

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3961448号

(P3961448)

(45) 発行日 平成19年8月22日(2007.8.22)

(24) 登録日 平成19年5月25日(2007.5.25)

(51) Int.Cl.

H01S 3/115 (2006.01)

F I

H01S 3/115

請求項の数 6 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2003-138878 (P2003-138878)	(73) 特許権者	594196624
(22) 出願日	平成15年5月16日(2003.5.16)		山東大学
(65) 公開番号	特開2003-347635 (P2003-347635A)		中華人民共和国山東省済南市山大南路27号
(43) 公開日	平成15年12月5日(2003.12.5)	(74) 代理人	100105647
審査請求日	平成18年4月14日(2006.4.14)		弁理士 小栗 昌平
(31) 優先権主張番号	02110374.7	(74) 代理人	100105474
(32) 優先日	平成14年5月20日(2002.5.20)		弁理士 本多 弘徳
(33) 優先権主張国	中国 (CN)	(74) 代理人	100108589
			弁理士 市川 利光
		(74) 代理人	100115107
			弁理士 高松 猛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 単結晶電光Qスイッチの器具

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ケイ酸ガリウムランタン(LGS)単結晶と光反射エレメントとを含んでおり、前記光反射エレメントは、光線が該光反射エレメントにより反射されうると共に主光学軸に沿って再び前記LGS単結晶を通る光伝播方向に沿って、前記LGS単結晶の一側に置かれていて、旋光性により引き起こされる偏光面の回転の角度をゼロにする、単結晶電気光学式Qスイッチ素子。

【請求項2】

前記LGS単結晶を通り伝播する光の波長を λ とした場合、前記LGS単結晶と前記光反射エレメントとの間に $\lambda/4$ の波長板が置かれている、請求項1に記載の単結晶電気光学式Qスイッチ素子。

【請求項3】

前記LGS単結晶は、 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタル、Ndイオンを入れた $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタル、 $\text{La}_3\text{Ga}_{5-x}\text{Al}_x\text{SiO}_{14}$ クリスタル(Xの範囲は0~5)、 $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Na}_2\text{CaGe}_6\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタル、または $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタルである、請求項1または2に記載の単結晶電気光学式Qスイッチ素子。

【請求項4】

前記LGS単結晶の二つの端面は、研磨されていると共に $1.064\mu\text{m}$ のレーザーが通せる増透膜でメッキされている、請求項1~3のいずれか1項に記載の単結晶電気光学式

10

20

Qスイッチ素子。

【請求項5】

Z方向である光を通す方向に沿った前記LGS単結晶の長さは8mm～1500mmであり、X方向あるいはYの方向に沿った厚さは4mm～20mmである、請求項1～4のいずれか1項に記載の単結晶電気光学式Qスイッチ素子。

【請求項6】

前記光反射エレメントは全反射平面鏡である、請求項1に記載の単結晶電気光学式Qスイッチ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明はクリスタルが光電技術の分野で応用されることに及んでいるのである。具体的に言えば、それは一種の単結晶電光Qスイッチの器具ということである。

【0002】

【従来の技術】

単結晶電光Qスイッチは、レーザー技術分野での重要なエレクトロ・オプティック器具である。そして、電光器具を作るためには、使うクリスタルは次のような物理的なパラメータを持つべきである。(1)電光係数が大きくて、半波電圧が低い。(2)損傷閾値が比較的に高い。(3)光波の波長範囲が適当である。(4)電気抵抗率がなくて、クリスタルが高圧に耐えられる。(5)誘電率 ϵ が低い。(6)クリスタルの物理的及び化学的な性能が安定である。現在では、使われている電光Qスイッチは主に二種類がある。

20

【0003】

その一つはDKDPクリスタルで作ったので、もう一つはLiNbO₃クリスタルで作ったのである。DKDPクリスタルで作った電光Qスイッチは損傷閾値が高く、オプティックルの均一性が優れている。しかし、DKDPクリスタルの縦の方向の電光効果を利用したので、環状のエレキ・ポールを使わなければならない。そして、半波電圧が高く、調整もできなくて、温度によつての変化も激しい。

【0004】

また、DKDPクリスタルは水に溶けやすいクリスタルなので、防湿装置をつけなければならないで、加工プロセスも複雑である。LiNbO₃クリスタルで作った電光Qスイッチは、クリスタルの横の方向の電光効果を利用したので、半波電圧がクリスタルの縦横比の大きさによつて調整できる。しかし、LiNbO₃クリスタルの損傷閾値が低くて、オプティックルの均一性がそれほどよくない。温度が低い時、半波電圧が温度によつての変化が激しい。それで、この二種類のクリスタルQスイッチが使用の面では、それほどよくないと思われる。こうして、新しい電光クリスタル及びその材料で作ったQスイッチ器具を発掘しなければならない。

30

【0005】

ケイ酸ガリウムランタン(La₃Ga₅SiO₁₄—略称LGS)は一種の性能が優れている圧電気のクリスタルである。1982年、旧ソ連の有名なレーザー専門家A.A.Kaminskyは初めてNd:LGSクリスタルのレーザー性能について報道した(Kaminsky A.A, Sarkisov S E.[J].Reports of the UUSR Academy of Science, 1982, 264(1):93)。その後、またNd:LGSとNdを入れたCa₃Ga₂Ge₄O₁₄及びSr₃Ga₂Ge₄O₁₄などのクリスタルの生長及びレーザーの性質を研究した(A.A.Kaminsky, B.V.Mill, G.G.Khodzhabagyan, Phys.Stat.Sol.(a), 1983,80:387; A.A.Kaminsky, I.M.Silvestroval, S.E.Sarkisov, Phys.Stat.Sol.(a),1983,80:607; A.A.Kaminsky, E.L.Belokoneva, B.V.Mill, Phys.Stat.Sol.(a),1984,86:345)。

40

【0006】

それと同時に、これらのクリスタルのオプティックル、圧電気、弾力性などのそれぞれの性能を測定した。1984年に、A.I.AndreevはLGS単結晶の弾性振動が零温度係数切型を持っていることを初めて報道した(A.I.Andreev, M.F.Doubvik, Letters to J. Theory Physics, 1984,10(8):487)。1986年に、E.G.Bronnikovaを始める研究者はLGS単結晶を使って、

50

高安定性を持っているRAW・シングルチップフィルタと共振器を作り上げた(E.G.Gronnikova, I.M.Larionov, Electronic Engineering Series, "Radiodetails and Compounds", 1986,2:63.)。そして、S.A.Sarkissovなどの人々によって、LGSクリスタル・シングルチップフィルタの特許が出願された(S.A.Sakharov, I.M.Larionov, Patent application 1986, No.4886181/22 of 28.11.90)。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

その時から、LGS単結晶の応用分野が開拓された。その後、同項目の研究がアメリカ、ドイツ、日本と韓国などの研究者に重視され、各国は相次いでこの一系列の材料に対して、広くて深く研究しつつある。現在、ロシアの科学者がこの項目に対して積極的に研究するほかに、日本の科学研究者もこれに対して大量の仕事を行っていた。近ごろ、たくさんの会社もこの項目の研究と開発に参加している。中国の科学研究者も同クリスタルについての研究と応用にとっても注目している(Hu Shaoqin, Piezoelectricity and acoustic-optics, 1999,21(4):299)。今日までに、国内でも外国でもLGS及び同系列クリスタルに関しての報道は電光器具の面ではまだない。

10

【0008】

電光性能は電場によってクリスタルの屈折率の変化を引き起こしたのである。電光効果を利用して、電光Qスイッチと電光変調器を作ることができる。LGS家族(対称性は32点群とする)のクリスタルは電光効果もあれば、また旋光性もある。旋光性は単色の平面波が介体を通っている時、その偏光面の回転する角度はクリスタルの厚さと正比例するということである。電光効果とクリスタルの旋光性との交差作用についての研究がまだ少ない。クリスタルの旋光性によって、偏光面の回転が引き起こされることで、多年来、旋光クリスタルで電光器具を作るのは非常に複雑なことであったとずっと誤認されている。それで、今日までに旋光性を持つクリスタルで電光器具を作る報道はまだない。

20

【0009】

本発明の目的は一種の単結晶電光Qスイッチの器具を提供するのである。本発明は旋光性がある電光クリスタルを使って作るのである。いまの電光Qスイッチの半波電圧が高く、調整不可能、温度によっての安定性が弱い、光損傷閾値の低下と潮解しやすいなどの欠点を克服した。一種の新型の電光Qスイッチを増加した。

【0010】

【発明を解決するための手段】

本発明の目的は次のような技術計画を用いて実現されたのである。本発明は主にケイ酸ガリウムランタン(LGS)単結晶と反射光線エレメントが含まれている。一種の単結晶電光Qスイッチで、LGSクリスタルと反射光線エレメントが含まれている。同反射光線エレメントはLGS単結晶の光を通す方向に沿って、LGSクリスタルの一側に置き、主光学軸に沿ってLGSクリスタルを透過したリニア偏光が反射光線エレメントによって反射されて、もどることができる。そして、もう一回LGSクリスタルを透過して、旋光性により引き起こされた偏光面の回転する角度はゼロになる。

30

【0011】

本発明の中のLGSクリスタルと反射光線エレメントの間にまた $\lambda/4$ の波長板を置き、その中の λ がLGSクリスタルを通して光の波長である。

40

【0012】

本発明の中のLGSクリスタルは、 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタルあるいはNdイオンを入れた $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタルである。または $\text{La}_3\text{Ga}_{5-x}\text{Al}_x\text{SiO}_{14}$ クリスタルで、その中のxの範囲は0-5である。そのほかに、また $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Na}_2\text{CaGe}_6\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタル、また $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタルなども結構である。

【0013】

本発明の中のLGSクリスタルの光を通す方向の二つの端面をもっと研磨して、そして1.064 μm のレーザーが通せる増透膜をメッキすることができる。

50

もっと具体的に言えば、LGSクリスタルのZ方向、すなわち光を通す方向に沿って、クリスタルの長さは8 mm—1500mmである。厚さは、X方向あるいはYの方向に沿うのであり、寸法は4 mm—20 mmである。幅は長さと同方向に垂直になって、寸法は4 mm—20 mmである。

【0014】

さらにLGSクリスタルの光を通す方向の二つの端面をブルスター角に加工し、もっと研磨する。1.064μmのレーザーのブルスター角は62°である。LGSクリスタルがZ方向に沿って、長さの値の範囲は8 mm—1500mmである。X方向に沿う幅の値の範囲は4 mm—15 mmで、Y方向に沿う厚さの値の範囲は4 mm—15 mmである。厚さの方向に電場を加える。

【0015】

前述の反射光線エレメントを全反射平面鏡にすることができる。

【0016】

本発明で設計された電光Qスイッチは、いま広く応用されている中等パワーレーザーにもっと適応する。本発明は主にLGS単結晶の旋光性の影響を避け、LGS単結晶の電光係数と光損傷閾値を測った上、その横の方向の電光効果を利用し、新しいタイプの電光Qスイッチを作り上げた。それは半波電圧が低く、調節可能、よい温度安定性を持ち、体積小さく、光損傷閾値やや高く、潮解しないなどの利点を持つ。

【0017】

LGSは三方晶に属し、32点群であり、電光・旋光性など多くの機能効果を持つ。LGS単結晶の電光係数は $\gamma_{11} = -\gamma_{12} = -\gamma_{62} = 2.3 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ であり、光損傷閾値はLiNbO₃クリスタルの9.5倍に達し、電光Qスイッチにすることができる。LGSクリスタルの横の方向の電光効果を利用し、

【数1】

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2n_o^3 \gamma_{11} (l/d)}$$

という関係に基づき、その中にλは使うレーザーの波長で、n_oはLGS単結晶の0光の屈折率で、l/dはLGS単結晶の光を通す方向の長さと同方向の厚さとの比例で、縦横比といわれるが、その縦横比を変えることによって器具の半波電圧V_πを調節する。

【0018】

電光効果のほかに、LGSクリスタルはまた旋光性を持ち、器具の設計に困難をもたらした。本発明は主光学軸に沿って光を通させ、リニア偏光をレーザーの共振空洞で往復し、二回LGSクリスタルを通させ、その偏光面の回転する角度をゼロにさせる。こうして、リニア偏光が旋光性を持つLGSクリスタルを通す時、その偏光面が回転するという影響を避け、垂直偏光干渉を利用し、Qを調節する目的に達する。

【0019】

そのほか、LGSクリスタルのモーズ硬度は5.5で、劈開性もなく、また潮解しない。1470(Cになっても、LGSクリスタルは相転移点がなしだから、防湿装置を必要としない。

【0020】

また、本発明の中にLGSクリスタルと反射光線エレメントの間にλ/4の波長板を入れることができる。入射するリニア偏光がLGSクリスタルを経て、その偏光方向が一つの角度を回転してから、λ/4の波長板を通る。そして、光は反射光線エレメントに反射され、もう一回λ/4の波長板を通す。光はLGSクリスタルにもどる時、LGS単結晶Qスイッチがオフ状態だから、クリスタルに電圧が加わっていない、左旋性と右旋性の偏光の回転方向はそれぞれLGS電光Qスイッチに入射する偏光の回転方向と逆である。それで、LGSクリスタル

10

20

30

40

50

からアウトプット合成された偏光の偏光方向は入射する偏光と同じで、ただ位相が $\pi/2$ 変わっただけである。

【0021】

こうして、平行偏光干渉を垂直偏光干渉に置き換えた。平行偏光干渉と比較して、垂直偏光干渉はQスイッチのオフ状態でクリスタルに電圧が加わっていない、電光効果によるLGS単結晶の旋光性の影響を避けた。それで、旋光性を持つクリスタルの光学軸に沿って、二回往復した偏光がまだ一ビームのリニア偏光であることを保障する。また、旋光性を持つLGSクリスタルの自然複屈折率がやや小さいという利点をも十分に利用し、その配向不整とオプティカル不均一性が器具への影響を最低限にさせた。

【0022】

また、本発明では、LGSクリスタルの光を通す方向の二つの端面をもっと研磨して、そして $1.064\mu\text{m}$ のレーザーが通せる増透膜をメッキすることができるので、 $1.064\mu\text{m}$ のレーザーの透過率を99%に高めた。

【0023】

総じて言えば、LGSクリスタルで作った電光Qスイッチを使って、その横の方向の電光効果を利用し、半波電圧がクリスタル縦横比によって調節できる。この電光Qスイッチは防湿装置を要せず、その損傷閾値は約 LiNbO_3 クリスタルの9.5倍である。また、半波電圧は温度による変化が小さく、よい安定性を持つ。だから、LGSクリスタルで作った電光QスイッチはDKDPクリスタルと LiNbO_3 クリスタル器具のそれぞれの利点を持ち、とくに中等パワーレーザーに適應する。

【0024】

【発明の実施の形態】

第1図と第2図に示すように、本発明の単結晶電光Qスイッチの器具はLGS単結晶1と反射光線エレメント2が含まれている。第1図に示すように、同反射光線エレメント2はLGS単結晶の光を通す方向に沿って、LGSクリスタル1の一侧に置き、主光学軸に沿ってLGSクリスタルを透過した光が反射光線エレメント2に反射されてからもどることができる。そして、もう一回LGSクリスタル1を透過して、旋光性により引き起こされた光の偏光面の回転する角度はゼロになる。いわゆる旋光性は単色リニア偏光が主光学軸に沿って旋光性を持つクリスタルを通った後、その偏光面が回転することを指す。

【0025】

光ビームは波矢 K の方向に沿って、旋光性を持つクリスタルを一定の距離を通った後、その偏光面の回転角度は Φ である。反射光線エレメント2に反射され、また $-K$ の方向に沿って、クリスタルの中に同じ距離を通れば、偏光面は再び $-\Phi$ という角度を回転する。それで、偏光面の回転角度は $\Phi+(-\Phi)$ で、総じてゼロになる。こうして、LGSクリスタル1の旋光性が光への影響を除去させ、旋光性を持つクリスタルでQスイッチの器具が作れない偏見を克服した。

【0026】

そして、本発明のLGSクリスタル1の横の方向の電光効果で、半波電圧がクリスタルの縦横比の大きさにより調節することができる。防湿装置を要せず、その損傷閾値は約 LiNbO_3 クリスタルの9.5倍である。また、半波電圧は温度による変化が小さく、よい安定性をもつ。だから、LGSで作った電光QスイッチはDKDPクリスタルと LiNbO_3 クリスタル器具のそれぞれの利点を持ち、とくに中等パワーレーザーに適應する。

【0027】

さらに、第1図に示すように、本発明の中、前述LGSクリスタル1と反射光線エレメント2の間に $\lambda/4$ の波長板4を入れることができる。 λ はLGSクリスタルを通して光の波長である。第1図は本発明のQスイッチ器具がパルスレーザーに應用する時の基本光線ルートの概略図である。アウトプット鏡5を出す光はNd:YAG単結晶6を経て、誘発した波長 $1.064\mu\text{m}$ のレーザービームがプルスター窓7を経て、リニア偏光になる。

【0028】

その偏光方向はクリスタルのX軸の方向と一致している。それがLGS電光Qスイッチを通っ

10

20

30

40

50

た後、偏光面の回転角度は Φ で、 $\lambda/4$ の波長板4を通して、反射光線エレメントに反射され、もう一回 $\lambda/4$ の波長板を通す。その光はLGSクリスタルにもどる時、LGS単結晶Qスイッチがオフ状態だから、クリスタルに電圧が加わっていない。左旋性と右旋性の偏光の回転方向はそれぞれLGS電光Qスイッチに入射する偏光の回転方向と逆である。それがLGSクリスタル1からアウトプット偏光の回転方向は入射する偏光と同じで、ただ位相が $\pi/2$ 変わっただけである。

【0029】

こうして、平行偏光干渉を垂直偏光干渉に置き換えた。平行偏光干渉と違い、垂直偏光干渉はQスイッチのオフ状態でクリスタルに電圧が加わっていない、電光効果によるLGS単結晶の旋光性の影響を避けた。また、旋光性を持つLGSクリスタルの自然複屈折率がやや小さいという利点をも十分に利用し、その配向不整とオプティカルの不均一性が器具への影響を最低限にさせた。クリスタルのダイナミックな消光比を静止状態の消光比より低くさせた。

10

【0030】

さらに、前述の反射光線エレメントを全反射平面鏡にすることもできる。本発明の中のLGSクリスタルは、 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタルあるいはNdイオンを入れた $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ クリスタルである。または $\text{La}_3\text{Ga}_{5-x}\text{Al}_x\text{SiO}_{14}$ クリスタルで、その中のXの範囲は0—5である。そのほかに、また $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Na}_2\text{CaGe}_6\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ クリスタル、 $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタル、また $\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$ クリスタルなどのケイ酸ガリウムランタンクリスタルの同構異質体も結構である。

20

【0031】

前述のLGSクリスタル1が $1.064\mu\text{m}$ のレーザーの透過率を高めるために、例のLGSクリスタルの光を通す方向の二つの端面をもっと研磨して、そして $1.064\mu\text{m}$ のレーザーが通せる増透膜をメッキする。増透膜をメッキした後、 $1.064\mu\text{m}$ のレーザーの透過率が99%に達する。

【0032】

第2図に示すように、LGSクリスタルのZ方向、すなわち光を通す方向に沿って、クリスタルの長さは8 mm—1500mmである。厚さは、X方向あるいはY方向に沿うのであり、寸法は4 mm—20 mmである。幅は長さと同方向に垂直になって、寸法は4 mm—20 mmである。第二図に示すのは、もっと具体的な例である。Qスイッチ器具にしたLGSクリスタル1はZ方向の長さ $l=40.3\text{mm}$ 、Y方向の厚さ $d=6.12\text{mm}$ 、X方向の幅 $w=6.12\text{mm}$ である。Y方向に電場を加え、Z方向に光を通させる。Nbイオンを入れたYAGレーザーの中に、半波電圧は2250Vで、繰り返し速度はそれぞれ1回/秒と10回/秒である時、Qを調節する目的が実現される。その時、レーザーのパルス出力は350mJである。

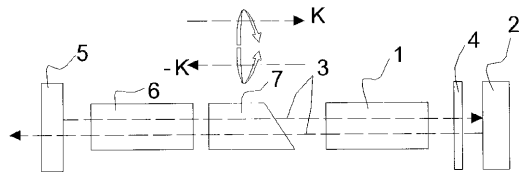
30

【図面の簡単な説明】

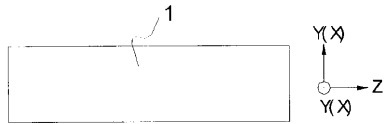
【図1】図1は、本発明にかかる電光Qスイッチの基本原理図である。

【図2】図2は、本発明にかかるLGS単結晶の電光Qスイッチの基本構造図である。

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

- (72)発明者 王 継揚
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）
- (72)発明者 イン シン
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）
- (72)発明者 張 少軍
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）
- (72)発明者 胡 小波
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）
- (72)発明者 張 懷金
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）
- (72)発明者 蔣 民華
中華人民共和国、山東省、済南市、山東大学、晶体材料国家重点実験室内（番地なし）

審査官 前川 慎喜

- (56)参考文献 特開2001-308426 (JP, A)
特開平09-214040 (JP, A)
特開平07-066484 (JP, A)
特開平05-299752 (JP, A)
特開平05-075197 (JP, A)
特開2000-338350 (JP, A)
特開平07-244309 (JP, A)
米国特許第5272713 (US, A)
Naumov, V.S.; Kalashnikova, I.I.; Pashkov, S.S., "Stress-induced optical activity in piezoelectric crystals and internal stresses method of control in quartz, langasite, lithium niobate crystals", Frequency Control Symposium, 1994. 48th., Proceedings of the 1994 IEEE International, IEEE, 1-3 June 1994, Page(s):40 - 42
Mill, B.V.; Pisarevsky, Y.V., "Langasite-type materials: from discovery to present state", Frequency Control Symposium and Exhibition, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE /EIA International, IEEE, 7-9 June 2000, Page(s):133 - 144

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 4/00

IEEE