text{ および}$$

$$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.005H/\lambda + 0.102$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.38 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.07,$$

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.5H/\lambda - 0.12,$$

$$0.4 \leq H/\lambda < 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.067H/\lambda + 0.053, \text{ および}$$

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.008H/\lambda + 0.0856$$

であり、または、

$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ であって、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.38 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.07,$$

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.41 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.5H/\lambda + 0.26, \text{ および}$$

$$0.41 \leq H/\lambda \leq 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.111H/\lambda + 0.101$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.35 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.16H/\lambda + 0.116,$$

$$0.35 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.095,$$

$$0.4 \leq H/\lambda < 0.47 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.171H/\lambda + 0.119, \text{ および}$$

$$0.47 \leq H/\lambda \leq 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.233H/\lambda - 0.0717$$

であり、または、

$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ であって、

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.008H/\lambda + 0.0956$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.14H/\lambda + 0.114,$$

$$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.42 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.058, \text{ および}$$

$$0.42 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.342(H/\lambda)^2 + 0.465H/\lambda - 0.0648$$

であり、または、

$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ であって、

$$0.42 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0052,$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.53 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0875H/\lambda + 0.0914, \text{ および}$$

$$0.53 \leq H/\lambda \leq 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.75H/\lambda + 0.443$$

であり、かつ、

$$0.42 \leq H/\lambda < 0.46 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.175H/\lambda + 0.121$$

、

$$0.46 \leq H/\lambda < 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.04, \text{ および}$$

$$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.14$$

であり、または、

10

20

30

40

50

28. $5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ であって、

$0.55 \leq H/\lambda < 0.58$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.167 H/\lambda - 0.0617$ 、
および

$0.58 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0294 H/\lambda + 0.0521$ 、

であり、かつ、

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

であり、または、

29. $5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ であって、

$0.32 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.286 (H/\lambda)^2 + 0.356 H/\lambda - 0.0027$ 10

であり、かつ、

$0.32 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 3.33 (H/\lambda)^2 - 2.7 H/\lambda + 0.605$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.44$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.058$ 、および

$0.44 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.75 (H/\lambda)^2 + 1.005 H/\lambda - 0.239$

であり、または、

29. $5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.46$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.052$ 、 20

$0.46 \leq H/\lambda < 0.57$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0727 H/\lambda + 0.0855$ 、

$0.57 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.333 H/\lambda + 0.234$ 、
および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0267 H/\lambda + 0.05$

であり、かつ、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4 H/\lambda + 0.224$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.14 H/\lambda + 0.107$ 、

および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$ 30

であり、または、

30. $5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ であって、

$0.36 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.131 (H/\lambda)^2 + 0.188 H/\lambda + 0.00293$

であり、かつ、

$0.36 \leq H/\lambda < 0.43$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 4.64 (H/\lambda)^2 - 3.95 H/\lambda + 0.902$ 、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.465$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.06$ 、および

$0.465 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.283 (H/\lambda)^2 + 0.424 H/\lambda - 0.0758$ 40

であり、または、

30. $5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.465$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06$ 、

$0.465 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.108 H/\lambda + 0.105$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0333 H/\lambda + 0.056$

7

であり、かつ、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.65 H/\lambda + 0.34$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.57$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.142 H/\lambda + 0.111$ 50

、および

$$0.57 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$$

であり、または、

31.5° ≤ θ < 32.5° であって、

$$0.39 \leq H/\lambda < 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.153 (H/\lambda)^2 + 0.219 H/\lambda + 0.0169$$

であり、かつ、

$$0.39 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2 H/\lambda + 0.15、$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.6、および$$

$$0.48 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.346 (H/\lambda)^2 + 0.5 H/\lambda - 0.1 \quad 10$$

であり、または、

31.5° ≤ θ < 32.5° であって、

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06、$$

$$0.48 \leq H/\lambda < 0.65 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.135 H/\lambda + 0.125$$

、および

$$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0333 H/\lambda + 0.0587$$

であり、かつ、

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.58 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.154 H/\lambda + 0.119 \quad 20$$

、および

$$0.58 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$$

であり、または、

32.5° ≤ θ < 33.5° であって、

$$0.43 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -1.266 (H/\lambda)^2 + 1.614 H/\lambda - 0.39$$

であり、かつ、

$$0.43 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4 H/\lambda + 0.242、$$

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.062、および$$

$$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.167 (H/\lambda)^2 + 0.263 H/\lambda - 0.028 \quad 30$$

であり、または、

32.5° ≤ θ < 33.5° であって、

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06 H/\lambda + 0.028、$$

$$0.5 \leq H/\lambda < 0.7 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.11 H/\lambda + 0.113、および$$

$$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03 H/\lambda + 0.057$$

であり、かつ、

$$0.45 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.3 H/\lambda + 0.19、$$

$$0.48 \leq H/\lambda < 0.59 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.145 H/\lambda + 0.116 \quad 40$$

、および

$$0.59 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$$

であり、または、

33.5° ≤ θ < 35° であって、

$$0.425 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.284 (H/\lambda)^2 + 0.396 H/\lambda - 0.0471$$

であり、かつ、

$$0.425 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.109 H/\lambda + 0.11$$

6、

$$0.48 \leq H/\lambda < 0.57 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.064、および$$

$0.57 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6594 (H/\lambda)^2 + 0.9382 H/\lambda - 0.257$

であり、または、

$33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ であって、

$0.48 \leq H/\lambda < 0.52$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.064$ 、および

$0.52 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0929 H/\lambda + 0.108$ であり、かつ、

$0.48 \leq H/\lambda < 0.59$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.155 H/\lambda + 0.121$ 、および

$0.59 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

10

であり、または、

$35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ であって、

$0.54 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.273 (H/\lambda)^2 + 0.415 H/\lambda - 0.0748$

であり、かつ、

$0.54 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.06$ 、および

$0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5 (H/\lambda)^2 + 0.76 H/\lambda - 0.219$

であり、または、

$35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ であって、

20

$0.5 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06$ 、および

$0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.117 H/\lambda + 0.132$

であり、かつ、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.16 H/\lambda + 0.126$ 、および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

であり、または、

$37.5^\circ \leq \theta < 39^\circ$ であって、

$0.52 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.2 H/\lambda - 0.054$ 、

$0.6 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.066$ 、

30

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.09 H/\lambda + 0.003$ 、

であり、かつ、

$0.52 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2 H/\lambda + 0.154$ 、

$0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

であることを特徴とする弾性境界波素子。

【請求項3】

LiNbO₃ 基板と、

該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、

前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、を具備し、

前記基板の回転Yカット角を θ 、前記電極の密度の銅の密度に対する比を a 、前記電極に励振される弾性波の波長を λ 、前記電極の膜厚を h 、前記酸化シリコン膜の膜厚を H としたとき、

40

$0.03 \lambda/a \leq h < 0.0375 \lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 75 (H/\lambda)^2 - 82.5 H/\lambda + 103.687$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $\theta \geq -85.7 H/\lambda + 97.7$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 42$

であり、または、

$0.03 \lambda/a \leq h < 0.0375 \lambda/a$ であって、

50

$0.45 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $\theta \leq 120H/\lambda - 36$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 42$ 、

であり、かつ、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $\theta \geq 18$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 40H/\lambda - 2$

であり、または、

$0.0375\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 24(H/\lambda) + 88.8$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \geq -120H/\lambda + 114$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 48$

であり、または、

$0.0375\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \leq 180H/\lambda - 51$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 48$

であり、かつ、

$0.43 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 34.3H/\lambda + 11.6$

であり、または、

$0.0525\lambda/a \leq h < 0.065\lambda/a$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 80H/\lambda - 4$

であり、かつ、

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 20H/\lambda + 23$

であり、または、

$0.065\lambda/a \leq h < 0.0725\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $\theta \leq -26.7(H/\lambda)^2 + 52H/\lambda + 15.5$ 、
および

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 25H/\lambda + 21$ 、

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -16.7(H/\lambda)^2 + 38.3H/\lambda + 16$

であり、または、

$0.0725\lambda/a \leq h < 0.0775\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -25(H/\lambda)^2 + 47.5H/\lambda + 17$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -25(H/\lambda)^2 + 42.5H/\lambda + 15.2$

であり、または、

$0.0775\lambda/a \leq h < 0.0825\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -21.4(H/\lambda)^2 + 38.2H/\lambda + 20.1$

1

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -23.3(H/\lambda)^2 + 35.8H/\lambda + 17.4$

4

であり、または、

$0.0825\lambda/a \leq h < 0.0875\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -13.3(H/\lambda)^2 + 24.7H/\lambda + 24$

であり、かつ、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -16(H/\lambda)^2 + 25.6H/\lambda + 19.8$

であり、または、

$0.0875\lambda/a \leq h < 0.0925\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \leq 10H/\lambda + 26.5$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 6H/\lambda + 28.7$ 、

10

20

30

40

50

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \geq 4H/\lambda + 25.3$$

であり、または、

$$0.0925\lambda/a \leq h < 0.0975\lambda/a \text{ であって、} \\ 0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \leq 4H/\lambda + 28.3$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \geq 2H/\lambda + 25.9$$

であり、または、

$$0.0975\lambda/a \leq h < 0.1025\lambda/a \text{ であって、} \\ 0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \leq 2H/\lambda + 28.2$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \geq 26$$

であり、または、

$$0.1025\lambda/a \leq h < 0.105\lambda/a \text{ であって、} \\ 0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \leq 28$$

であり、かつ、

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.5 \text{ のとき } \theta \geq -5H/\lambda + 27.5、および$$

$$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } \theta \geq 25$$

であることを特徴とする弾性境界波素子。

【請求項 4】

LiNbO₃ 基板と、

該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、

前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、を具備し、

弾性境界波素子で利用する SH 成分を主成分とする境界波の最も近傍の周波数で励振する SV 成分を主成分とする境界波の電気機械結合係数が 0.001 以下であることを特徴とする弾性境界波素子。

【請求項 5】

LiNbO₃ 基板と、

該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、

前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、を具備し、

弾性境界波素子で利用する SH 成分を主成分とする境界波の最も近傍の周波数で励振する SV 成分を主成分とする境界波の電気機械結合係数が 0.00015 以下であることを特徴とする弾性境界波素子。

【請求項 6】

前記 SH 成分を主成分とする境界波の伝搬方向は、前記基板の X 軸方向であることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の弾性境界波素子。

【請求項 7】

前記酸化シリコン膜上に設けられた媒質膜を具備することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の弾性境界波素子。

【請求項 8】

前記媒質膜中の音速は、前記酸化シリコン膜中の音速より速いことを特徴とする請求項 7 記載の弾性境界波素子。

【請求項 9】

前記媒質膜は、窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウムおよびシリコンのいずれか 1 つを含むことを特徴とする請求項 7 記載の弾性境界波素子。

【請求項 10】

前記電極の密度は、前記酸化シリコン膜の密度より大きいことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の弾性境界波素子。

【請求項 11】

前記電極は銅を含むことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の弾性境界波

10

20

30

40

50

素子。

【請求項 1 2】

前記電極は 2 層以上の多層構造であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の弾性境界波素子。

【請求項 1 3】

前記電極は、前記基板上に設けられたチタン層と、該チタン層上に設けられた銅層を含むことを特徴とする請求項 1 2 記載の弾性境界波素子。

【請求項 1 4】

前記電極を覆うバリア層を具備することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の弾性境界波素子。

【請求項 1 5】

請求項 1 から 1 4 のいずれか一項記載の弾性境界波素子を有することを特徴とする共振器。

【請求項 1 6】

請求項 1 から 1 4 のいずれか一項記載の弾性境界波素子を有することを特徴とするフィルタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、弾性境界波素子、共振器およびフィルタに関し、特に、ストンリー波を抑圧することが可能な弾性境界波素子、共振器およびフィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

弾性波を応用した装置の一つとして、弾性表面波（SAW：Surface Acoustic Wave Device）デバイスが以前より良く知られている。この SAW デバイスは、例えば携帯電話に代表される 45 MHz ～ 2 GHz の周波数帯における無線信号を処理する各種回路、例えば送信バンドパスフィルタ、受信バンドパスフィルタ、局発フィルタ、アンテナ共用器、IF フィルタ、FM 変調器等に用いられている。

【0003】

温度特性を向上させるため、特許文献 1 においては、圧電基板上に圧電基板と温度特性の符号が異なる酸化シリコン膜を成膜した弾性表面波素子が開示されている。さらに、弾性表面波素子は弾性波が基板表面に集中して伝搬するため、その基板表面に異物が付着すると、周波数の変動、電氣的損失の増大などの特性変化あるいは劣化が生じてしまう。そこで、通常、弾性表面波素子は密閉された構造のパッケージに実装される。このため、素子の小型化が容易ではなく、製造コストの増大の要因ともなっている。

【0004】

そこで、温度特性の改善および素子の小型化および製造コスト削減を実現させるため、表面波ではなく、異なる媒質の境界を伝搬する境界波を用いるデバイスが非特許文献 1 に開示されている。非特許文献 1 では、0° の回転 Y 板 LiNbO₃（LN 基板）上に酸化シリコン膜およびシリコン膜が積層した構造における境界波について、計算結果をもとに開示されている。

【特許文献 1】特開 2003-209458 号公報

【非特許文献 1】Masatsune Yamaguchi, Takashi Yamashita, Ken-ya Hashimoto, Tatsuya Omori, 「Highly Piezoelectric Boundary Waves in Si/SiO₂/LiNbO₃ Structure」、Proceeding of 1998 IEEE International Frequency Control Symposium、(米国)、IEEE、1998 年、p 484-488。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

非特許文献 1 においては、実際の使用に耐える良好な特性を有する弾性境界波素子の実

10

20

30

40

50

現方法までは開示していない。使用に耐えるための課題として、弾性境界波素子で利用する弾性境界波以外に不要応答として励振されてしまう弾性波の存在がある。このような不要応答は、弾性境界波素子の機能として使用する弾性境界波の良好な周波数特性の妨げとなる。例えば、図1は弾性境界波素子を用いた1ポート共振器の通過特性を示した図である。図1のSHは弾性境界波素子で利用する（つまり、弾性境界波素子でその機能を発揮するため用いる）SH（Shear Horizontal）波を主成分とする波の応答である。SHの低周波数側にSVと示した応答が観測される。これは、SV（Shear Vertical）波を主成分とするストンリー波と呼ばれる波である。図1のように、弾性境界波素子で利用するSH波を主成分とする境界波の最も近傍の周波数で励振する弾性境界波としてストンリー波がある。

10

【0006】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、弾性境界波素子の機能として使用する弾性境界波の近傍の周波数に出現するストンリー波を抑圧することが可能な弾性境界波素子、共振器およびフィルタを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、LiNbO₃基板と、該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、前記酸化シリコン膜上に形成された媒質膜と、を具備し、前記基板の回転Yカット角を θ 、前記電極の密度の銅の密度に対する比を a 、前記電極に励振される弾性波の波長を λ 、前記電極の膜厚を h 、前記酸化シリコン膜の膜厚を H としたとき、 θ 、 a 、 λ 、 h および H をストンリー波の電気機械結合係数 k^2 が0.00015以下の範囲となるように設定することを特徴とする弾性境界波素子である。本発明によれば、ストンリー波の k^2 が0.00015以下となる。よって、ストンリー波を抑圧することができる。

20

【0008】

本発明は、LiNbO₃基板と、該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、前記酸化シリコン膜上に形成された媒質膜と、を具備し、弾性境界波素子で利用するSH成分を主成分とする境界波の最も近傍の周波数で励振するSV成分を主成分とする境界波の電気機械結合係数が0.001以下であることを特徴とする弾性境界波素子である。本発明によれば、ストンリー波の k^2 を水晶の弾性表面波の k^2 以下とすることができる。よって、ストンリー波を抑圧することができる。

30

【0009】

本発明は、LiNbO₃基板と、該基板上に設けられた弾性波を励振する電極と、前記基板上に前記電極を覆うように設けられた酸化シリコン膜と、前記酸化シリコン膜上に形成された媒質膜と、を具備し、弾性境界波素子で利用するSH成分を主成分とする境界波の最も近傍の周波数で励振するSV成分を主成分とする境界波の電気機械結合係数が0.00015以下であることを特徴とする弾性境界波素子である。本発明によれば、ストンリー波を抑圧することができる。

【0010】

上記構成において、前記SH成分を主成分とする境界波の伝搬方向は、前記基板のX軸方向である構成とすることができる。

40

【0011】

上記構成において、前記酸化シリコン膜上に設けられた媒質膜を具備する構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記媒質膜中の音速は、前記酸化シリコン膜中の音速より速い構成とすることができる。また、上記構成において、前記媒質膜は、窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウムおよびシリコンのいずれか1つを含む構成とすることができる。この構成によれば、弾性境界波を酸化シリコン膜中に閉じ込めることができる。

50

【0013】

上記構成において、前記電極の密度は、前記酸化シリコン膜の密度より大きい構成とすることができる。この構成によれば、弾性境界波の反射を増大させることができる。また、上記構成において、前記電極は銅を含む構成とすることができる。この構成によれば、銅は酸化シリコン膜より密度が高い、また、低抵抗なため、損失を低減することができる。

【0014】

上記構成において、前記電極は2層以上の多層構造である構成とすることができる。また、上記構成において、前記電極は、前記基板上に設けられたチタン層と、該チタン層上に設けられた銅層を含む構成とすることができる。この構成によれば、電極と基板との密着を向上させることができる。 10

【0015】

上記構成において、前記電極を覆うバリア層を具備する構成とすることができる。この構成によれば、電極の材料が酸化シリコン膜に拡散することを抑制することができる。

【0016】

本発明は、上記構成の弾性境界波素子を有する共振器である。本発明によれば、ストンリー波を抑圧した共振器を提供することができる。

【0017】

本発明は、上記構成の弾性境界波素子を有するフィルタである。本発明によれば、ストンリー波を抑圧したフィルタを提供することができる。 20

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、弾性境界波素子の機能として使用する弾性境界波の近傍の周波数に出現するストンリー波を抑圧することが可能な弾性境界波素子、共振器およびフィルタを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を参照に本発明の実施例について説明する。

【実施例1】

【0020】

発明者は、ストンリー波を抑圧するため、有限要素法によるシミュレーションを行い、さまざまな構造の弾性境界波素子におけるストンリー波の電気機械結合係数 k^2 の大きさを計算した。図2は計算に用いた弾性境界波素子の断面図である。回転Y板のLiNbO₃基板(LN基板)10上にCu(銅)を主成分とする電極16が設けられている。電極16は、すだれ電極(IDT)または楕形電極であり、弾性波を励振する電極である。基板10上に電極16を覆うように酸化シリコン(SiO₂)膜12が設けられている。酸化シリコン膜12上に酸化アルミニウム(Al₂O₃)膜14(媒質膜)が設けられている。 30

【0021】

シミュレーションに用いるパラメータとして、電極16の密度のCuの密度(8.92 g/cm³)に対する比をa、電極16に励振される弾性波の波長(すなわち電極16の1つおきの間隔)をλ、基板10の回転Yカット角をθ、電極16の膜厚をh、酸化シリコン膜12の膜厚をHとした。シミュレーションは、図3に示したように図2のうち電極1本分を基本単位とし、基本単位が無限に繰り返される場合を計算した。本明細書に示した計算結果においては、SH波を主成分とする弾性境界波の k^2 は0.04から0.15であり、高周波帯のフィルタを構成するには十分な大きさであった。また、図4、図8から図19では k^2 が負となることもあるが、本来は、計算した k^2 の絶対値を取るべきである。よって、図20から図42並びに図47から図67では k^2 として絶対値で表示している。また、 k^2 が0.00015以下というように表現するときは計算結果である k^2 の絶対値が0.00015以下であることを示している。 40 50

【0022】

シミュレーションが実際の弾性境界波素子の k^2 を精度よく計算できているかを調べるため、シミュレーション結果と実際に作製した弾性境界波素子のストンリー波の k^2 を比較した。図4の実線は、 $\lambda = 1.982 \mu\text{m}$ 、 $h = 188 \text{ nm}$ 、 $\theta = 30^\circ$ 、つまり $h/\lambda = 0.095$ のときの k^2 の SiO_2 膜厚 (H/λ) 依存を計算した結果である。一方、同様の λ 、 h 、 θ を用い、 SiO_2 膜厚 (H/λ) が 0.33 、 0.38 、 0.42 、 0.45 、 0.52 および 0.58 の弾性境界波素子を作製し、各弾性境界波素子の周波数特性を測定した。作製した1ポート共振器の弾性境界波素子を用い挿入損失の周波数特性を測定した結果をそれぞれ図5(a)から図7(b)に示す。また、各弾性境界波素子のストンリー波の k^2 を図4のS1、S2、S3、S4、S5およびS6で示した。図4のS1、S2、S3、S4、S5およびS6で示した条件で作製した弾性境界波素子の測定結果がそれぞれ図5(a)から図7(b)に対応している。図4より、発明者が用いたシミュレーションは実際の測定結果とよく一致している。図5(a)および図5(b)においては、大きなストンリー波の応答が観測されている。一方、図6(a)においては、ストンリー波は小さくなり、図6(b)においては、ストンリー波の応答は非常に小さくなる。そして、図7(a)および図7(b)においては、ストンリー波の応答は観測されない。これらの測定結果と図4の計算結果を比較すると、ストンリー波の k^2 の値が 0.00015 以下であれば、ストンリー波の応答は非常に小さなものとなり、実用上問題無くなる事が分かる。

10

【0023】

20

弾性表面波素子として用いられる媒質で、弾性表面波素子の機能として用いる弾性波の k^2 が小さい材料としては水晶がある。水晶の k^2 は 0.001 である。よって、ストンリー波の k^2 は、少なくとも水晶の弾性表面波素子において、その機能として用いる弾性波である弾性表面波の k^2 より小さいことが求められる。すなわち、ストンリー波の k^2 が 0.001 以下であることが求められる。

【0024】

図8から図19は、シミュレーション結果を示す図であり、 SiO_2 膜厚 (H/λ) に対するストンリー波の電気機械結合係数 k^2 を示した図である。図8から図19はそれぞれ電極膜厚 h が $0.045\lambda/a$ 、 $0.045\lambda/a$ 、 $0.06\lambda/a$ 、 $0.07\lambda/a$ 、 $0.075\lambda/a$ 、 $0.08\lambda/a$ 、 $0.085\lambda/a$ 、 $0.09\lambda/a$ 、 $0.095\lambda/a$ 、 $0.1\lambda/a$ 、 $0.105\lambda/a$ および $0.12\lambda/a$ のときの結果である。各計算点は、両側の隣の計算点の中間点間を代表すると仮定した。すなわち、例えば、図10は $h = 0.06\lambda/a$ の計算結果は、 $h = 0.06\lambda/a$ と図8および図9の計算点 $h = 0.045\lambda/a$ との中間点 $h = 0.0525\lambda/a$ と、 $h = 0.06\lambda/a$ と図11の計算点 $h = 0.07\lambda/a$ との中間点 $0.065\lambda/a$ と、の間の $0.0525\lambda/a \leq h < 0.065\lambda/a$ を代表するとした。また、図8のように片側の隣の計算値がない場合は、図8の計算値と片側の隣の計算点との間を代表するとした。例えば、図8は、図8の計算点 $h = 0.045\lambda/a$ と、 $h = 0.045\lambda/a$ と図10の計算点 $h = 0.06\lambda/a$ との中間点 $h = 0.0525\lambda/a$ と、の間の $0.045\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ を代表するとした。同様に、図8において、 $\theta = 26^\circ$ の線は、 $\theta = 26^\circ$ と $\theta = 24^\circ$ との中間点 $\theta = 25^\circ$ と、 $\theta = 26^\circ$ と $\theta = 27^\circ$ との中間点 $\theta = 26.5^\circ$ と、の間の $25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ を代表するとした。

30

40

【0025】

図8から図19を用い、ストンリー波の k^2 が 0.00015 以下になる範囲を求めた。図8から図19のいずれかの範囲とすることにより、ストンリー波の k^2 を 0.00015 以下とすることができる。図8から図19においては、 k^2 が 0.00015 以下の範囲の計算結果の曲線を実線で、その以外の範囲の計算結果の曲線を破線で表した。

【0026】

図8および図9より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $0.045\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

50

$25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.46\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.41\lambda \leq H < 0.48\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.51\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.53\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.45\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.58\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.61\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.64\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.67\lambda$ 、
 $35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.74\lambda$ 、
 $37.5^\circ \leq \theta < 42^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $42^\circ \leq \theta < 57^\circ$ のとき $0.55\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $57^\circ \leq \theta < 63^\circ$ のとき $0.51\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $63^\circ \leq \theta < 69^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $69^\circ \leq \theta < 75^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $75^\circ \leq \theta < 99^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $99^\circ \leq \theta < 105^\circ$ のとき $0.58\lambda \leq H < 0.8\lambda$

10

である。

【0027】

図10より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $0.0525\lambda/a \leq h < 0.065\lambda/a$ であって、
 $24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.32\lambda$ 、
 $25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.37\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.38\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.34\lambda \leq H < 0.41\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.37\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.44\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.47\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.44\lambda \leq H < 0.48\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.49\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.51\lambda$ 、
 $34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.48\lambda \leq H < 0.57\lambda$ 、
 $35.5^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.62\lambda$ 、
 $36.5^\circ \leq \theta < 38^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.67\lambda$ 、
 $38^\circ \leq \theta < 40.5^\circ$ のとき $0.54\lambda \leq H < 0.79\lambda$ 、
 $40.5^\circ \leq \theta < 43.5^\circ$ のとき $0.58\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $43.5^\circ \leq \theta < 46.5^\circ$ のとき $0.61\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $46.5^\circ \leq \theta < 51^\circ$ のとき $0.64\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $51^\circ \leq \theta < 57^\circ$ のとき $0.69\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $57^\circ \leq \theta < 63^\circ$ のとき $0.78\lambda \leq H < 0.8\lambda$

20

30

40

である。

【0028】

図11より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $0.065\lambda/a \leq h < 0.0725\lambda/a$ であって、
 $25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.32\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.36\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.38\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.34\lambda \leq H < 0.46\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.5\lambda$ 、

50

$31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.55\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.6\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.46\lambda \leq H < 0.66\lambda$ 、
 $35^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.54\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $36.5^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.59\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $37.5^\circ \leq \theta < 38.5^\circ$ のとき $0.65\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $38.5^\circ \leq \theta < 39^\circ$ のとき $0.73\lambda \leq H < 0.8\lambda$

である。

【0029】

図12より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

10

$0.0725\lambda/a \leq h < 0.0775\lambda/a$ であって、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.35\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.39\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.43\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.49\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.35\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.63\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.75\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.52\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $35.5^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.57\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $36.5^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ のとき $0.63\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $37.5^\circ \leq \theta < 38.5^\circ$ のとき $0.72\lambda \leq H < 0.8\lambda$

20

である。

【0030】

図13より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$0.0775\lambda/a \leq h < 0.0825\lambda/a$ であって、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.34\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.41\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.47\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.56\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.69\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.39\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.44\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ のとき $0.5\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $35^\circ \leq \theta < 36.5^\circ$ のとき $0.65\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $36.5^\circ \leq \theta < 38^\circ$ のとき $0.77\lambda \leq H < 0.8\lambda$

30

である。

【0031】

図14より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

40

$0.0825\lambda/a \leq h < 0.0875\lambda/a$ であって、

$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.36\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.44\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.57\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.37\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.51\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $33.5^\circ \leq \theta < 34.5^\circ$ のとき $0.59\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $34.5^\circ \leq \theta < 35.5^\circ$ のとき $0.72\lambda \leq H < 0.8\lambda$

50

である。

【0032】

図15より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0875\lambda/a \leq h < 0.0925\lambda/a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.39\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.58\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.33\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.43\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ のとき $0.53\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ のとき $0.67\lambda \leq H < 0.8\lambda$

10

である。

【0033】

図16より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0925\lambda/a \leq h < 0.0975\lambda/a$ であって、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.63\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ のとき $0.42\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ のとき $0.6\lambda \leq H < 0.8\lambda$

20

である。

【0034】

図17より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0975\lambda/a \leq h < 0.1025\lambda/a$ であって、
 $25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.32\lambda \leq H < 0.7\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ のとき $0.45\lambda \leq H < 0.8\lambda$

である。

【0035】

図18より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.1025\lambda/a \leq h < 0.1125\lambda/a$ であって、
 $24.5^\circ \leq \theta < 25.5^\circ$ のとき $0.6\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $25.5^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.8\lambda$ 、および
 $27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ$ のとき $0.3\lambda \leq H < 0.33\lambda$ 若しくは $0.64\lambda \leq H < 0.8\lambda$

30

である。

【0036】

図19より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.1125\lambda/a \leq h \leq 0.12\lambda/a$ であって、
 $22.5^\circ \leq \theta < 23.5^\circ$ のとき $0.47\lambda \leq H < 0.76\lambda$ 、および
 $23.5^\circ \leq \theta < 24.5^\circ$ のとき $0.36\lambda \leq H < 0.45\lambda$

40

である。

【0037】

図20から図31は、 SiO_2 膜厚 (H/λ) および電極膜圧 (h/λ) に対するスト
 ンリー波の電気機械結合係数 k^2 を示した図である。図20から図31はそれぞれYカッ
 ト角 θ が 24° 、 26° 、 27° 、 28° 、 29° 、 30° 、 31° 、 32° 、 33° 、
 34° 、 36° および 39° のときの結果である。図8から図19で説明したように、各
 計算点は、両側の隣の計算点の中間点間を代表すると仮定した。図20から図31の下に

50

は各図の k^2 が 0.00015 となる線を 1 次または 2 次曲線で近似した式を記載した。これらの曲線より、各図において、 k^2 が 0.00015 以下となる範囲を求めた。図 20 から図 31 のいずれかの範囲とすることにより、ストンリー波の k^2 を 0.00015 以下とすることができる。

【0038】

図 20 より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ であって、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.12$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.08H/\lambda + 0.15$ 、およ
 び
 $0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.116$
 であり、かつ
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.047H/\lambda + 0.136$ 、
 および
 $0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01H/\lambda + 0.118$
 である。また
 $24^\circ \leq \theta < 25^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.208H/\lambda + 0.128$
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.125H/\lambda + 0.0925$ 20
 である。

【0039】

図 21 より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.05H/\lambda + 0.132$ 、およ
 び
 $0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.112$
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.1$
 である。または、
 $25^\circ \leq \theta < 26.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.3H/\lambda + 0.17$
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.09$
 である。 30

【0040】

図 22 より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.11$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.04H/\lambda + 0.124$ 、お
 よび
 $0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.108$
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.08$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.2H/\lambda + 0.01$ 、および
 $0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.015H/\lambda + 0.084$
 である。または、
 $26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.08$ 、および
 $0.35 \leq H/\lambda \leq 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.5H/\lambda + 0.255$ 、 40
 50

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.09H/\lambda + 0.091$$

である。または、

$$26.5^\circ \leq \theta < 27.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.1H/\lambda + 0.091$$

であり、かつ

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.48 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.087$$

である。

【0041】

図23より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

10

$$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ \text{ であって、}$$

0.3 $\leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03H/\lambda + 0.116$ 、および

$$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.005H/\lambda + 0.102$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.38 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.07、$$

$$0.38 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.5H/\lambda - 0.12、$$

0.4 $\leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.067H/\lambda + 0.053$ 、および

$$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.008H/\lambda + 0.0856$$

20

である。または、

$$27.5^\circ \leq \theta < 28.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.38 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.07、$$

0.38 $\leq H/\lambda < 0.41$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.5H/\lambda + 0.26$ 、および

$$0.41 \leq H/\lambda \leq 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.111H/\lambda + 0.101$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.35 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.16H/\lambda + 0.116、$$

$$0.35 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.095、$$

0.4 $\leq H/\lambda < 0.47$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.171H/\lambda + 0.119$ 、および

$$0.47 \leq H/\lambda \leq 0.5 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.233H/\lambda - 0.0717$$

である。

【0042】

図24より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

$$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.008H/\lambda + 0.0956$$

であり、かつ

$$0.3 \leq H/\lambda < 0.4 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.14H/\lambda + 0.114、$$

$$0.4 \leq H/\lambda \leq 0.42 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq 0.058、および$$

40

0.42 $\leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.342(H/\lambda)^2 + 0.465H/\lambda - 0.0648$

である。または、

$$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ \text{ であって、}$$

$$0.42 \leq H/\lambda < 0.45 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0052、$$

0.45 $\leq H/\lambda < 0.53$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0875H/\lambda + 0.0914$ 、および

$$0.53 \leq H/\lambda \leq 0.55 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \leq -0.75H/\lambda + 0.443$$

であり、かつ

$$0.42 \leq H/\lambda < 0.46 \text{ のとき } h/(\lambda \cdot a) \geq -0.175H/\lambda + 0.121$$

50

、

$0.46 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.04$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.14$

である。または、

$28.5^\circ \leq \theta < 29.5^\circ$ であって、

$0.55 \leq H/\lambda < 0.58$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.167H/\lambda - 0.0617$

、および

$0.58 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0294H/\lambda + 0.0521$ 、

であり、かつ

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

である。

【0043】

図25より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ であって、

$0.32 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.286(H/\lambda)^2 + 0.356H/\lambda - 0.0027$

であり、かつ

$0.32 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 3.33(H/\lambda)^2 - 2.7H/\lambda + 0.605$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.44$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.058$ 、および

$0.44 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.75(H/\lambda)^2 + 1.005H/\lambda - 0.239$

である。または、

$29.5^\circ \leq \theta < 30.5^\circ$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.46$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.052$ 、

$0.46 \leq H/\lambda < 0.57$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0727H/\lambda + 0.0855$ 、

$0.57 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.333H/\lambda + 0.234$ 、

および

$0.6 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0267H/\lambda + 0.05$

であり、かつ

$0.43 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4H/\lambda + 0.224$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.14H/\lambda + 0.107$ 、

および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

である。

【0044】

図26より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ であって、

$0.36 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.131(H/\lambda)^2 + 0.188H/\lambda + 0.00293$

であり、かつ

$0.36 \leq H/\lambda < 0.43$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 4.64(H/\lambda)^2 - 3.95H/\lambda + 0.902$ 、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.465$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.06$ 、および

$0.465 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.283(H/\lambda)^2 + 0.424H/\lambda - 0.0758$

である。または、

$30.5^\circ \leq \theta < 31.5^\circ$ であって、

10

20

30

40

50

$0.43 \leq H/\lambda < 0.465$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06$ 、

$0.465 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.108 H/\lambda + 0.105$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0333 H/\lambda + 0.0567$

であり、かつ

$0.43 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.65 H/\lambda + 0.34$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.57$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.142 H/\lambda + 0.111$ 、および

$0.57 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

10

である。

【0045】

図27より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ であって、

$0.39 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.153 (H/\lambda)^2 + 0.219 H/\lambda + 0.0169$

であり、かつ

$0.39 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2 H/\lambda + 0.15$ 、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.48$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.6$ 、および

$0.48 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.346 (H/\lambda)^2 + 0.5 H/\lambda - 0.1$

20

である。または、

$31.5^\circ \leq \theta < 32.5^\circ$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.48$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06$ 、

$0.48 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.135 H/\lambda + 0.125$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0333 H/\lambda + 0.0587$

であり、かつ

$0.45 \leq H/\lambda < 0.58$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.154 H/\lambda + 0.119$

30

、および

$0.58 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

である。

【0046】

図28より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.266 (H/\lambda)^2 + 1.614 H/\lambda - 0.39$

であり、かつ

$0.43 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4 H/\lambda + 0.242$ 、

40

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.062$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.167 (H/\lambda)^2 + 0.263 H/\lambda - 0.028$

である。または、

$32.5^\circ \leq \theta < 33.5^\circ$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06 H/\lambda + 0.028$ 、

$0.5 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.11 H/\lambda + 0.113$ 、および

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03 H/\lambda + 0.057$

であり、かつ

50

$0.45 \leq H/\lambda < 0.48$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.3H/\lambda + 0.19$ 、
 $0.48 \leq H/\lambda < 0.59$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.145H/\lambda + 0.116$ 、
 および
 $0.59 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$
 である。

【0047】

図29より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ であって、
 $0.425 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.284(H/\lambda)^2 + 0.396H/\lambda - 0.0471$

10

であり、かつ

$0.425 \leq H/\lambda < 0.48$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.109H/\lambda + 0.116$ 、
 $0.48 \leq H/\lambda < 0.57$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.064$ 、および
 $0.57 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6594(H/\lambda)^2 + 0.9382H/\lambda - 0.257$

である。または、

$33.5^\circ \leq \theta < 35^\circ$ であって、
 $0.48 \leq H/\lambda < 0.52$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.064$ 、および
 $0.52 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.0929H/\lambda + 0.108$

20

であり、かつ

$0.48 \leq H/\lambda < 0.59$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.155H/\lambda + 0.121$ 、
 および
 $0.59 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$
 である。

【0048】

図30より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ であって、
 $0.54 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.273(H/\lambda)^2 + 0.415H/\lambda - 0.0748$

30

であり、かつ

$0.54 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.06$ 、および
 $0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5(H/\lambda)^2 + 0.76H/\lambda - 0.219$

である。または、

$35^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$ であって、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.06$ 、および
 $0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.117H/\lambda + 0.132$

であり、かつ

$0.5 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.16H/\lambda + 0.126$ 、および
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$
 である。

40

【0049】

図31より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $37.5^\circ \leq \theta < 39^\circ$ であって、
 $0.52 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.2H/\lambda - 0.054$ 、
 $0.6 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.066$ 、
 $0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.09H/\lambda + 0.003$ 、
 であり、かつ

50

$0.52 \leq H/\lambda < 0.62$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.154$ 、
 $0.62 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.03$

である。

【0050】

図32から図42は、 SiO_2 膜厚 (H/λ) および Y カット角 θ に対するストンリー波の電気機械結合係数 k^2 を示した図である。図32から図42はそれぞれ電極膜厚 h が、 $0.03\lambda/a$ 、 $0.045\lambda/a$ 、 $0.06\lambda/a$ 、 $0.07\lambda/a$ 、 $0.075\lambda/a$ 、 $0.08\lambda/a$ 、 $0.085\lambda/a$ 、 $0.09\lambda/a$ 、 $0.095\lambda/a$ 、 $0.10\lambda/a$ 、および $0.105\lambda/a$ のときの結果である。図8から図19で説明したように、各計算点は、両側の隣の計算点の中間点間を代表すると仮定した。図32から図42の下には各図の k^2 が 0.00015 となる線を1次または2次曲線で近似した式を記載した。これらの曲線より、各図において、 k^2 が 0.00015 以下となる範囲を求めた。図32から図42のいずれかの範囲とすることにより、ストンリー波の k^2 を 0.00015 以下とすることができる。

10

【0051】

図32より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$0.03\lambda/a \leq h < 0.0375\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 75(H/\lambda)^2 - 82.5H/\lambda + 103.68$

7

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $\theta \geq -85.7H/\lambda + 97.7$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 42$

20

である。または、

$0.03\lambda/a \leq h < 0.0375\lambda/a$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $\theta \leq 120H/\lambda - 36$ 、および

$0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 42$ 、

であり、かつ

$0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $\theta \geq 18$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 40H/\lambda - 2$

である。

30

【0052】

図33より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$0.0375\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 24(H/\lambda) + 88.8$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \geq -120H/\lambda + 114$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 48$

である。または、

$0.0375\lambda/a \leq h < 0.0525\lambda/a$ であって、

$0.43 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \leq 180H/\lambda - 51$ 、および

$0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 48$

40

であり、かつ

$0.43 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 34.3H/\lambda + 11.6$

である。

【0053】

図34より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$0.0525\lambda/a \leq h < 0.065\lambda/a$ であって、

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 80H/\lambda - 4$

であり、かつ

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 20H/\lambda + 23$

50

である。

【0054】

図35より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.065\lambda/a \leq h < 0.0725\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $\theta \leq -26.7(H/\lambda)^2 + 52H/\lambda + 15.5$ 、
 および

$0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 25H/\lambda + 21$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -16.7(H/\lambda)^2 + 38.3H/\lambda + 16$
 である。 10

【0055】

図36より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0725\lambda/a \leq h < 0.0775\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -25(H/\lambda)^2 + 47.5H/\lambda + 17$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -25(H/\lambda)^2 + 42.5H/\lambda + 15.2$
 である。

【0056】

図37より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0775\lambda/a \leq h < 0.0825\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -21.4(H/\lambda)^2 + 38.2H/\lambda + 20$
 . 1

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -23.3(H/\lambda)^2 + 35.8H/\lambda + 17.4$

である。

【0057】

図38より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0825\lambda/a \leq h < 0.0875\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq -13.3(H/\lambda)^2 + 24.7H/\lambda + 24$ 30

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq -16(H/\lambda)^2 + 25.6H/\lambda + 19.8$
 である。

【0058】

図39より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0875\lambda/a \leq h < 0.0925\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $\theta \leq 10H/\lambda + 26.5$ 、および
 $0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 6H/\lambda + 28.7$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 4H/\lambda + 25.3$ 40
 である。

【0059】

図40より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.0925\lambda/a \leq h < 0.0975\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 4H/\lambda + 28.3$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 2H/\lambda + 25.9$
 である。

【0060】

図41より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

$0.0975\lambda/a \leq h < 0.1025\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 2H/\lambda + 28.2$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 26$

である。

【0061】

図42より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$0.1025\lambda/a \leq h < 0.105\lambda/a$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \leq 28$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $\theta \geq -5H/\lambda + 27.5$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $\theta \geq 25$

である。

【0062】

以上のように、弾性境界波素子の構造を図8から図42で示した範囲とすることにより、ストンリー波の k^2 を 0.00015 以下とすることができる。よって、弾性境界波素子への影響を小さくすることができる。

【0063】

実施例1においては、SH成分を主成分とする境界波の伝搬方向は、LN基板のX軸方向である。

【0064】

実施例1においては、酸化シリコン膜12上の媒質膜として酸化アルミニウム膜14の例を説明したが、媒質膜の音速が SiO_2 の音速より速く媒質膜の膜厚が 1λ 程度以上であれば上記シミュレーションを適用できる。媒質膜の音速が酸化シリコン膜12中の音速より速いと弾性境界波を酸化シリコン膜12中に閉じ込められる。酸化シリコン膜12より音速の速い媒質として、媒質膜は、窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウムおよびシリコンのいずれか1つを含むことが好ましい。

【0065】

電極16の密度は、酸化シリコン膜12の密度より大きいことが好ましい。これにより、弾性境界波の反射を増大させることができる。さらに、電極16として、銅(Cu)を含むことが好ましい。銅は酸化シリコン膜12より密度が高い、また、低抵抗なため、電気的な損失を低減することができる。また、酸化シリコン膜12は上記シミュレーション結果が適用できる範囲で主に酸化シリコンを含む膜であれば良い。

【実施例2】

【0066】

実施例1のシミュレーション結果は、電極16が2層以上の多層構造である場合にも適用することができる。図43を参照に、図2に比べ電極16がチタン(Ti)層16aおよび銅層16bから構成されている。その他の構成は図2と同じであり同じ部材は同じ符号を付し説明を省略する。図43のように、電極16を多層構造とし、LN基板10上に接するようにチタン層16aを設け、チタン層16a上に銅層16b膜を設けた構造をとることができる。これにより、電極16とLN基板10との密着を図ることができる。実施例2においては、銅層16bの密度をp、チタン層16aの密度をq、銅層の16b膜厚をb、チタン層16aの膜厚をcとしたとき、電極16の平均密度rは、

$$r = p \times b / (b + c) + q \times c / (b + c)$$

で表される。

$a = r / \text{Cuの密度} (8.92 \text{ g/cm}^3)$

とすることにより、実施例1のシミュレーション結果を用いることができる。電極16が3層以上の場合も、同様の計算方法により電極16の平均密度を計算し、aを求めることにより、実施例1のシミュレーション結果を適用することができる。なお、銅層16bは、弾性境界波の反射を増大させることができ、低抵抗で損失を低減することができる程度

10

20

30

40

50

に銅を含む層である。チタン層 16a は、電極 16 と LN 基板 10 との密着を図ることができる程度にチタンを含む層である。

【実施例 3】

【0067】

実施例 1 のシミュレーション結果は、電極 16 を覆うバリア層 18 を有する場合にも適用できる。図 44 を参照に、電極 16 を覆う窒化シリコン (Si_3N_4) 膜からなるバリア層 18 が設けられている。その他の構成は図 2 と同じであり、同じ部材は同じ符号を付し説明を省略する。バリア層 18 により、電極 16 の金属が酸化シリコン膜 12 に拡散することを防止することができる。特に、電極 16 が Cu を含む場合、Cu は酸化シリコン膜 12 に拡散しやすいため、バリア層 18 を設けることが好ましい。バリア層 18 としては、バリア性と形成の容易性から窒化シリコン膜を用いることが好ましい。窒化シリコン膜以外であっても、電極 16 に含まれる金属の酸化シリコン膜への拡散を抑制する機能を有する膜を用いることができる。

10

【実施例 4】

【0068】

実施例 4 は実施例 1 から 3 の弾性境界波素子を用いた共振器の例である。図 45 は共振器の電極を図示した平面図である。楕円電極を有する弾性境界波素子 20 の両側に反射器 26、28 を配置している。弾性境界波素子 20 は入力電極 22 および出力電極 24 を有している。反射器 26、28 は楕円電極を有する弾性境界波素子 20 と同時に作製される。弾性境界波素子 20 より両側に伝搬した境界波は反射器で反射される。反射された境界波は弾性境界波素子 20 内で境界波の定在波となる。これにより共振器として機能する。実施例 4 によれば、実施例 1 から 3 に係る弾性境界波素子を用い共振器を構成することにより、ストンリー波を抑圧した共振器が得られる。これにより、共振器の周波数特性が向上する。

20

【実施例 5】

【0069】

実施例 5 は実施例 4 に係る共振子を用いた 4 段ラダー型フィルタの例である。図 46 は実施例 4 に係るラダー型フィルタの電極を図示した平面図である。直列共振器 30 として、実施例 4 の共振子 32、34、36、38 を直列に接続する。共振子 32 の一端は入力パッド電極 50 に接続され、共振子 38 の一端は出力パッド電極 52 に接続される。共振子 32 と共振子 34 が接続された電極は共振子 40 に接続され、共振子 38 と共振子 36 が接続された電極は共振子 42 に接続される。共振子 40 および共振子 42 の共振子の接続されていない一端は接地パッド電極 54、56 に接続される。共振子 40 および 42 は並列共振器として機能する。実施例 5 は、以上の構成により、ラダー型フィルタとして機能する。実施例 5 によれば、実施例 1 から 3 に係る弾性境界波素子を用いラダー型フィルタを構成することにより、ストンリー波を抑圧したフィルタが得られる。これにより、フィルタの周波数特性が向上する。実施例 5 はラダー型フィルタの例であったが、実施例 1 から 3 の共振器をラダー型フィルタ以外の例えばダブルモードフィルタ等に適用することもできる。

30

【0070】

実施例 1 の図 20 から図 31 に加え、図 47 から図 67 に、 SiO_2 膜厚 (H/λ) および電極膜厚 (h/λ) に対するストンリー波の電気機械結合係数 k^2 を示した。図 47 から図 67 はそれぞれ Y カット角 θ が 0° 、 1° 、 3° 、 6° 、 9° 、 10° 、 11° 、 12° 、 13° 、 14° 、 15° 、 16° 、 17° 、 18° 、 19° 、 20° 、 21° 、 22° 、 23° 、 24° および 177° のときの結果である。各計算点は、図 20 から図 31 と同じように、両側の隣の計算点の中間点間を代表すると仮定した。図 47 から図 67 の下には各図の k^2 が 0.00015 となる線を 1 次または 2 次曲線で近似した式を記載した。これらの曲線より、各図において、 k^2 が 0.00015 以下となる範囲を求めた。図 47 から図 67 のいずれかの範囲とすることにより、ストンリー波の k^2 を 0.00015 以下とすることができる。

40

50

【0071】

図47より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0^\circ \leq \theta < 0.5^\circ$ であって、
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 である。なお、 $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ とするのは、シミュレーションに用いたモデル
 では $h/(\lambda \cdot a) > H/\lambda$ を考慮していないためである。また、
 $0.6 \leq H/\lambda < 0.625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2H/\lambda + 1.8$ 、および
 $0.625 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.543(H/\lambda)^2 - 2.484H/\lambda + 1.5$
 である。

10

【0072】

図48より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $0.5^\circ \leq \theta < 2^\circ$ であって、
 $0.508 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 であり、かつ
 $0.508 \leq H/\lambda < 0.531$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.3478H/\lambda + 0.6847$ 、
 $0.531 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6087H/\lambda + 0.8232$ 、および
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.6(H/\lambda)^2 - 0.98H/\lambda + 0.83$
 である。

20

【0073】

図49より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $2^\circ \leq \theta < 4.5^\circ$ であって、
 $0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 であり、かつ
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 28.998(H/\lambda)^2 - 29.088H/\lambda + 7.668$ 、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.6(H/\lambda)^2 - 2.06H/\lambda + 1.003$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.0733H/\lambda + 0.3877$
 である。

30

【0074】

図50より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、
 $4.5^\circ \leq \theta < 7.5^\circ$ であって、
 $0.3625 \leq H/\lambda < 0.496$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.496 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.111H/\lambda + 0.5511$ 、
 $0.55 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 3.4(H/\lambda)^2 - 4.45H/\lambda + 1.909$ 、
 $0.65 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.06H/\lambda + 0.492$ 、お
 よび
 $0.7 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.45$ 、
 であり、かつ
 $0.3625 \leq H/\lambda < 0.3875$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.46H/\lambda + 0.5293$ 、
 $0.3875 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2.96H/\lambda + 1.498$
 、

40

50

$0.4 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.58 H/\lambda + 0.546$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.2667 (H/\lambda)^2 - 1.503 H/\lambda + 0.705$ 、および
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.04 H/\lambda + 0.283$
 である。

【0075】

図51より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $7.5^\circ \leq \theta < 9.5^\circ$ であって、
 $0.315 \leq H/\lambda < 0.406$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.406 \leq H/\lambda < 0.419$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.077 H/\lambda + 0.8432$ 、
 $0.419 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 61.7512 (H/\lambda)^2 - 55.565 H/\lambda + 12.8326$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.8667 (H/\lambda)^2 - 2.233 H/\lambda + 0.96$ 、および
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.2 (H/\lambda)^2 - 0.32 H/\lambda + 0.412$ 、
 であり、かつ
 $0.315 \leq H/\lambda < 0.342$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5556 H/\lambda + 0.49$ 、
 $0.342 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -3.75 H/\lambda + 1.5825$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6 H/\lambda + 0.48$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.55$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.133 (H/\lambda)^2 - 1.243 H/\lambda + 0.556$ 、および
 $0.55 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.1067 (H/\lambda)^2 - 0.18 H/\lambda + 0.2817$
 である。

【0076】

図52より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $9.5^\circ \leq \theta < 10.5^\circ$ であって、
 $0.31 \leq H/\lambda < 0.37$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.37 \leq H/\lambda < 0.383$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.37$ 、
 $0.383 \leq H/\lambda < 0.392$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.111 H/\lambda + 0.7956$ 、
 $0.392 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2.5 H/\lambda + 1.34$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 12 (H/\lambda)^2 - 11.1 H/\lambda + 2.86$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 3.2 (H/\lambda)^2 - 3.36 H/\lambda + 1.159$ 、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.61$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.5455 (H/\lambda)^2 - 0.7327 H/\lambda + 0.509$ 、および
 $0.61 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.08848 (H/\lambda)^2 - 0.1616 H/\lambda + 0.3307$ 、
 であり、かつ
 $0.31 \leq H/\lambda < 0.331$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4762 H/\lambda + 0.4576$ 、
 $0.331 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -2.632 H/\lambda + 1.171$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5 H/\lambda + 0.425$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.5 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq (H/\lambda)^2 - 1.09H/\lambda + 0.501$ 、および

0.5 ≤ H/λ ≤ 0.8 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq 0.1(H/\lambda)^2 - 0.17H/\lambda + 0.266$

である。

【0077】

図53より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

10.5° ≤ θ < 11.5° であって、

0.304 ≤ H/λ < 0.36 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

0.36 ≤ H/λ < 0.3625 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -4H/\lambda + 1.8$ 、

0.3625 ≤ H/λ < 0.375 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -0.8H/\lambda + 0.64$

、
0.375 ≤ H/λ < 0.4 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 80.702(H/\lambda)^2 - 64.344H/\lambda + 13.120$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.5 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 3(H/\lambda)^2 - 3.091H/\lambda + 1.051$ 、

0.5 ≤ H/λ < 0.7 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 0.4(H/\lambda)^2 - 0.56H/\lambda + 0.436$ 、および

0.7 ≤ H/λ ≤ 0.8 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -0.02H/\lambda + 0.254$ 、

であり、かつ

0.304 ≤ H/λ < 0.329 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq -0.56H/\lambda + 0.474$ 、

0.329 ≤ H/λ < 0.331 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq -1.5H/\lambda + 5.225$ 、

0.331 ≤ H/λ < 0.35 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq -1.579H/\lambda + 0.7826$ 、

0.35 ≤ H/λ < 0.4 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq -0.4H/\lambda + 0.37$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.575 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq 0.4762(H/\lambda)^2 - 0.5786H/\lambda + 0.3652$ 、および

0.575 ≤ H/λ ≤ 0.8 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq 0.0381(H/\lambda)^2 - 0.07905H/\lambda + 0.2229$

である。

【0078】

図54より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

11.5° ≤ θ < 12.5° であって、

0.3 ≤ H/λ < 0.35 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

0.35 ≤ H/λ < 0.358 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.7875$ 、

0.358 ≤ H/λ < 0.3625 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -6.667H/\lambda + 2.7267$ 、

0.3625 ≤ H/λ < 0.4 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 27.781(H/\lambda)^2 - 22.3379H/\lambda + 4.7569$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.5 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 2.18(H/\lambda)^2 - 2.271H/\lambda + 0.8263$ 、

0.5 ≤ H/λ < 0.65 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq 0.44(H/\lambda)^2 - 0.578H/\lambda + 0.4148$ 、および

0.65 ≤ H/λ ≤ 0.8 のとき $h / (\lambda \cdot a) \leq -0.02667H/\lambda + 0.2423$ 、

であり、かつ

0.3 ≤ H/λ < 0.308 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq -0.5H/\lambda + 0.45$ 、

0.308 ≤ H/λ < 0.35 のとき $h / (\lambda \cdot a) \geq 25.1541(H/\lambda)^2 -$

10

20

30

40

50

18. $0.99H/\lambda + 3.4683$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1.8(H/\lambda)^2 - 1.69H/\lambda + 0.586$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.6$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.3333(H/\lambda)^2 - 0.4167H/\lambda + 0.31$ 、および
 $0.6 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.02H/\lambda + 0.192$
 である。

【0079】

図55より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $12.5^\circ \leq \theta < 13.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.32$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.32 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -H/\lambda + 0.64$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.373$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.3044H/\lambda + 0.7465$ 、
 $0.373 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.6296H/\lambda + 0.4949$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.6(H/\lambda)^2 - 1.66H/\lambda + 0.651$ 、
 $0.5 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4667(H/\lambda)^2 - 0.61H/\lambda + 0.4093$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.02H/\lambda + 0.223$ 、
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.8H/\lambda + 0.48$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.27$ 、
 $0.45 \leq H/\lambda < 0.625$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.09524(H/\lambda)^2 - 0.1595H/\lambda + 0.2325$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01143H/\lambda + 0.1771$
 である。

【0080】

図56より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、
 $13.5^\circ \leq \theta < 14.5^\circ$ であって、
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.318$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、
 $0.318 \leq H/\lambda < 0.325$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -4H/\lambda + 1.59$ 、
 $0.325 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 6.933(H/\lambda)^2 - 5.88H/\lambda + 1.4687$ 、
 $0.4 \leq H/\lambda < 0.585$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.6618(H/\lambda)^2 - 0.7924H/\lambda + 0.437$ 、および
 $0.585 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.11527(H/\lambda)^2 - 0.1829H/\lambda + 0.2676$ 、
 であり、かつ
 $0.3 \leq H/\lambda < 0.35$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.6H/\lambda + 0.4$ 、
 $0.35 \leq H/\lambda < 0.475$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.8(H/\lambda)^2 - 0.82H/\lambda + 0.379$ 、
 $0.475 \leq H/\lambda < 0.65$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.2095(H/\lambda)^2 - 0.2814H/\lambda + 0.2564$ 、および
 $0.65 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.0133H/\lambda + 0.1707$
 である。

【0081】

10

20

30

40

50

図57より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

14.5° ≤ θ < 15.5°であって、

0.3 ≤ H/λ < 0.304のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq H/\lambda$ 、

0.304 ≤ H/λ < 0.308のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.68$

5、

0.308 ≤ H/λ < 0.321のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2.308H/\lambda + 1.0$

11、

0.321 ≤ H/λ < 0.375のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 11.239(H/\lambda)^2 -$

8.748H/λ + 1.920、

0.375 ≤ H/λ < 0.5のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 1.1733(H/\lambda)^2 - 1.2347H/\lambda + 0.518$ 、

0.5 ≤ H/λ < 0.65のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.267(H/\lambda)^2 - 0.36$

H/λ + 0.3073、および

0.65 ≤ H/λ ≤ 0.8のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.01333H/\lambda + 0.19$

47、

であり、かつ

0.3 ≤ H/λ < 0.35のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.5H/\lambda + 0.355$ 、

0.35 ≤ H/λ < 0.4のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.2H/\lambda + 0.25$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.5のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.1H/\lambda + 0.21$ 、

0.5 ≤ H/λ < 0.7のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.03H/\lambda + 0.175$ 、および

び

0.7 ≤ H/λ ≤ 0.8のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.154$

である。

【0082】

図58より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

15.5° ≤ θ < 16.5°であって、

0.3 ≤ H/λ < 0.308のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.25H/\lambda + 0.675$ 、

0.308 ≤ H/λ < 0.311のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -1.0H/\lambda + 3.37$ 、

0.311 ≤ H/λ < 0.321のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -2H/\lambda + 0.882$ 、

0.321 ≤ H/λ < 0.4のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 5.9188(H/\lambda)^2 - 4.799H/\lambda + 1.171$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.55のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.711(H/\lambda)^2 - 0.79$

56H/λ + 0.4024、

0.55 ≤ H/λ ≤ 0.8のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.128(H/\lambda)^2 - 0.19$

7H/λ + 0.2495、

であり、かつ

0.3 ≤ H/λ < 0.35のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.4H/\lambda + 0.31$ 、

0.35 ≤ H/λ < 0.5のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.3556(H/\lambda)^2 - 0.4$

089H/λ + 0.2696、および

0.5 ≤ H/λ ≤ 0.8のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.08762(H/\lambda)^2 - 0.1$

306H/λ + 0.1974

である。

【0083】

図59より、 k^2 が0.00015以下になる範囲は、

16.5° ≤ θ < 17.5°であって、

0.3 ≤ H/λ < 0.4のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 8.6(H/\lambda)^2 - 6.75H/\lambda + 1.511$ 、

0.4 ≤ H/λ < 0.55のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.467(H/\lambda)^2 - 0.55$

7H/λ + 0.335、および

0.55 ≤ H/λ ≤ 0.8のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0667(H/\lambda)^2 - 0.1$

50

1 $H/\lambda + 0$. 2 1 0 3、

であり、かつ

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 1$. 1 3 3 $(H/\lambda)^2 - 1$. 0 4

3 $H/\lambda + 0$. 3 9 1、

0. 4 5 $\leq H/\lambda < 0$. 6 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0$. 1 3 3 $(H/\lambda)^2 - 0$. 1 8

3 $H/\lambda + 0$. 2 0 6 5、および

0. 6 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0$. 0 0 7 5 $H/\lambda + 0$. 1 4 9

である。

【0084】

図60より、 k^2 が0. 00015以下になる範囲は、

10

1 7. 5° $\leq \theta < 18$. 5°であって、

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 4 (H/\lambda)^2 - 3$. 2 8 $H/\lambda + 0$. 8 4 8、

0. 4 $\leq H/\lambda < 0$. 5 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 4 6 7 $(H/\lambda)^2 - 0$. 5 3

7 $H/\lambda + 0$. 3 1 6、および

0. 5 5 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 1 $(H/\lambda)^2 - 0$. 1 5 5 $H/\lambda + 0$. 2 1 7、

であり、かつ

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0$. 8 6 7 $(H/\lambda)^2 - 0$. 8 1

20

7 $H/\lambda + 0$. 3 3 7、

0. 4 5 $\leq H/\lambda < 0$. 5 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0$. 0 5 $H/\lambda + 0$. 1 6 7 5

、および
0. 5 5 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0$. 0 0 8 $H/\lambda + 0$. 1 4 4 4

である。

【0085】

図61より、 k^2 が0. 00015以下になる範囲は、

1 8. 5° $\leq \theta < 19$. 5°であって、

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2$. 8 $(H/\lambda)^2 - 2$. 3 4 $H/\lambda + 0$. 6 5 5

0. 4 $\leq H/\lambda < 0$. 5 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 4 6 7 $(H/\lambda)^2 - 0$. 5 3

30

7 $H/\lambda + 0$. 3 0 7、および

0. 5 5 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 0 4 $(H/\lambda)^2 - 0$. 0 7 $H/\lambda + 0$. 1 7 9 4、

であり、かつ

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0$. 9 3 3 $(H/\lambda)^2 - 0$. 8 4

7 $H/\lambda + 0$. 3 3 1、および

0. 4 5 $\leq H/\lambda < 0$. 6 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0$. 0 8 1 $(H/\lambda)^2 - 0$. 1 1

8 $H/\lambda + 0$. 1 7 5 9、および

0. 6 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0$. 0 0 5 $H/\lambda + 0$. 1 3 7

である。

40

【0086】

図62より、 k^2 が0. 00015以下になる範囲は、

1 9. 5° $\leq \theta < 20$. 5°であって、

0. 3 $\leq H/\lambda < 0$. 4 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2$. 4 $(H/\lambda)^2 - 2 H/\lambda + 0$. 5 7 4、

0. 4 $\leq H/\lambda < 0$. 5 5 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 4 $(H/\lambda)^2 - 0$. 4 6 $H/\lambda + 0$. 2 7 8、および

0. 5 5 $\leq H/\lambda \leq 0$. 8 のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0$. 0 9 3 3 $(H/\lambda)^2 - 0$. 1

4 2 $H/\lambda + 0$. 1 9 5 9、

であり、かつ

50

$0.3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.667 (H/\lambda)^2 - 0.627 H/\lambda + 0.281$ 、および

$0.45 \leq H/\lambda < 0.575$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.107 (H/\lambda)^2 - 0.141 H/\lambda + 0.176$ 、および

$0.575 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.00444 H/\lambda + 0.1326$

である。

【0087】

図63より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$20.5^\circ \leq \theta < 21.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.4$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 2.2 (H/\lambda)^2 - 1.83 H/\lambda + 0.529$ 、

$0.4 \leq H/\lambda < 0.52$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.357 (H/\lambda)^2 - 0.404 H/\lambda + 0.2533$ 、および

$0.52 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.0604 (H/\lambda)^2 - 0.0976 H/\lambda + 0.1744$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.733 (H/\lambda)^2 - 0.657 H/\lambda + 0.276$ 、および

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.04286 (H/\lambda)^2 - 0.065 H/\lambda + 0.1496$

である。

【0088】

図64より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$21.5^\circ \leq \theta < 22.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.198 (H/\lambda)^2 - 0.291 H/\lambda + 0.234$ 、

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.45$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.8 (H/\lambda)^2 - 0.69 H/\lambda + 0.2735$ 、および

$0.45 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.00286 H/\lambda + 0.1263$

である。

【0089】

図65より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$22.5^\circ \leq \theta < 23.5^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.7$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.568 (H/\lambda)^2 - 0.649 H/\lambda + 0.2976$ 、および

$0.7 \leq H/\lambda < 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.03 H/\lambda + 0.1425$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.73$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.136 (H/\lambda)^2 - 0.174 H/\lambda + 0.1719$ 、および

$0.73 \leq H/\lambda \leq 0.75$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.125 H/\lambda + 0.02625$

である。

【0090】

図66より、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲は、

$23.5^\circ \leq \theta < 24^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.4 (H/\lambda)^2 - 0.46 H/\lambda + 0.246$ 、および

10

20

30

40

50

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq 0.116$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda < 0.5$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq 0.667 (H/\lambda)^2 - 0.613 H/\lambda + 0.253$ 、および

$0.5 \leq H/\lambda \leq 0.8$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.01 H/\lambda + 0.118$

である。また、

$23.5^\circ \leq \theta < 24^\circ$ であって、

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \leq -0.208 H/\lambda + 0.128$

であり、かつ

$0.3 \leq H/\lambda \leq 0.42$ のとき $h/(\lambda \cdot a) \geq -0.125 H/\lambda + 0.0925$ 10

である。

【0091】

図67より、 $\theta = 177^\circ$ においては、 k^2 が 0.00015 以下になる範囲はない。

【0092】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】図1は従来の弾性境界波素子の周波数に対する挿入損失を示す図である。 20

【図2】図2は実施例1に係る弾性境界波素子の断面図である。

【図3】図3はシミュレーションに用いた基本単位の断面図である。

【図4】図4は、酸化シリコン膜厚に対する k^2 を示した図であり、シミュレーション結果と測定結果とを比較するための図である。

【図5】図5(a)および図5(b)はそれぞれ図4のS1およびS2の周波数に対する挿入損失を示す図である。

【図6】図6(a)および図6(b)はそれぞれ図4のS3およびS4の周波数に対する挿入損失を示す図である。

【図7】図7(a)および図7(b)はそれぞれ図4のS5およびS6の周波数に対する挿入損失を示す図である。 30

【図8】図8はシミュレーション結果を示す図(その1)である。

【図9】図9はシミュレーション結果を示す図(その2)である。

【図10】図10はシミュレーション結果を示す図(その3)である。

【図11】図11はシミュレーション結果を示す図(その4)である。

【図12】図12はシミュレーション結果を示す図(その5)である。

【図13】図13はシミュレーション結果を示す図(その6)である。

【図14】図14はシミュレーション結果を示す図(その7)である。

【図15】図15はシミュレーション結果を示す図(その8)である。

【図16】図16はシミュレーション結果を示す図(その9)である。

【図17】図17はシミュレーション結果を示す図(その10)である。 40

【図18】図18はシミュレーション結果を示す図(その11)である。

【図19】図19はシミュレーション結果を示す図(その12)である。

【図20】図20はシミュレーション結果を示す図(その13)である。

【図21】図21はシミュレーション結果を示す図(その14)である。

【図22】図22はシミュレーション結果を示す図(その15)である。

【図23】図23はシミュレーション結果を示す図(その16)である。

【図24】図24はシミュレーション結果を示す図(その17)である。

【図25】図25はシミュレーション結果を示す図(その18)である。

【図26】図26はシミュレーション結果を示す図(その19)である。

【図27】図27はシミュレーション結果を示す図(その20)である。 50

- 【図 28】図 28 はシミュレーション結果を示す図（その 21）である。
 【図 29】図 29 はシミュレーション結果を示す図（その 22）である。
 【図 30】図 30 はシミュレーション結果を示す図（その 23）である。
 【図 31】図 31 はシミュレーション結果を示す図（その 24）である。
 【図 32】図 32 はシミュレーション結果を示す図（その 25）である。
 【図 33】図 33 はシミュレーション結果を示す図（その 26）である。
 【図 34】図 34 はシミュレーション結果を示す図（その 27）である。
 【図 35】図 35 はシミュレーション結果を示す図（その 28）である。
 【図 36】図 36 はシミュレーション結果を示す図（その 29）である。
 【図 37】図 37 はシミュレーション結果を示す図（その 30）である。
 【図 38】図 38 はシミュレーション結果を示す図（その 31）である。
 【図 39】図 39 はシミュレーション結果を示す図（その 32）である。
 【図 40】図 40 はシミュレーション結果を示す図（その 33）である。
 【図 41】図 41 はシミュレーション結果を示す図（その 34）である。
 【図 42】図 42 はシミュレーション結果を示す図（その 35）である。
 【図 43】図 43 は実施例 2 に係る弾性境界波素子の断面図である。
 【図 44】図 44 は実施例 3 に係る弾性境界波素子の断面図である。
 【図 45】図 45 は実施例 4 に係る共振器の平面図である。
 【図 46】図 46 は実施例 5 に係るフィルタの平面図である。
 【図 47】図 47 はシミュレーション結果を示す図（その 36）である。
 【図 48】図 48 はシミュレーション結果を示す図（その 37）である。
 【図 49】図 49 はシミュレーション結果を示す図（その 38）である。
 【図 50】図 50 はシミュレーション結果を示す図（その 39）である。
 【図 51】図 51 はシミュレーション結果を示す図（その 40）である。
 【図 52】図 52 はシミュレーション結果を示す図（その 41）である。
 【図 53】図 53 はシミュレーション結果を示す図（その 42）である。
 【図 54】図 54 はシミュレーション結果を示す図（その 43）である。
 【図 55】図 55 はシミュレーション結果を示す図（その 44）である。
 【図 56】図 56 はシミュレーション結果を示す図（その 45）である。
 【図 57】図 57 はシミュレーション結果を示す図（その 46）である。
 【図 58】図 58 はシミュレーション結果を示す図（その 47）である。
 【図 59】図 59 はシミュレーション結果を示す図（その 48）である。
 【図 60】図 60 はシミュレーション結果を示す図（その 49）である。
 【図 61】図 61 はシミュレーション結果を示す図（その 50）である。
 【図 62】図 62 はシミュレーション結果を示す図（その 51）である。
 【図 63】図 63 はシミュレーション結果を示す図（その 52）である。
 【図 64】図 64 はシミュレーション結果を示す図（その 53）である。
 【図 65】図 65 はシミュレーション結果を示す図（その 54）である。
 【図 66】図 66 はシミュレーション結果を示す図（その 55）である。
 【図 67】図 67 はシミュレーション結果を示す図（その 56）である。

10

20

30

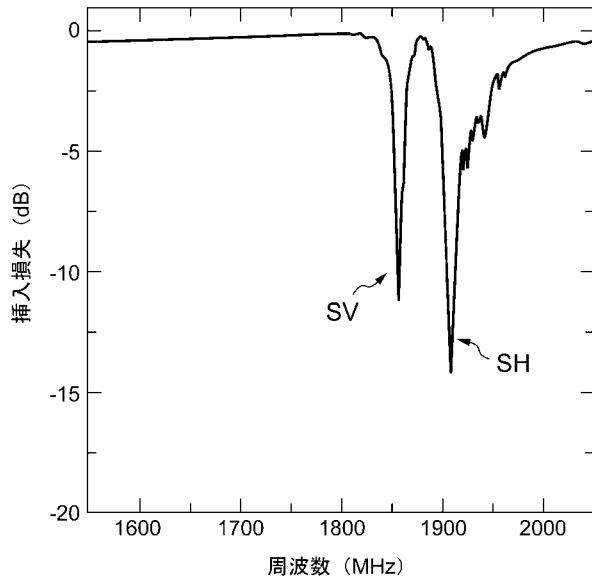
40

【符号の説明】

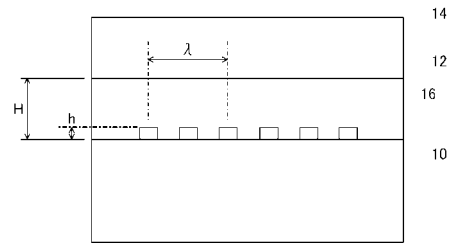
【0094】

10	LiNbO ₃ 基板
12	酸化シリコン膜
14	酸化アルミニウム膜
16	電極
16a	チタン層
16b	銅層

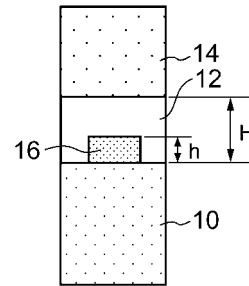
【図 1】



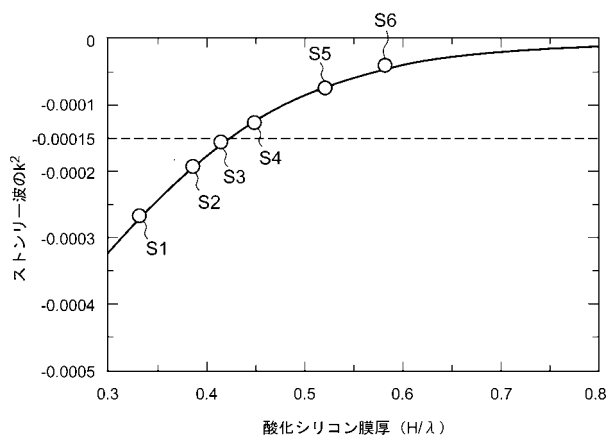
【図 2】



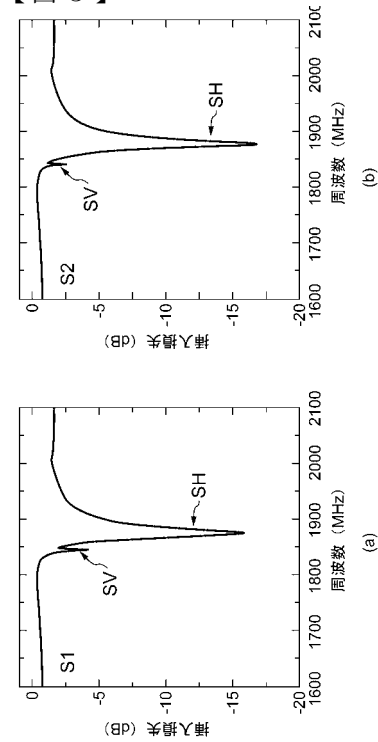
【図 3】



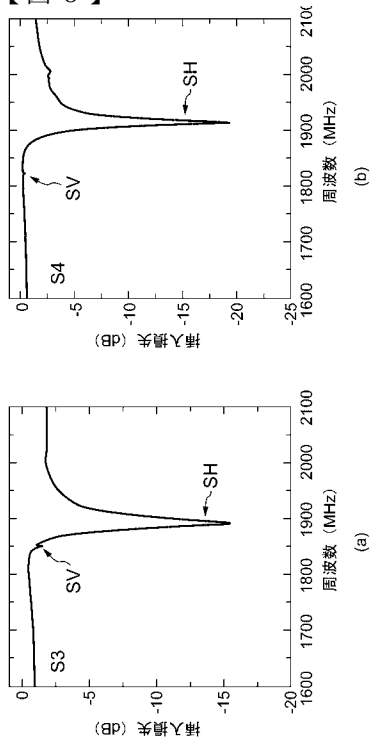
【図 4】



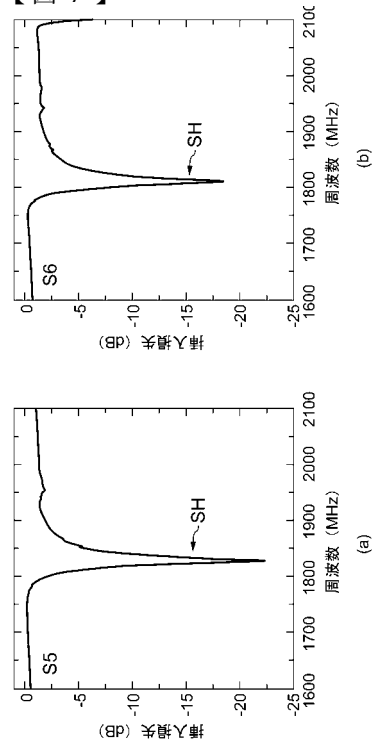
【図 5】



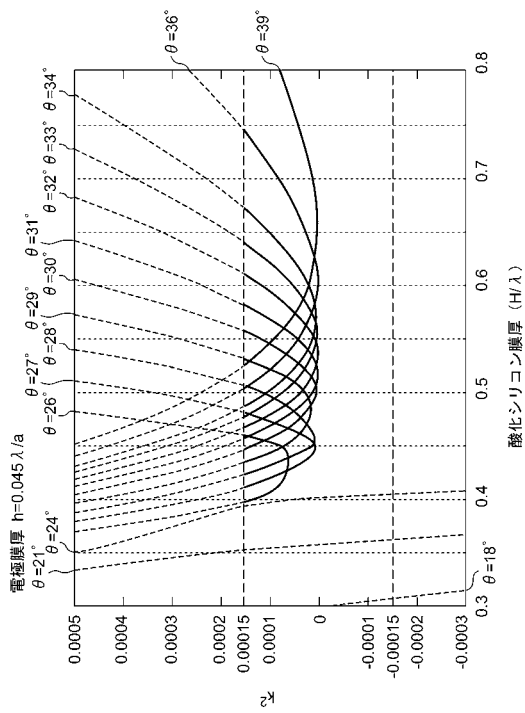
【図 6】



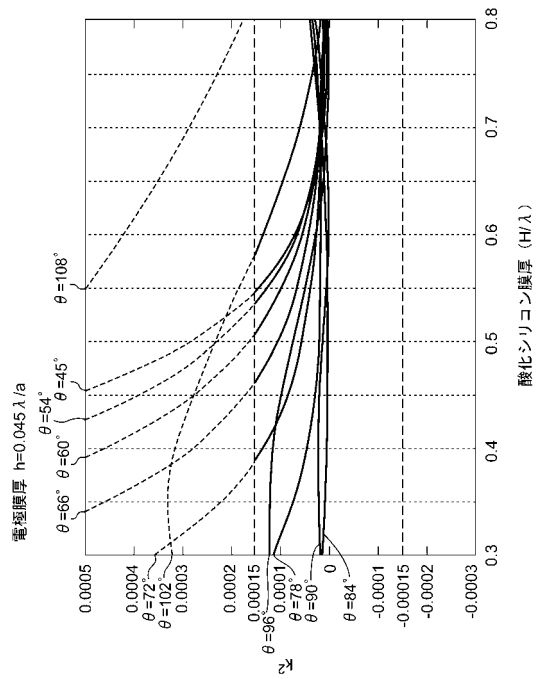
【図 7】



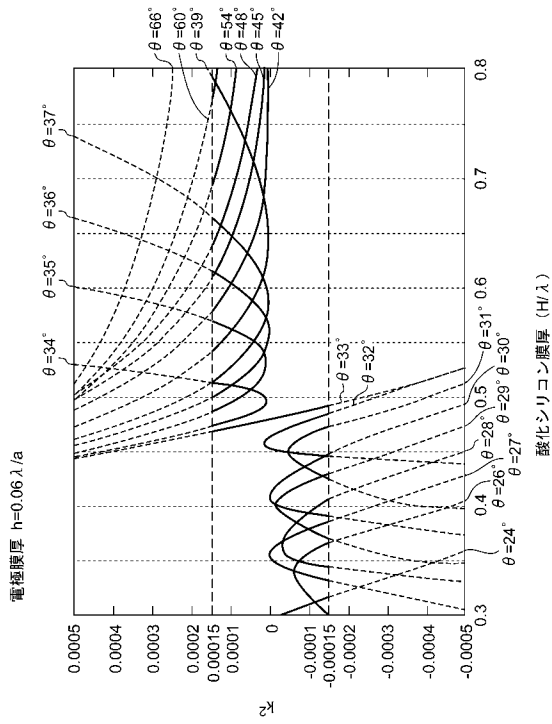
【図 8】



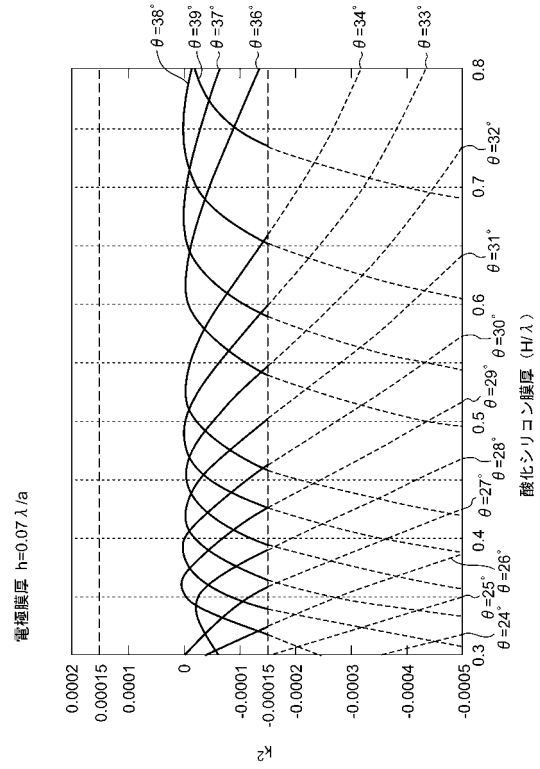
【図 9】



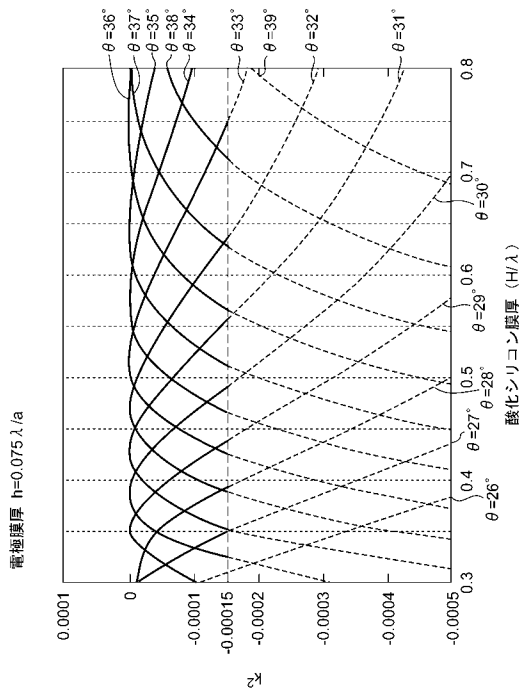
【図 10】



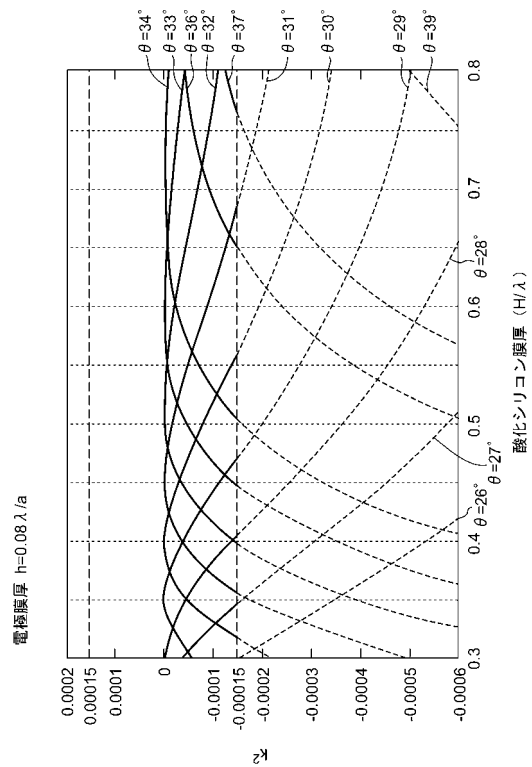
【図 11】



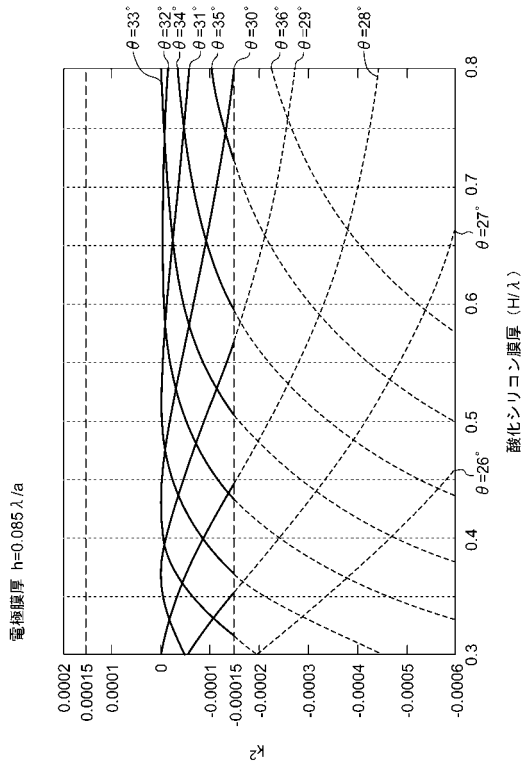
【図 12】



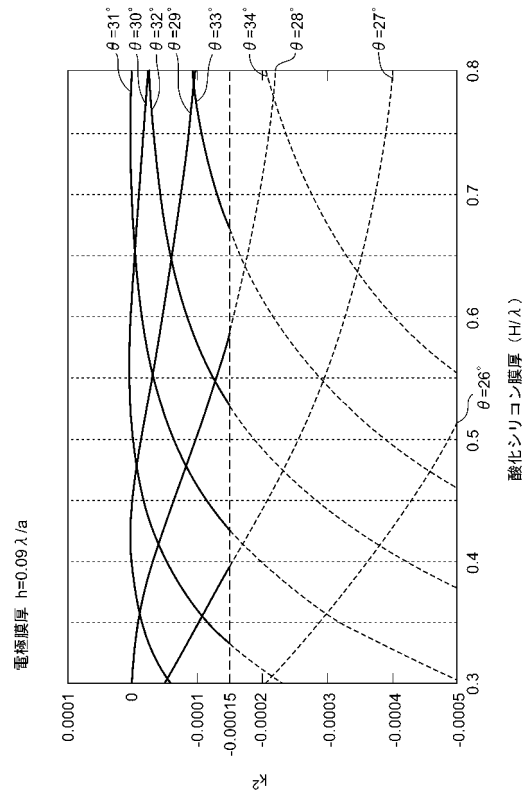
【図 13】



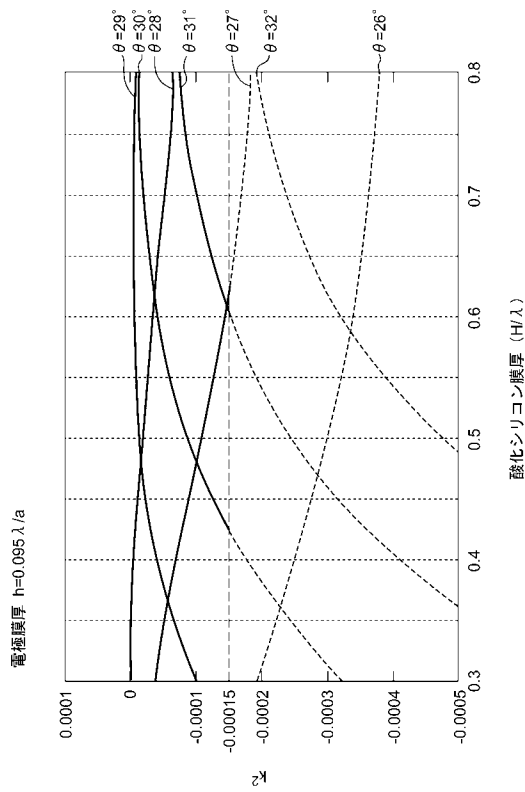
【図 14】



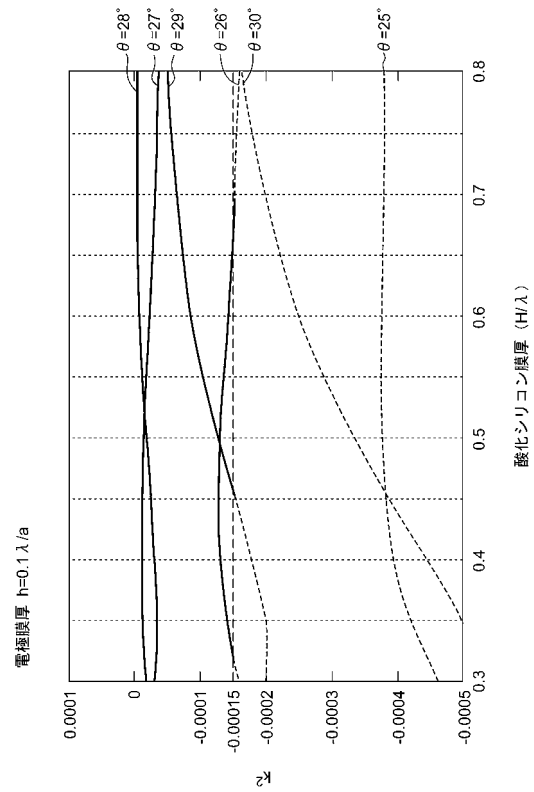
【図 15】



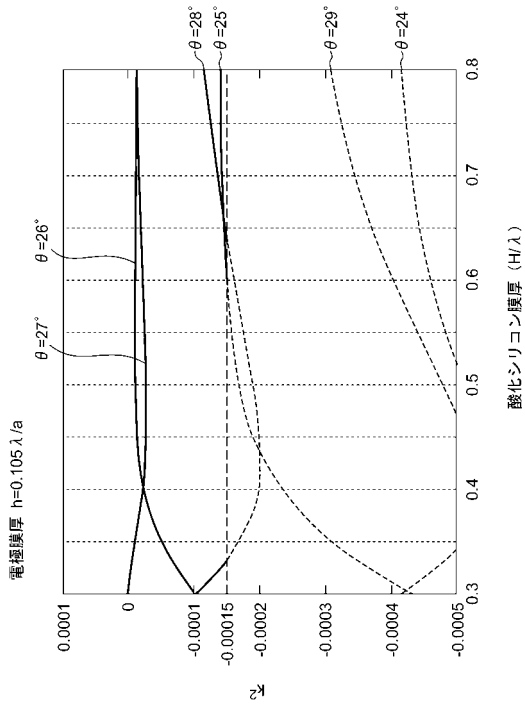
【図 16】



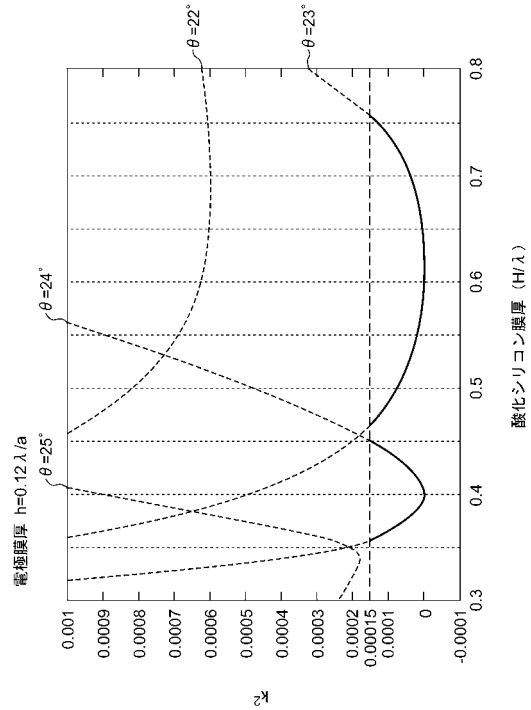
【図 17】



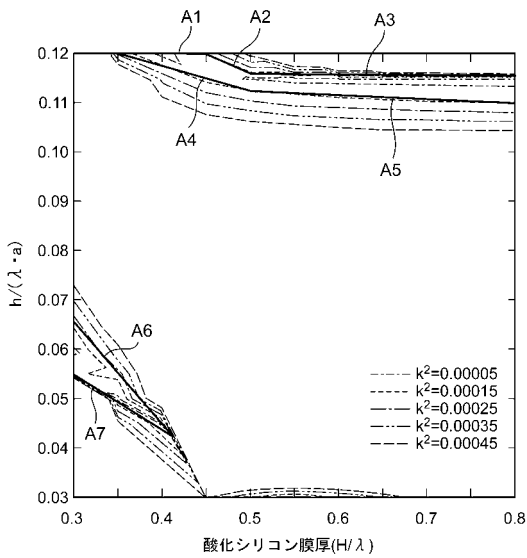
【図 18】



【図 19】

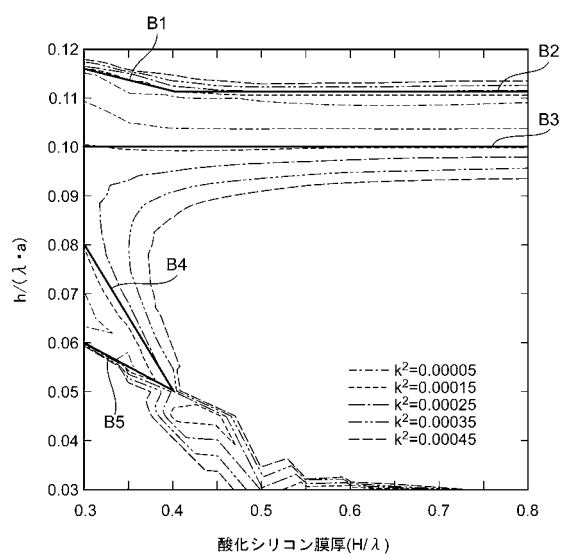


【図 20】

Yカット角 $\theta=24^\circ$ 

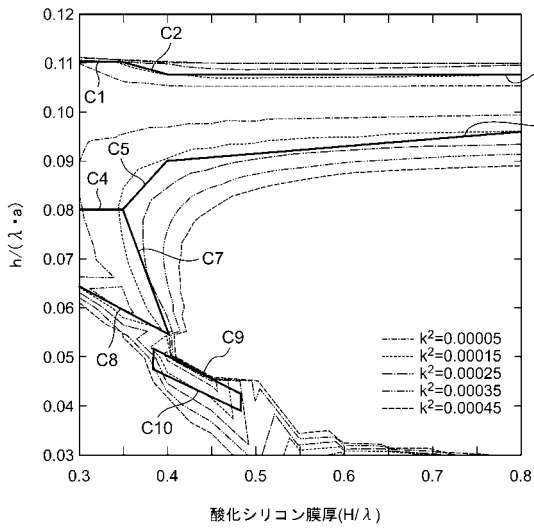
A1: $h/(\lambda \cdot a)=0.12$
 A2: $h/(\lambda \cdot a)=-0.08H/\lambda + 0.156$
 A3: $h/(\lambda \cdot a)=0.116$
 A4: $h/(\lambda \cdot a)=-0.047H/\lambda + 0.136$
 A5: $h/(\lambda \cdot a)=-0.01H/\lambda + 0.118$
 A6: $h/(\lambda \cdot a)=-0.208H/\lambda + 0.128$
 A7: $h/(\lambda \cdot a)=-0.125H/\lambda + 0.0925$

【図 21】

Yカット角 $\theta=26^\circ$ 

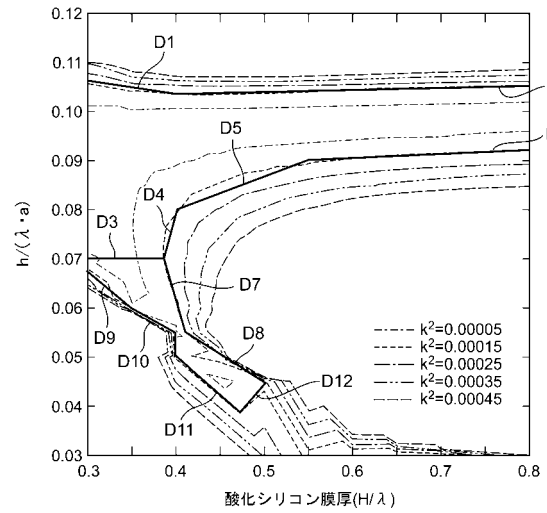
B1: $h/(\lambda \cdot a)=-0.05H/\lambda + 0.132$
 B2: $h/(\lambda \cdot a)=0.112$
 B3: $h/(\lambda \cdot a)=0.1$
 B4: $h/(\lambda \cdot a)=-0.3H/\lambda + 0.17$
 B5: $h/(\lambda \cdot a)=-0.1H/\lambda + 0.09$

【図 2 2】

Yカット角 $\theta = 27^\circ$ 

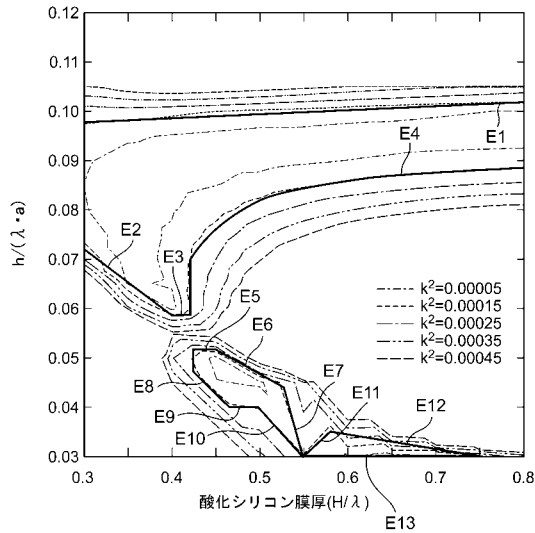
$$\begin{aligned} C1: h/(\lambda \cdot a) &= 0.11 \\ C2: h/(\lambda \cdot a) &= -0.04H/\lambda + 0.124 \\ C3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.108 \\ C4: h/(\lambda \cdot a) &= 0.08 \\ C5: h/(\lambda \cdot a) &= 0.2H/\lambda + 0.01 \\ C6: h/(\lambda \cdot a) &= 0.015H/\lambda + 0.084 \\ C7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.5H/\lambda + 0.255 \\ C8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.09H/\lambda + 0.091 \\ C9: h/(\lambda \cdot a) &= -0.1H/\lambda + 0.091 \\ C10: h/(\lambda \cdot a) &= -0.1H/\lambda + 0.087 \end{aligned}$$

【図 2 3】

Yカット角 $\theta = 28^\circ$ 

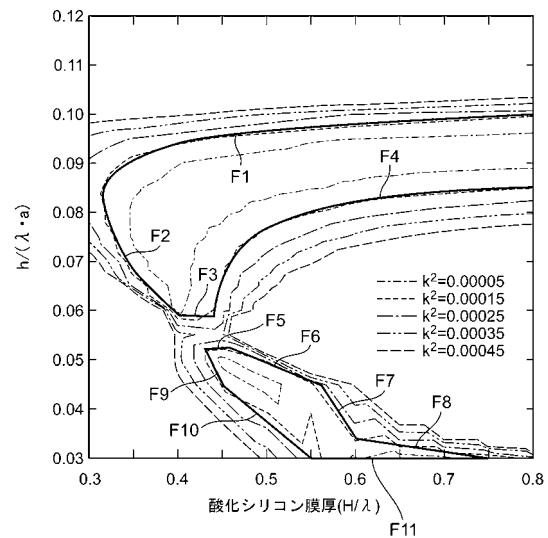
$$\begin{aligned} D1: h/(\lambda \cdot a) &= -0.03H/\lambda + 0.116 \\ D2: h/(\lambda \cdot a) &= 0.005H/\lambda + 0.102 \\ D3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.07 \\ D4: h/(\lambda \cdot a) &= 0.5H/\lambda - 0.12 \\ D5: h/(\lambda \cdot a) &= 0.067H/\lambda + 0.053 \\ D6: h/(\lambda \cdot a) &= 0.008H/\lambda + 0.0856 \\ D7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.5H/\lambda + 0.26 \\ D8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.111H/\lambda + 0.101 \\ D9: h/(\lambda \cdot a) &= -0.16H/\lambda + 0.116 \\ D10: h/(\lambda \cdot a) &= -0.1H/\lambda + 0.095 \\ D11: h/(\lambda \cdot a) &= -0.171H/\lambda + 0.119 \\ D12: h/(\lambda \cdot a) &= 0.233H/\lambda - 0.0717 \end{aligned}$$

【図 2 4】

Yカット角 $\theta = 29^\circ$ 

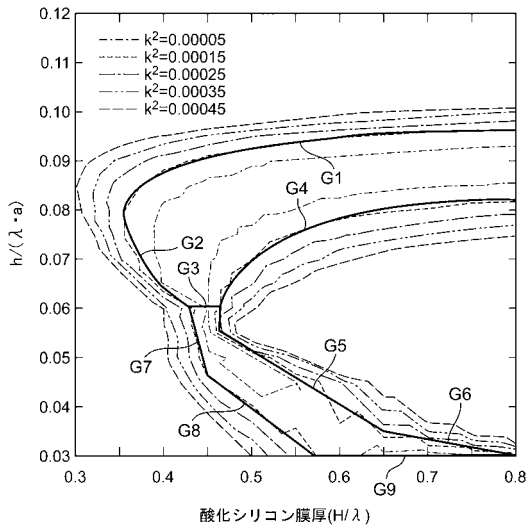
$$\begin{aligned} E1: h/(\lambda \cdot a) &= 0.008H/\lambda + 0.0956 \\ E2: h/(\lambda \cdot a) &= -0.14H/\lambda + 0.114 \\ E3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.058 \\ E4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.342(H/\lambda)^2 + 0.465H/\lambda - 0.0648 \\ E5: h/(\lambda \cdot a) &= 0.052 \\ E6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0875H/\lambda + 0.0914 \\ E7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.75H/\lambda + 0.443 \\ E8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.175H/\lambda + 0.121 \\ E9: h/(\lambda \cdot a) &= 0.04 \\ E10: h/(\lambda \cdot a) &= -0.2H/\lambda + 0.14 \\ E11: h/(\lambda \cdot a) &= 0.167H/\lambda - 0.0617 \\ E12: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0294H/\lambda + 0.0521 \\ E13: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 2 5】

Yカット角 $\theta = 30^\circ$ 

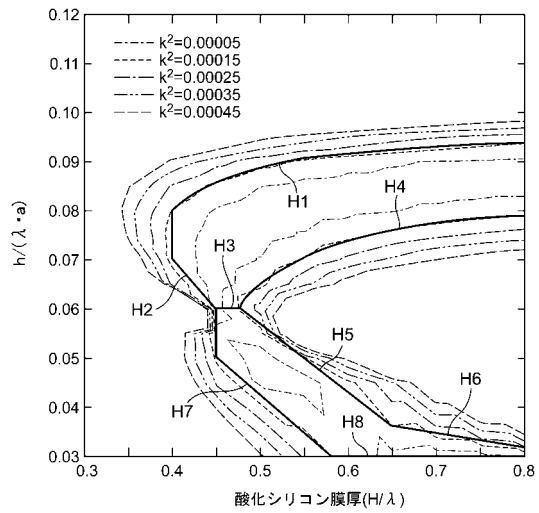
$$\begin{aligned} F1: h/(\lambda \cdot a) &= -0.286(H/\lambda)^2 + 0.356H/\lambda - 0.0027 \\ F2: h/(\lambda \cdot a) &= 3.33(H/\lambda)^2 - 2.7H/\lambda + 0.605 \\ F3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.058 \\ F4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.75(H/\lambda)^2 + 1.005H/\lambda - 0.239 \\ F5: h/(\lambda \cdot a) &= 0.052 \\ F6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0727H/\lambda + 0.0855 \\ F7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.333H/\lambda + 0.234 \\ F8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0267H/\lambda + 0.05 \\ F9: h/(\lambda \cdot a) &= -0.4H/\lambda + 0.224 \\ F10: h/(\lambda \cdot a) &= -0.14H/\lambda + 0.107 \\ F11: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 26】

Yカット角 $\theta = 31^\circ$ 

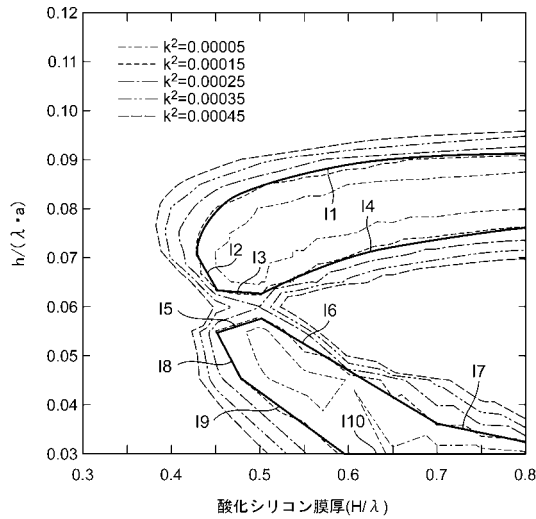
$$\begin{aligned} G1: h/(\lambda \cdot a) &= -0.131(H/\lambda)^2 + 0.188H/\lambda + 0.0293 \\ G2: h/(\lambda \cdot a) &= 4.64(H/\lambda)^2 - 3.95H/\lambda + 0.902 \\ G3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.06 \\ G4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.283(H/\lambda)^2 + 0.424H/\lambda - 0.0758 \\ G5: h/(\lambda \cdot a) &= -0.108H/\lambda + 0.105 \\ G6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0333H/\lambda + 0.0567 \\ G7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.65H/\lambda + 0.34 \\ G8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.142H/\lambda + 0.111 \\ G9: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 27】

Yカット角 $\theta = 32^\circ$ 

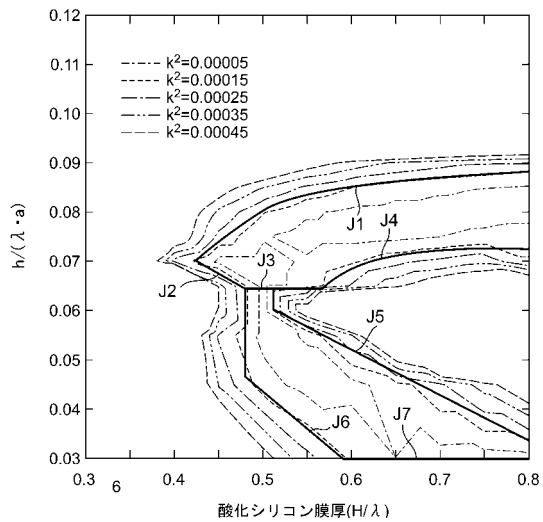
$$\begin{aligned} H1: h/(\lambda \cdot a) &= -0.153(H/\lambda)^2 + 0.219H/\lambda + 0.0169 \\ H2: h/(\lambda \cdot a) &= -0.2H/\lambda + 0.15 \\ H3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.06 \\ H4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.346(H/\lambda)^2 + 0.5H/\lambda - 0.1 \\ H5: h/(\lambda \cdot a) &= -0.135H/\lambda + 0.125 \\ H6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0333H/\lambda + 0.0587 \\ H7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.154H/\lambda + 0.119 \\ H8: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 28】

Yカット角 $\theta = 33^\circ$ 

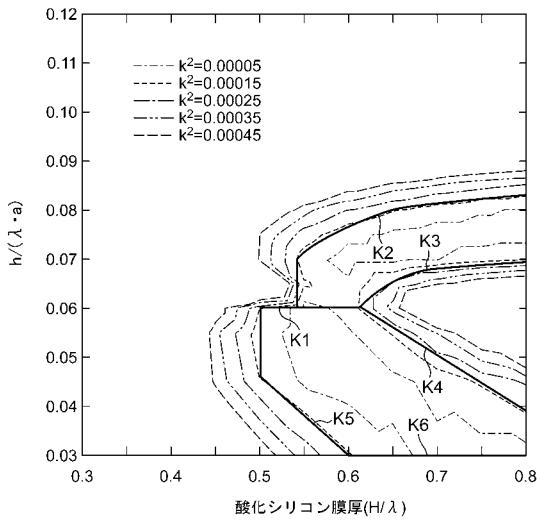
$$\begin{aligned} I1: h/(\lambda \cdot a) &= -1.266(H/\lambda)^2 + 1.614H/\lambda - 0.39 \\ I2: h/(\lambda \cdot a) &= -0.4H/\lambda + 0.242 \\ I3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.062 \\ I4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.167(H/\lambda)^2 + 0.263H/\lambda - 0.028 \\ I5: h/(\lambda \cdot a) &= 0.06H/\lambda + 0.028 \\ I6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.11H/\lambda + 0.113 \\ I7: h/(\lambda \cdot a) &= -0.03H/\lambda + 0.057 \\ I8: h/(\lambda \cdot a) &= -0.3H/\lambda + 0.19 \\ I9: h/(\lambda \cdot a) &= -0.145H/\lambda + 0.116 \\ I10: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 29】

Yカット角 $\theta = 34^\circ$ 

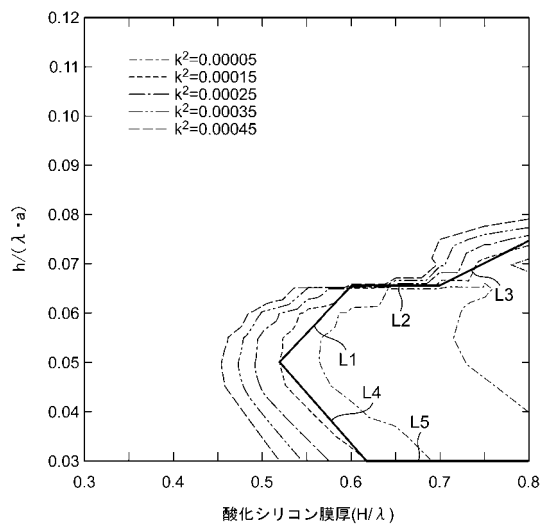
$$\begin{aligned} J1: h/(\lambda \cdot a) &= -0.284(H/\lambda)^2 + 0.396H/\lambda - 0.0471 \\ J2: h/(\lambda \cdot a) &= -0.109H/\lambda + 0.116 \\ J3: h/(\lambda \cdot a) &= 0.064 \\ J4: h/(\lambda \cdot a) &= -0.6594(H/\lambda)^2 + 0.9382H/\lambda - 0.257 \\ J5: h/(\lambda \cdot a) &= -0.0929H/\lambda + 0.108 \\ J6: h/(\lambda \cdot a) &= -0.155H/\lambda + 0.121 \\ J7: h/(\lambda \cdot a) &= 0.03 \end{aligned}$$

【図 30】

Yカット角 $\theta = 36^\circ$ 

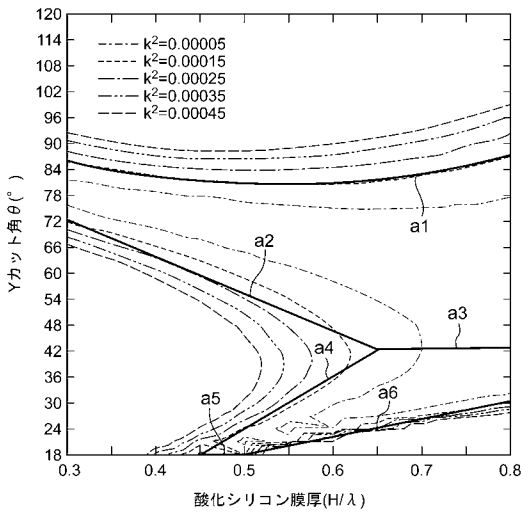
K1: $h/(\lambda \cdot a) = 0.06$
 K2: $h/(\lambda \cdot a) = -0.273(H/\lambda)^2 + 0.415H/\lambda - 0.0748$
 K3: $h/(\lambda \cdot a) = -0.5(H/\lambda)^2 + 0.76H/\lambda - 0.219$
 K4: $h/(\lambda \cdot a) = -0.117H/\lambda + 0.132$
 K5: $h/(\lambda \cdot a) = -0.16H/\lambda + 0.126$
 K6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.03$

【図 31】

Yカット角 $\theta = 39^\circ$ 

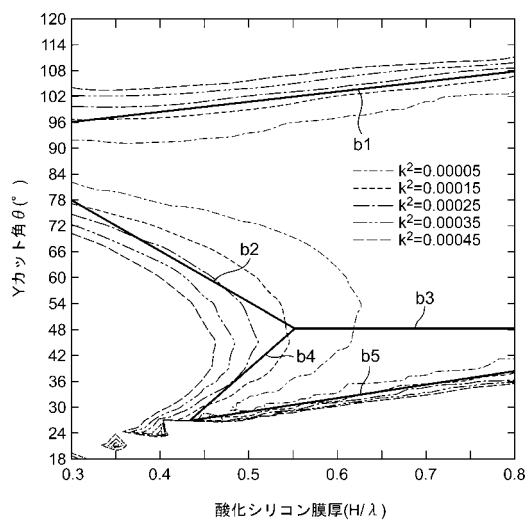
L1: $h/(\lambda \cdot a) = 0.2H/\lambda - 0.054$
 L2: $h/(\lambda \cdot a) = 0.066$
 L3: $h/(\lambda \cdot a) = 0.09H/\lambda + 0.003$
 L4: $h/(\lambda \cdot a) = -0.2H/\lambda + 0.154$
 L5: $h/(\lambda \cdot a) = 0.03$

【図 32】

電極膜厚 $h = 0.03 \lambda/a$ 

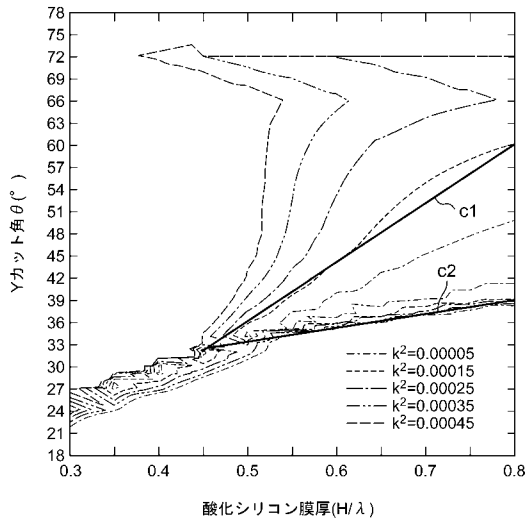
a1: $\theta = 75(H/\lambda)^2 - 82.5H/\lambda + 103.687$
 a2: $\theta = -85.7H/\lambda + 97.7$
 a3: $\theta = 42$
 a4: $\theta = 120H/\lambda - 36$
 a5: $\theta = 18$
 a6: $\theta = 40H/\lambda - 2$

【図 33】

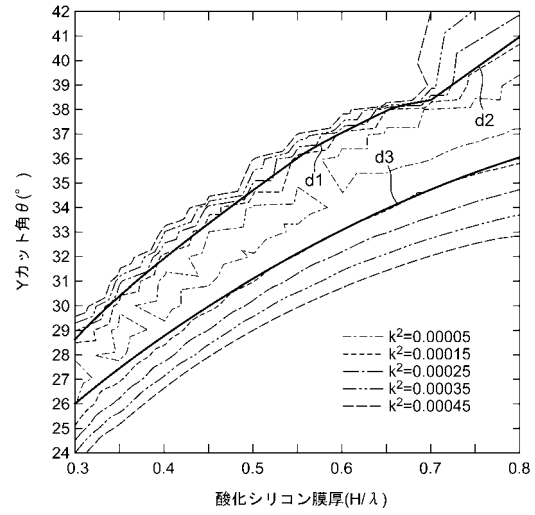
電極膜厚 $h = 0.045 \lambda/a$ 

b1: $\theta = 24H/\lambda + 88.8$
 b2: $\theta = -120H/\lambda + 114$
 b3: $\theta = 48$
 b4: $\theta = 180H/\lambda - 51$
 b5: $\theta = 34.3H/\lambda + 11.6$

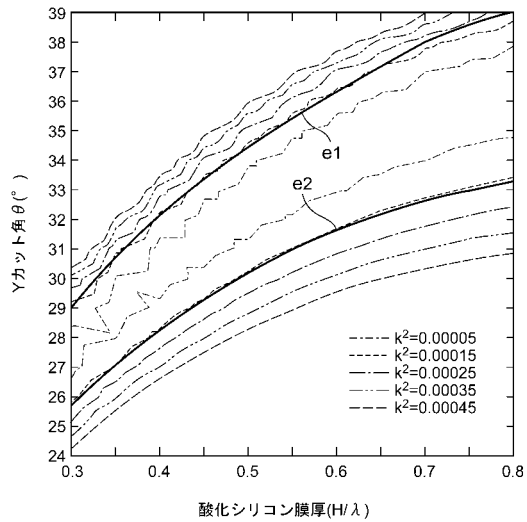
【図 3 4】

電極膜厚 $h=0.06\lambda/a$ 

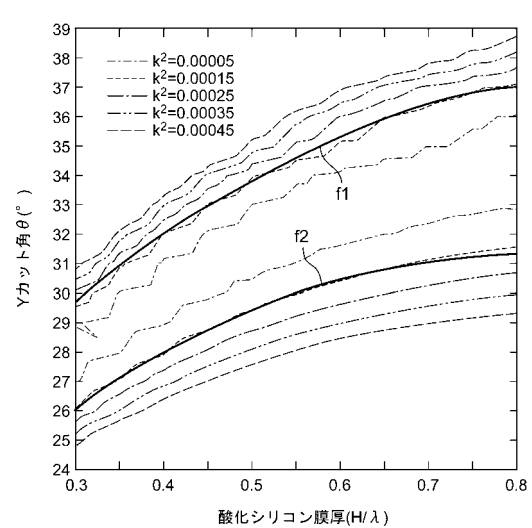
【図 3 5】

電極膜厚 $h=0.07\lambda/a$ 

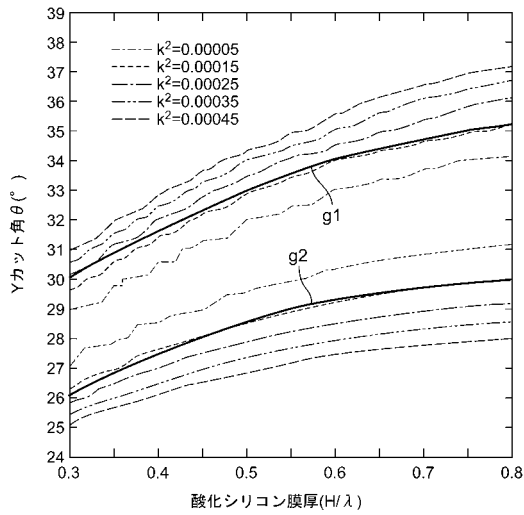
【図 3 6】

電極膜厚 $h=0.075\lambda/a$ 

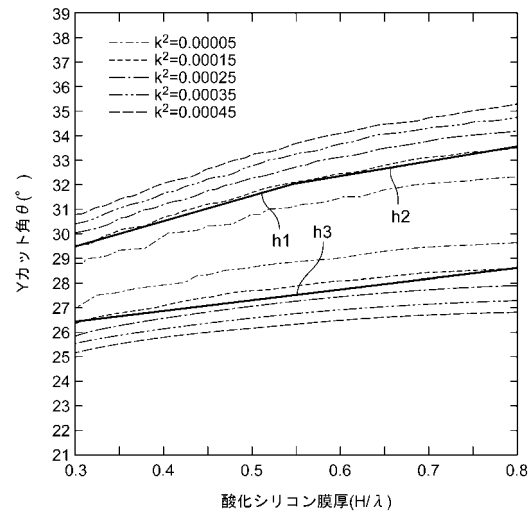
【図 3 7】

電極膜厚 $h=0.08\lambda/a$ 

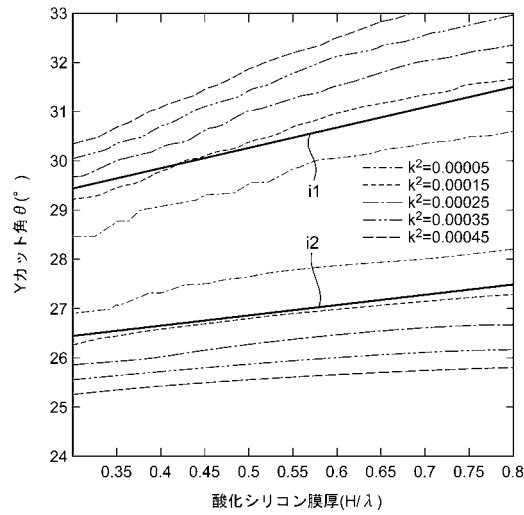
【図 38】

電極膜厚 $h=0.085\lambda/a$ 

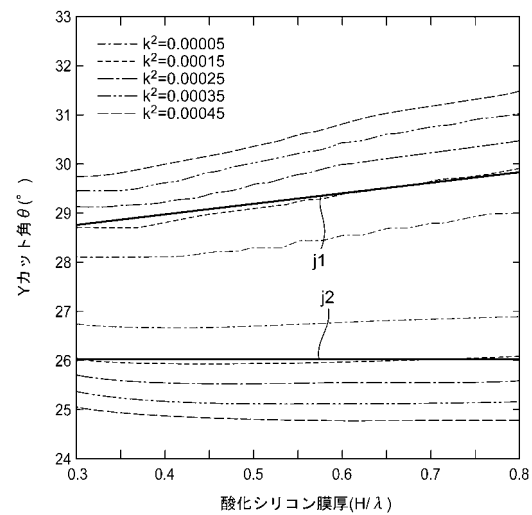
【図 39】

電極膜厚 $h=0.09\lambda/a$ 

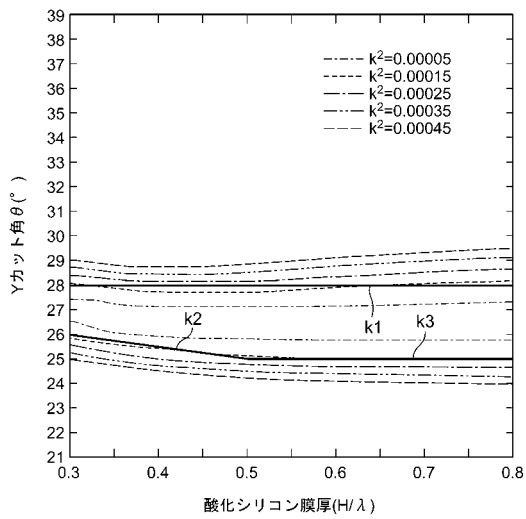
【図 40】

電極膜厚 $h=0.095\lambda/a$ 

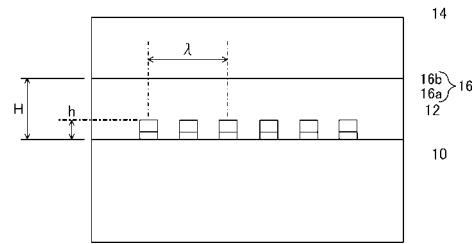
【図 41】

電極膜厚 $h=0.10\lambda/a$ 

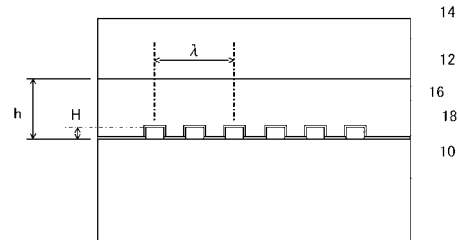
【図 4 2】

電極膜厚 $h=0.105 \lambda/a$ 

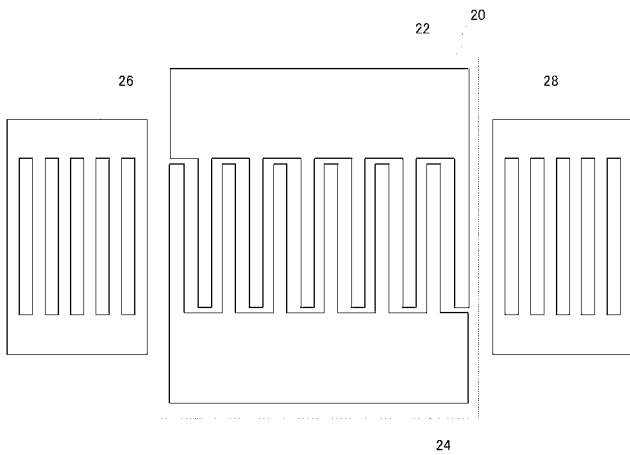
【図 4 3】



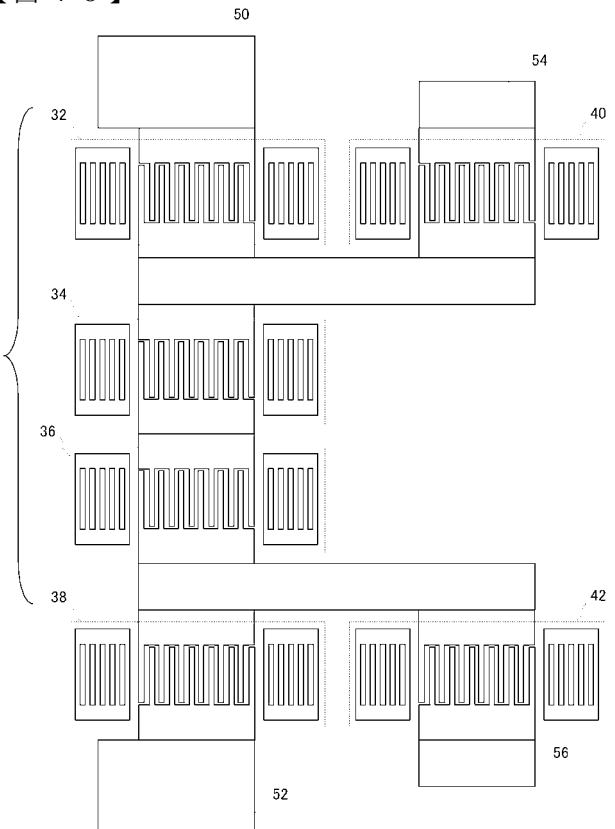
【図 4 4】



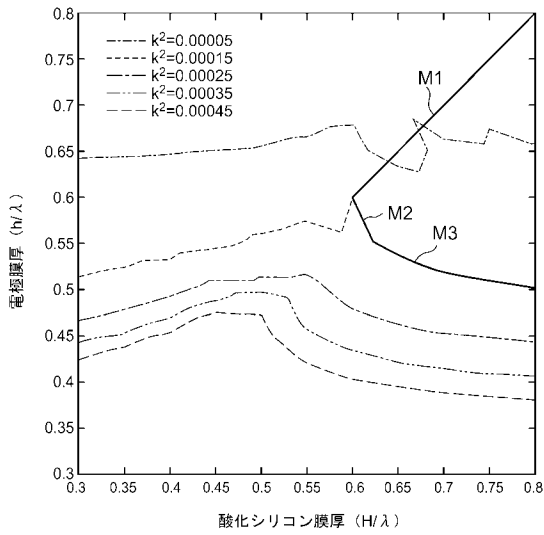
【図 4 5】



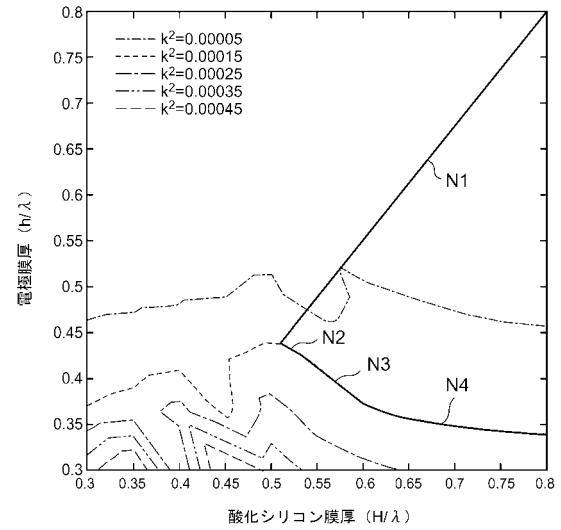
【図 4 6】



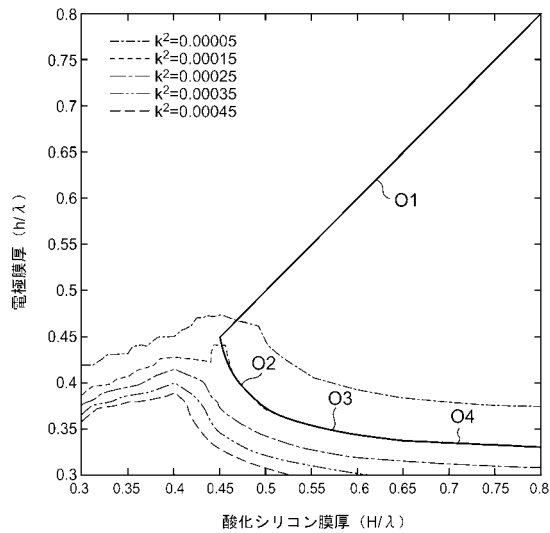
【図 4 7】

Yカット角 $\theta = 0^\circ$  h/λ M1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$ M2: $h/(\lambda \cdot a) = -2H/\lambda + 1.8$ M3: $h/(\lambda \cdot a) = 1.543(H/\lambda)^2 - 2.484 H/\lambda + 1.5$ 酸化シリコン膜厚 (H/λ)

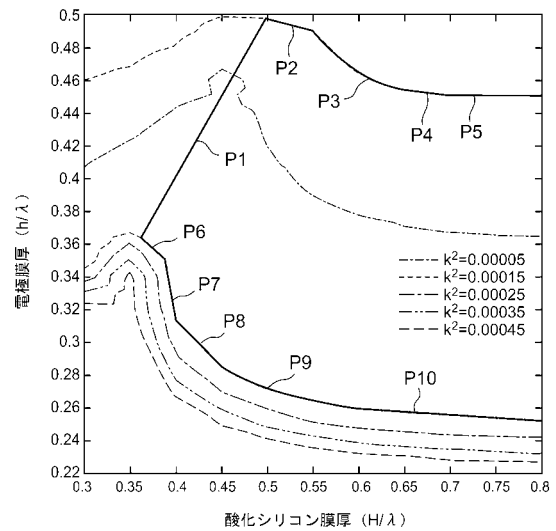
【図 4 8】

Yカット角 $\theta = 1^\circ$ N1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$ N2: $h/(\lambda \cdot a) = -0.3478H/\lambda + 0.6847$ N3: $h/(\lambda \cdot a) = -0.6087H/\lambda + 0.8232$ N4: $h/(\lambda \cdot a) = 0.6(H/\lambda)^2 - 0.98H/\lambda + 0.83$ 酸化シリコン膜厚 (H/λ)

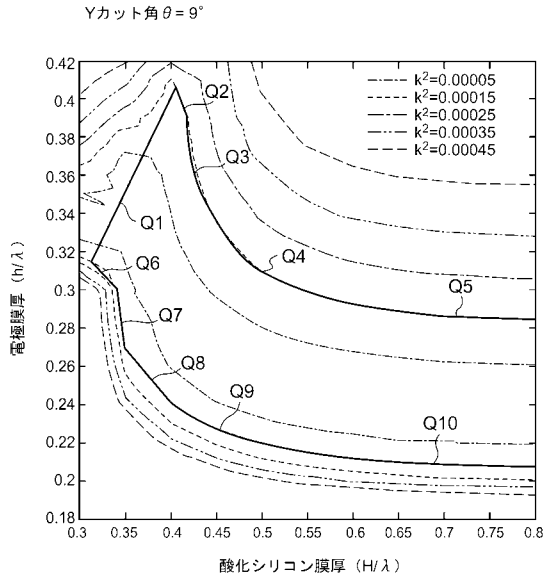
【図 4 9】

Yカット角 $\theta = 3^\circ$ O1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$ O2: $h/(\lambda \cdot a) = 28.998(H/\lambda)^2 - 29.088H/\lambda + 7.668$ O3: $h/(\lambda \cdot a) = 1.6(H/\lambda)^2 - 2.06H/\lambda + 1.003$ O4: $h/(\lambda \cdot a) = -0.0733H/\lambda + 0.3877$ 酸化シリコン膜厚 (H/λ)

【図 5 0】

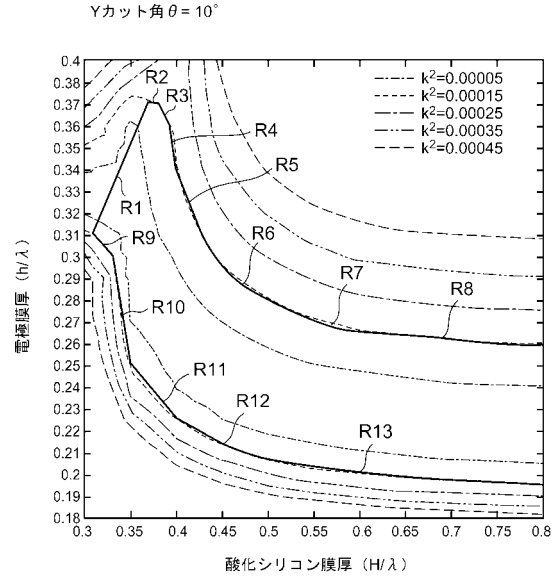
Yカット角 $\theta = 6^\circ$ P1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$ P2: $h/(\lambda \cdot a) = -0.111H/\lambda + 0.5511$ P3: $h/(\lambda \cdot a) = 3.4(H/\lambda)^2 - 4.45H/\lambda + 1.909$ P4: $h/(\lambda \cdot a) = -0.06H/\lambda + 0.492$ P5: $h/(\lambda \cdot a) = 0.45$ P6: $h/(\lambda \cdot a) = -0.46H/\lambda + 0.5293$ P7: $h/(\lambda \cdot a) = -2.96H/\lambda + 1.498$ P8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.58H/\lambda + 0.546$ P9: $h/(\lambda \cdot a) = 1.2667(H/\lambda)^2 - 1.503H/\lambda + 0.705$ P10: $h/(\lambda \cdot a) = -0.04H/\lambda + 0.283$ 酸化シリコン膜厚 (H/λ)

【図 5 1】



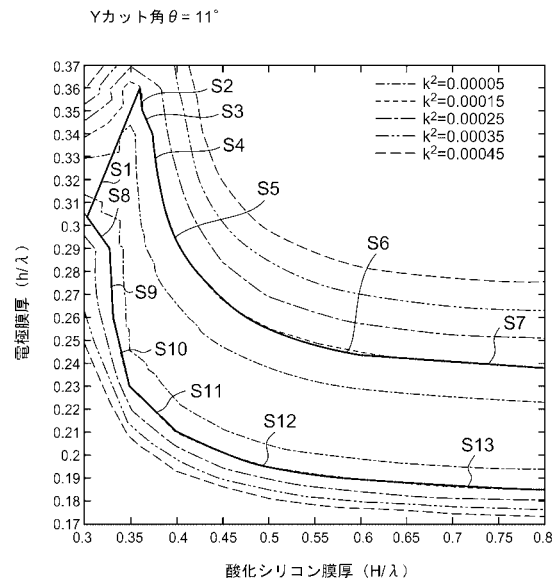
Q1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 Q2: $h/(\lambda \cdot a) = -1.077H/\lambda + 0.8432$
 Q3: $h/(\lambda \cdot a) = 61.7512(H/\lambda)^2 - 55.565H/\lambda + 12.8326$
 Q4: $h/(\lambda \cdot a) = 1.8667(H/\lambda)^2 - 2.233H/\lambda + 0.96$
 Q5: $h/(\lambda \cdot a) = 0.2(H/\lambda)^2 - 0.32H/\lambda + 0.412$
 Q6: $h/(\lambda \cdot a) = -0.5556H/\lambda + 0.49$
 Q7: $h/(\lambda \cdot a) = -3.75H/\lambda + 1.5825$
 Q8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.6H/\lambda + 0.48$
 Q9: $h/(\lambda \cdot a) = 1.133(H/\lambda)^2 - 1.243H/\lambda + 0.556$
 Q10: $h/(\lambda \cdot a) = 0.1067(H/\lambda)^2 - 0.18H/\lambda + 0.2817$

【図 5 2】



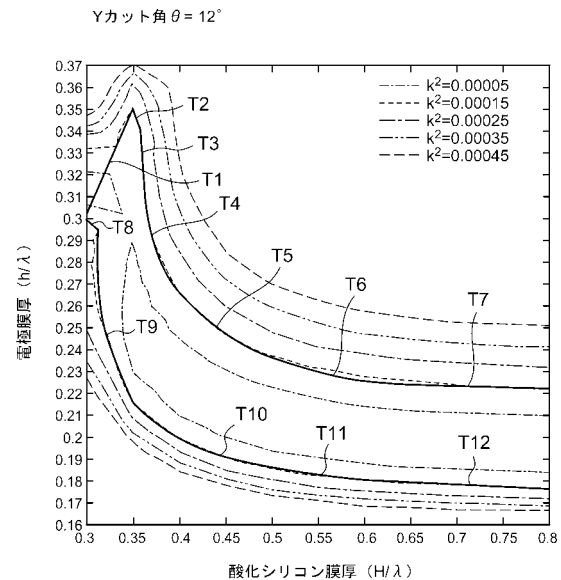
R1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 R2: $h/(\lambda \cdot a) = 0.37$
 R3: $h/(\lambda \cdot a) = -1.111H/\lambda + 0.7956$
 R4: $h/(\lambda \cdot a) = 2.5H/\lambda + 1.34$
 R5: $h/(\lambda \cdot a) = 12(H/\lambda)^2 - 11.1H/\lambda + 2.86$
 R6: $h/(\lambda \cdot a) = 3.2(H/\lambda)^2 - 3.36H/\lambda + 1.159$
 R7: $h/(\lambda \cdot a) = 0.5455(H/\lambda)^2 - 0.7327H/\lambda + 0.509$
 R8: $h/(\lambda \cdot a) = 0.08848(H/\lambda)^2 - 0.1616H/\lambda + 0.3307$
 R9: $h/(\lambda \cdot a) = -0.4762H/\lambda + 0.4576$
 R10: $h/(\lambda \cdot a) = -2.632H/\lambda + 1.171$
 R11: $h/(\lambda \cdot a) = -0.5H/\lambda + 0.425$
 R12: $h/(\lambda \cdot a) = (H/\lambda)^2 - 1.09H/\lambda + 0.501$
 R13: $h/(\lambda \cdot a) = 0.1(H/\lambda)^2 - 0.17H/\lambda + 0.266$

【図 5 3】



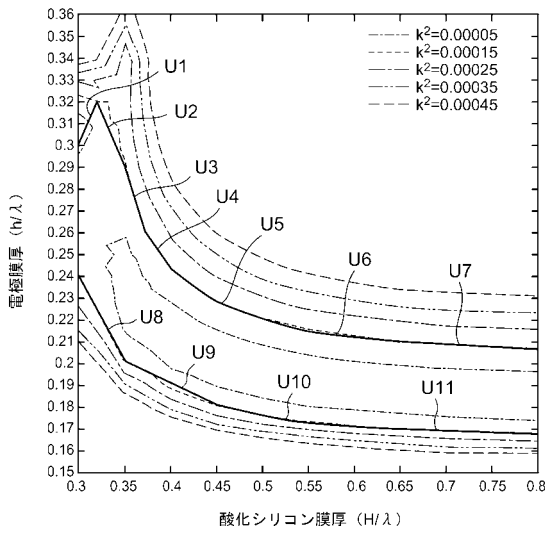
S1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 S2: $h/(\lambda \cdot a) = 4H/\lambda + 1.8$
 S3: $h/(\lambda \cdot a) = -0.8H/\lambda + 0.64$
 S4: $h/(\lambda \cdot a) = 80.702(H/\lambda)^2 - 64.344H/\lambda + 13.120$
 S5: $h/(\lambda \cdot a) = 3(H/\lambda)^2 - 3.091H/\lambda + 1.051$
 S6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.4(H/\lambda)^2 - 0.56H/\lambda + 0.436$
 S7: $h/(\lambda \cdot a) = -0.02H/\lambda + 0.254$
 S8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.56H/\lambda + 0.474$
 S9: $h/(\lambda \cdot a) = -15H/\lambda + 5.225$
 S10: $h/(\lambda \cdot a) = -1.579H/\lambda + 0.7826$
 S11: $h/(\lambda \cdot a) = -0.4H/\lambda + 0.37$
 S12: $h/(\lambda \cdot a) = 0.4762(H/\lambda)^2 - 0.5786H/\lambda + 0.3652$
 S13: $h/(\lambda \cdot a) = 0.0381(H/\lambda)^2 - 0.07905H/\lambda + 0.2229$

【図 5 4】



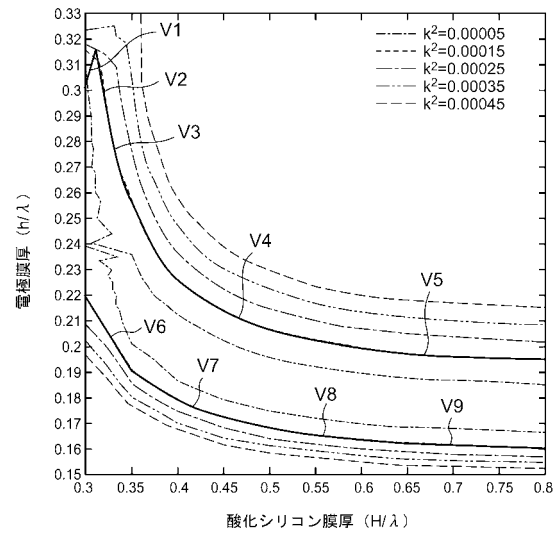
T1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 T2: $h/(\lambda \cdot a) = -1.25H/\lambda + 0.7875$
 T3: $h/(\lambda \cdot a) = -6.667H/\lambda + 2.7267$
 T4: $h/(\lambda \cdot a) = 27.781(H/\lambda)^2 - 22.3379H/\lambda + 4.7569$
 T5: $h/(\lambda \cdot a) = 2.18(H/\lambda)^2 - 2.271H/\lambda + 0.8263$
 T6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.44(H/\lambda)^2 - 0.578H/\lambda + 0.4148$
 T7: $h/(\lambda \cdot a) = -0.02667H/\lambda + 0.2423$
 T8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.5H/\lambda + 0.45$
 T9: $h/(\lambda \cdot a) = 25.1541(H/\lambda)^2 - 18.099H/\lambda + 3.4683$
 T10: $h/(\lambda \cdot a) = 1.8(H/\lambda)^2 - 1.69H/\lambda + 0.586$
 T11: $h/(\lambda \cdot a) = 0.3333(H/\lambda)^2 - 0.4167H/\lambda + 0.31$
 T12: $h/(\lambda \cdot a) = -0.02H/\lambda + 0.192$

【図 5 5】

Yカット角 $\theta = 13^\circ$ 

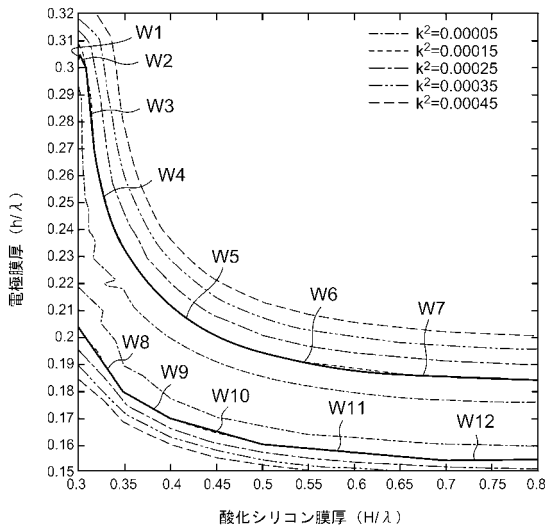
U1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 U2: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda + 0.64$
 U3: $h/(\lambda \cdot a) = -1.3044H/\lambda + 0.7465$
 U4: $h/(\lambda \cdot a) = -0.6296H/\lambda + 0.4949$
 U5: $h/(\lambda \cdot a) = 1.6(H/\lambda)^2 - 1.66H/\lambda + 0.651$
 U6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.4667(H/\lambda)^2 - 0.61H/\lambda + 0.4093$
 U7: $h/(\lambda \cdot a) = -0.02H/\lambda + 0.223$
 U8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.8H/\lambda + 0.48$
 U9: $h/(\lambda \cdot a) = -0.2H/\lambda + 0.27$
 U10: $h/(\lambda \cdot a) = 0.09524(H/\lambda)^2 - 0.1595H/\lambda + 0.2325$
 U11: $h/(\lambda \cdot a) = -0.01143H/\lambda + 0.1771$

【図 5 6】

Yカット角 $\theta = 14^\circ$ 

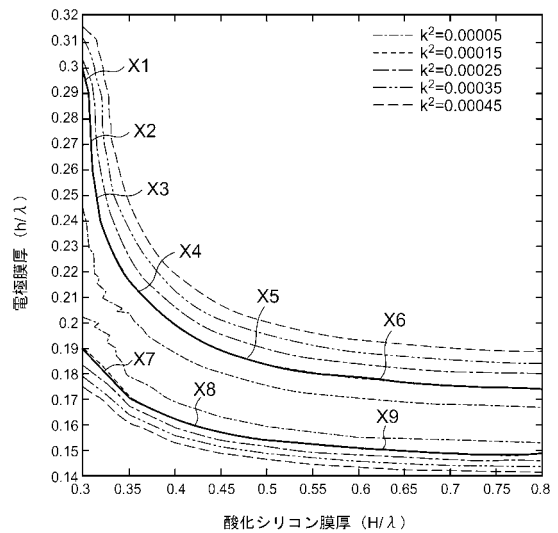
V1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 V2: $h/(\lambda \cdot a) = -4H/\lambda + 1.59$
 V3: $h/(\lambda \cdot a) = 6.933(H/\lambda)^2 - 5.88H/\lambda + 1.4687$
 V4: $h/(\lambda \cdot a) = 0.6618(H/\lambda)^2 - 0.7924H/\lambda + 0.437$
 V5: $h/(\lambda \cdot a) = 0.11527(H/\lambda)^2 - 0.1829H/\lambda + 0.2676$
 V6: $h/(\lambda \cdot a) = -0.6H/\lambda + 0.4$
 V7: $h/(\lambda \cdot a) = 0.8(H/\lambda)^2 - 0.82H/\lambda + 0.379$
 V8: $h/(\lambda \cdot a) = 0.2095(H/\lambda)^2 - 0.2814H/\lambda + 0.2564$
 V9: $h/(\lambda \cdot a) = -0.0133H/\lambda + 0.1707$

【図 5 7】

Yカット角 $\theta = 15^\circ$ 

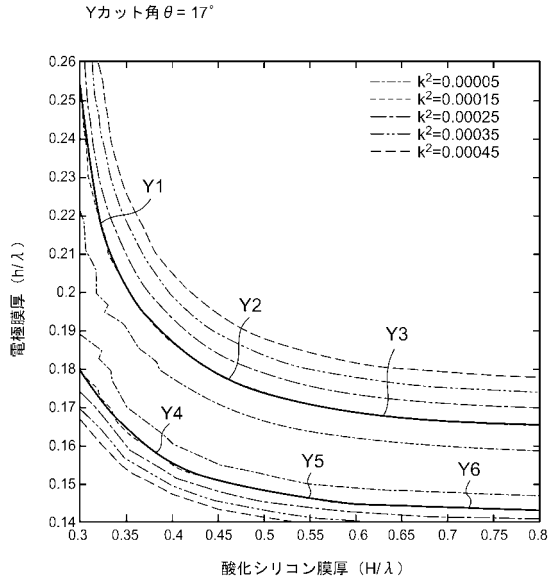
W1: $h/(\lambda \cdot a) = H/\lambda$
 W2: $h/(\lambda \cdot a) = -1.25H/\lambda + 0.685$
 W3: $h/(\lambda \cdot a) = -2.308H/\lambda + 1.011$
 W4: $h/(\lambda \cdot a) = 11.239(H/\lambda)^2 - 8.748H/\lambda + 1.920$
 W5: $h/(\lambda \cdot a) = 1.1733(H/\lambda)^2 - 1.2347H/\lambda + 0.518$
 W6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.267(H/\lambda)^2 - 0.36H/\lambda + 0.3073$
 W7: $h/(\lambda \cdot a) = -0.01333H/\lambda + 0.1947$
 W8: $h/(\lambda \cdot a) = -0.5H/\lambda + 0.355$
 W9: $h/(\lambda \cdot a) = -0.2H/\lambda + 0.25$
 W10: $h/(\lambda \cdot a) = -0.1H/\lambda + 0.21$
 W11: $h/(\lambda \cdot a) = -0.03H/\lambda + 0.175$
 W12: $h/(\lambda \cdot a) = 0.154$

【図 5 8】

Yカット角 $\theta = 16^\circ$ 

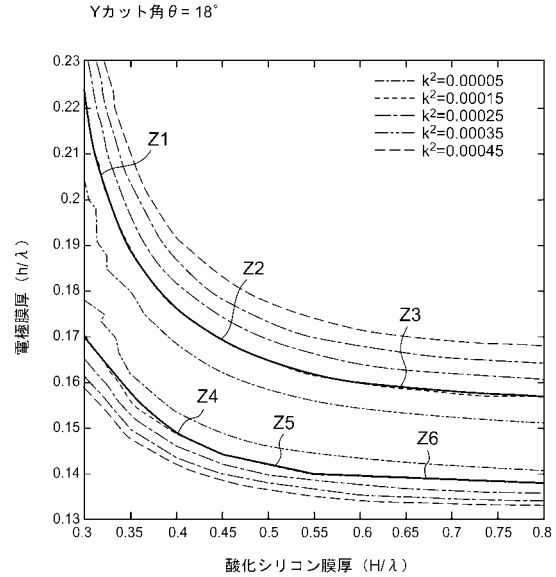
X1: $h/(\lambda \cdot a) = -1.25H/\lambda + 0.675$
 X2: $h/(\lambda \cdot a) = -10H/\lambda + 3.37$
 X3: $h/(\lambda \cdot a) = -2H/\lambda + 0.882$
 X4: $h/(\lambda \cdot a) = 5.9188(H/\lambda)^2 - 4.799H/\lambda + 1.171$
 X5: $h/(\lambda \cdot a) = 0.711(H/\lambda)^2 - 0.7956H/\lambda + 0.4024$
 X6: $h/(\lambda \cdot a) = 0.128(H/\lambda)^2 - 0.197H/\lambda + 0.2495$
 X7: $h/(\lambda \cdot a) = -0.4H/\lambda + 0.31$
 X8: $h/(\lambda \cdot a) = 0.3556(H/\lambda)^2 - 0.4089H/\lambda + 0.2696$
 X9: $h/(\lambda \cdot a) = 0.08762(H/\lambda)^2 - 0.1306H/\lambda + 0.1974$

【図 59】



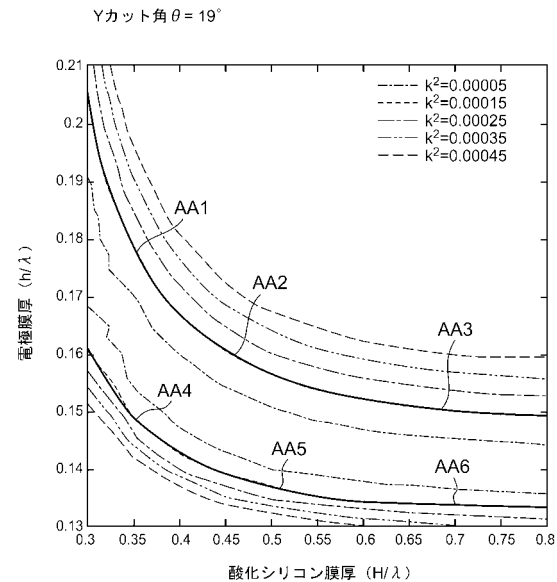
$Y1: h/(\lambda \cdot a) = 8.6(H/\lambda)^2 - 6.75H/\lambda + 1.511$
 $Y2: h/(\lambda \cdot a) = 0.467(H/\lambda)^2 - 0.557H/\lambda + 0.335$
 $Y3: h/(\lambda \cdot a) = 0.0667(H/\lambda)^2 - 0.11H/\lambda + 0.2103$
 $Y4: h/(\lambda \cdot a) = 1.133(H/\lambda)^2 - 1.043H/\lambda + 0.391$
 $Y5: h/(\lambda \cdot a) = 0.133(H/\lambda)^2 - 0.183H/\lambda + 0.2065$
 $Y6: h/(\lambda \cdot a) = -0.0075H/\lambda + 0.149$

【図 60】



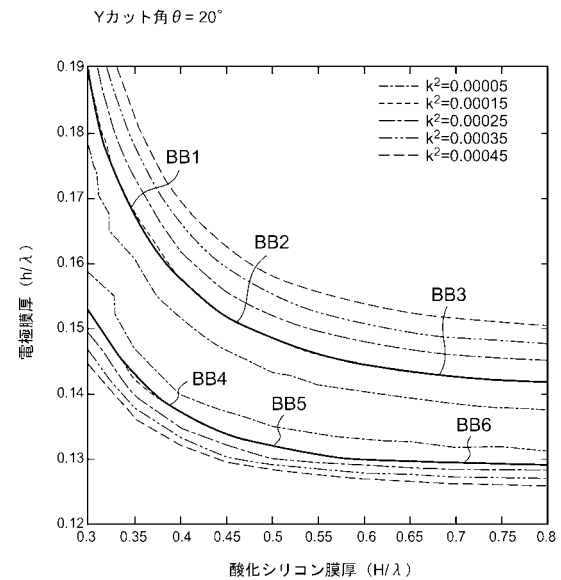
$Z1: h/(\lambda \cdot a) = 4(H/\lambda)^2 - 3.28H/\lambda + 0.848$
 $Z2: h/(\lambda \cdot a) = 0.467(H/\lambda)^2 - 0.537H/\lambda + 0.316$
 $Z3: h/(\lambda \cdot a) = 0.1(H/\lambda)^2 - 0.155H/\lambda + 0.217$
 $Z4: h/(\lambda \cdot a) = 0.867(H/\lambda)^2 - 0.817H/\lambda + 0.337$
 $Z5: h/(\lambda \cdot a) = -0.05H/\lambda + 0.1675$
 $Z6: h/(\lambda \cdot a) = -0.008H/\lambda + 0.1444$

【図 61】



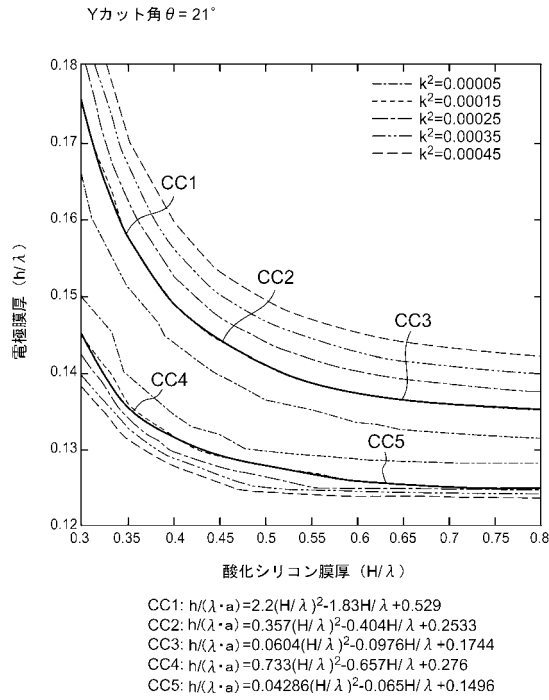
$AA1: h/(\lambda \cdot a) = 2.8(H/\lambda)^2 - 2.34H/\lambda + 0.655$
 $AA2: h/(\lambda \cdot a) = 0.467(H/\lambda)^2 - 0.537H/\lambda + 0.307$
 $AA3: h/(\lambda \cdot a) = 0.04(H/\lambda)^2 - 0.07H/\lambda + 0.1794$
 $AA4: h/(\lambda \cdot a) = 0.933(H/\lambda)^2 - 0.847H/\lambda + 0.331$
 $AA5: h/(\lambda \cdot a) = 0.081(H/\lambda)^2 - 0.118H/\lambda + 0.1759$
 $AA6: h/(\lambda \cdot a) = -0.005H/\lambda + 0.137$

【図 62】

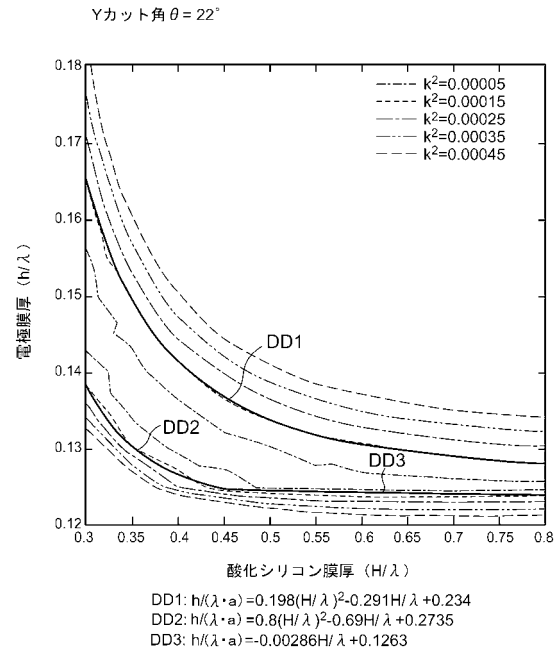


$BB1: h/(\lambda \cdot a) = 2.4(H/\lambda)^2 - 2H/\lambda + 0.574$
 $BB2: h/(\lambda \cdot a) = 0.4(H/\lambda)^2 - 0.46H/\lambda + 0.278$
 $BB3: h/(\lambda \cdot a) = 0.0933(H/\lambda)^2 - 0.142H/\lambda + 0.1959$
 $BB4: h/(\lambda \cdot a) = 0.667(H/\lambda)^2 - 0.627H/\lambda + 0.281$
 $BB5: h/(\lambda \cdot a) = 0.107(H/\lambda)^2 - 0.141H/\lambda + 0.176$
 $BB6: h/(\lambda \cdot a) = -0.00444H/\lambda + 0.1326$

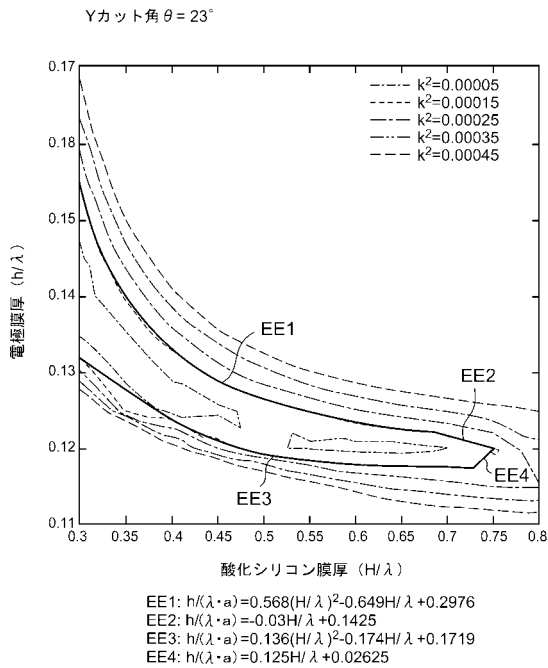
【図 6 3】



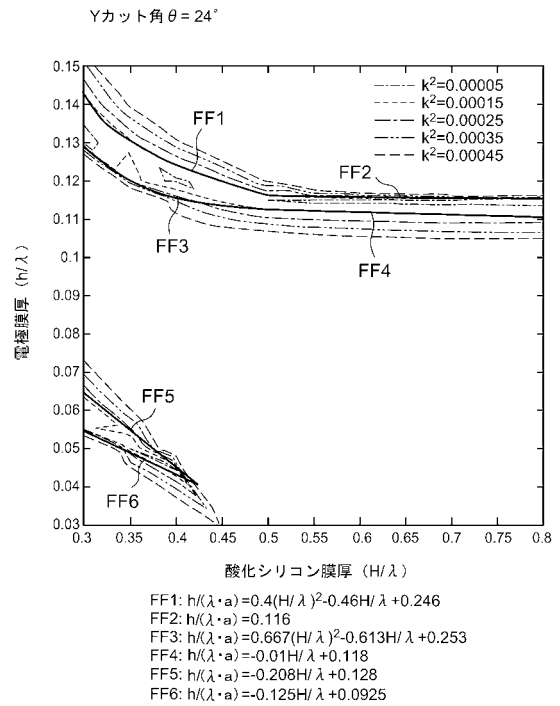
【図 6 4】



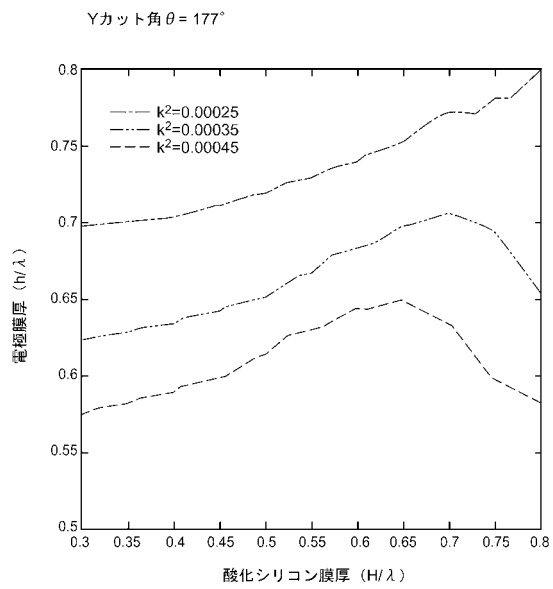
【図 6 5】



【図 6 6】



【図 6 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 松田 聡
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 松田 隆志
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 上田 政則
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 水戸部 整一
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目3番地12 富士通メディアデバイス株式会社内
- Fターム(参考) 5J097 AA14 BB02 DD28 DD29 FF05 GG04 GG05 GG07 KK04 KK05