

# DC スパッタプロセスによる無機追記型ディスクの作成

## Inorganic Write-Once Disk by Complete DC Sputtering Process for Blue-violet Laser System

加藤 信彦, 山口 政孝, 滝下 俊彦

Nobuhiko Kato, Masataka Yamaguchi, Toshihiko Takishita

**要 旨** 波長:405nm の青紫色レーザー, NA:0.85 の光学系を使用した Blu-ray の無機追記型ディスクが細田らのグループから報告されている<sup>(1,2,3)</sup>。今回, この報告を元に記録材料として Bi-Ge 窒化膜を採用したディスクは, 記録膜の窒化度を制御することによりその反射率をかなり自由に制御でき, 反射率を高く設計しても十分な信号変調度を得られることが確認された。同時に記録層の成膜プロセスの再検討を行い, 記録層を構成するすべての薄膜を DC スパッタプロセスで成膜したディスクが十分な性能を持つことを確認した。この結果は生産装置が小型, 簡素化でき, その運用も容易になることを意味する<sup>(4)</sup>。

**Summary** An inorganic write-once disk using an objective lens with a numerical aperture of 0.85 and a 405nm blue-violet laser diode has been reported<sup>(1,2,3)</sup>. We confirmed that the reflectivity of the disk was controllable by adjusting the nitrogen flow rate during sputtering of the Bi-Ge nitride recording layer and disk structure. The disk that had been adjusted to high reflectivity showed a large modulated amplitude. We also studied the depositing process of recording stacks. We confirmed that it is a practicable process to make inorganic recording stacks completely using the DC sputtering process. This means that the structure of the equipment for the production of such disks will be made simpler<sup>(4)</sup>.

**キーワード** : 青紫色レーザー, 追記型ディスク, リミットイコライザー, グループ記録, 高 NA, 光ディスク

### 1. まえがき

ここ数年で HD のテレビ放送が地上波においても開始され, 大容量を記録できる記録媒体のニーズが非常に高くなってきている。DVD に比較してより高密度記録が可能となる青紫色レーザーを使用した大容量光ディスクとしては, Blu-ray Disc の規格策定がほぼ終了し, 一部は市販が開始されている。

近年, NA=0.85 の高 NA 対物レンズ, 青紫レーザーダイオード, 0.1mm カバー層という, Blu-ray Disc システムの大容量無機追記型光ディスクの研究が行われてきた<sup>(1,5)</sup>。一般的に無機材料で作った記録型ディスクの反射率は ROM ディスク<sup>(6,7)</sup> の反射率よりも低く設計される。これはディスクの反射率を高くすると十分な信号変調度を得られないことが理由である。しか

し, Blu-ray の再生専用機が発売されたとき, ROM ディスクとの再生互換を考えると高反射率の記録型ディスクの必要性が発生することが予測される。我々は記録膜に Bi-Ge の窒化物を採用することによって 30% を超える反射率のディスク (これは ROM ディスクの反射率に近い) を作り, このディスクの信号変調度が十分に大きく, この記録材料での反射率の設計自由度が高いことを確認した。

さらに我々はディスクの生産性を考えシンプルなプロセスでのディスクの製造法を検討した。相変化記録材料を使用した書き換え型ディスクは通常マルチチャンバーの枚様式スパッタ装置を使用して生産される。このような装置はスパッタカソード間の搬送を真空中で行うことができ, 多層の薄膜を連続成膜するこ

とに優れている。また、このカソードは RF スパッタ、DC スパッタの選択も自由であり成膜することができる材料も多いが、装置は非常に高価なものになってしまう。RF スパッタはその原理から放電を安定させるためにディスクのマスクを可動式にする必要があり、また制御もデリケートであることから、スパッタ装置を DC カソードのみで構成されたものに置き換えることができればディスク生産時に管理するパラメーターを少なくすることができる。さらにマルチチャンバーの装置ではなく、小型で安価なシングルチャンバーの装置を複数並べることでディスク生産が可能ならば、生産ラインの初期投資を大きく減らすことが可能になる。そこで今回我々は DC スパッタプロセスのみを使用し、実際にシングルチャンバーのスパッタ装置を使ってディスクの製作を試みた。

## 2. ディスクの反射率制御について

### 2.1 シミュレーション

Bi-Ge 窒化膜は薄膜の窒化度を制御することで光学定数が大きく変化する。窒化度は薄膜のスパッタ時の添加窒素流量を調整することで制御できる。これは記録層の透過率をスパッタ時の成膜条件でコントロールすることができることを意味する。

図 1 に Bi-Ge 窒化記録層の成膜時における窒素流量による光学定数の変化を示した。この結果を使用し

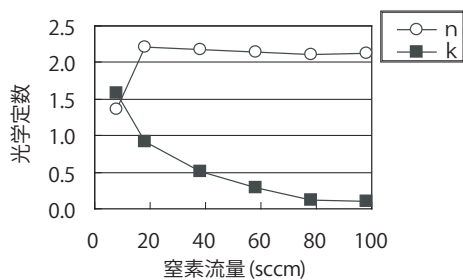


図 1 成膜時の窒素流量による Bi-Ge 窒化膜の光学定数の変化

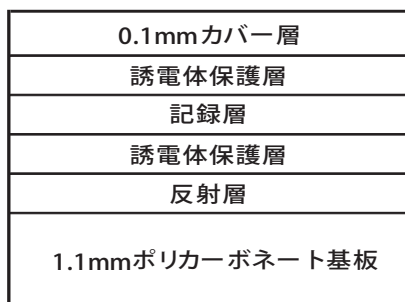


図 2 ディスク構造

てディスクの反射率のシミュレーションを行った。シミュレーションは図 2 に示したように記録層を誘電体保護層で挟み、基板側に反射層をもつ 4 層構造で行っている。

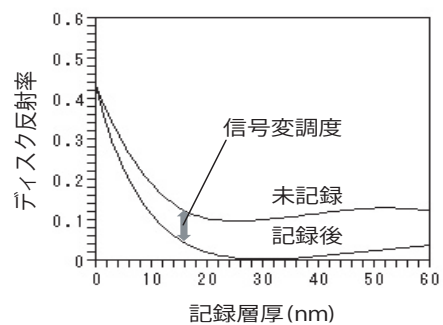
図 3 に記録層膜厚による反射率変化のシミュレーション結果を示した。図 3(a) は書き換え型ディスクと同等の低反射率のもの、図 3(b) は記録層の透過率を上げることで反射率を 30% 以上になるように設計したものである。

Bi-Ge 窒化膜の記録原理は、記録時のレーザー照射により記録膜からの窒素分離が起こり、これが原因で光学特性が変化しマークを形成するものである<sup>(2)</sup>。シミュレーションでは記録マーク部の光学定数は Bi-Ge 窒化膜と Bi-Ge 膜の光学定数の平均値と仮定して計算を行った。その結果、記録層の透過率を反射率が 30% より大きくなるよう調整しても十分に大きな信号変調度を得られるという計算結果を得た。

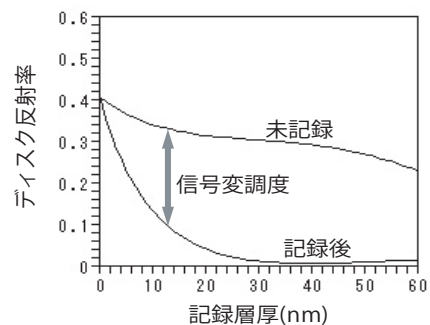
このように Bi-Ge 窒化膜を記録層に使用すると、成膜時の窒素流量を制御することによってさまざまな反射率のディスクを設計することが可能になる。

### 2.2 ディスク構造

前項のシミュレーションで得られた結果を元にディスクを試作した。トラックピッチ  $0.32 \mu\text{m}$ 、



(a) 低反射率ディスク



(b) 高反射率ディスク

図 3 反射率シミュレーション

グループ溝深さ 25nm に成形した 1.1mm 厚のポリカーボネート基板の上に Ag 合金反射層, ZnS-SiO<sub>2</sub>(20mol%) 保護層, Bi-Ge 窒化記録層, ZnS-SiO<sub>2</sub>(20mol%) 保護層の順に各層をスパッタ法で成膜し, その後ポリカーボネートシートを紫外線硬化樹脂で接着することで 0.1mm 透過カバー層を作成した。なお, 窒化 Bi-Ge 記録層, ZnS-SiO<sub>2</sub>(20mol%) 保護層は RF スパッタ, Ag 合金反射層は DC スパッタで成膜している。なお成膜にはアネルバ社製の SPL-500 を使用した。この装置は 1 つの大型チャンバー内で 4 種類の材料を成膜可能な自公転式のバッチ処理型スパッタ装置である。

### 2.3 測定条件

記録評価にはパルステック社の ODU-1000 を用いた。具体的な評価条件を表 1 に示す。記録ストラテジには図 4 に示すような 2 値のマルチパルスを用いた。データ転送レート 36 Mbps, チャンネルクロック 66 MHz, (1, 7) 変調のランダム信号を記録して再生を行った。再生信号はリミットイコライザ<sup>(8)</sup>を通して波形等化した後 Data to Clock でジッタを評価した。

### 2.4 評価結果

図 5 に記録層成膜時の窒素流量と作製ディスクの

反射率の関係を示した。ポイント A は通常の書き換え型ディスクの反射率を持つ追記型ディスクのものであり, ポイント B は高反射率になるように記録層の透過率を上げて設計した本検討追記型ディスクである。前者のディスクを disk (a), 後者のディスクを disk (b) とする。

図 6 に信号記録後の DC 再生信号を示す。なお 3 枚の写真は同スケールである。図 6(a) は disk (a) の信号, 図 6(b) は disk (b) の信号であり, 図 6(c) は ROM disk からの再生信号である。ディスク反射率はそれぞれ disk (a) が 13 %, disk (b) が 33 %, ROM disk が 40 % である。また, 信号変調度は disk (a) が 54 %, disk (b) が 50 %, ROM disk が 57 % である。

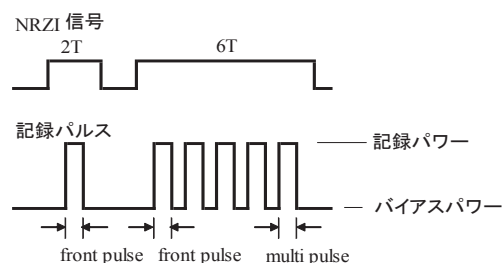


図 4 記録ストラテジパターン

表 1 記録評価条件

Wave length (nm)	404.5
NA	0.85
Spot size (tangential) (μm)	0.418
Spot size (radial) (μm)	0.415
Disk size φ(mm)	120
Cover layer thickness (mm)	01
Track pitch (μm)	0.32
Groove depth (nm)	27
Channel clock (MHz)	66
Tw (ns)	15.15
Equalizer	Limit equalize
Signal modulation code	(1,7) RLL

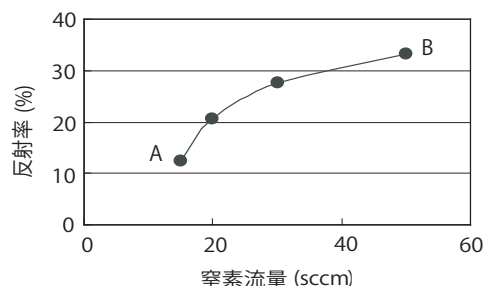
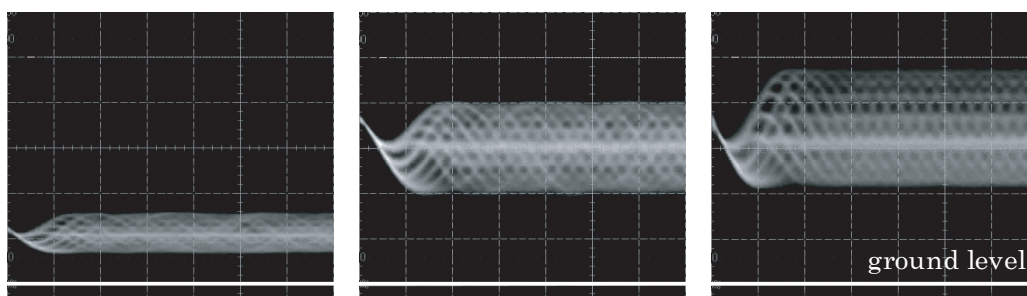


図 5 記録層成膜時の窒素流量による反射率の変化



(a) 低反射率ディスク

(b) 高反射率ディスク

(c) ROM disk

図 6 再生信号

図7にジッタの記録パワー依存性を示す。ボトムジッタは disk (a) が 5.7%, disk (b) が 6.0%であった。

ディスク反射率が高いときでも, disk (b) の信号変調度は十分に大きい値を示しており, これはシミュレーションの結果ともよく一致する。また, ジッタも十分な値を確保できている。無機材料記録膜を用いた記録型ディスクでは, 反射率を高く設計すると十分な信号変調度が得られないのが一般的であるが, 今回採用している Bi-Ge 窒化膜では記録前後で非常に大きな光学定数の変化を起こすために大きな信号変調度が得られたものと考えられる。

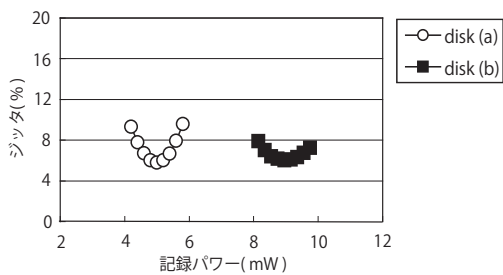


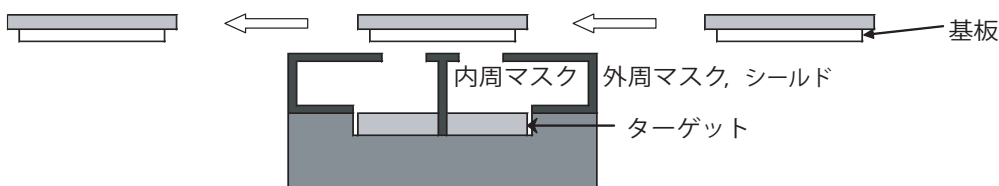
図7 ジッタの記録パワーマージン

### 3. DCスパッタでのディスク作製

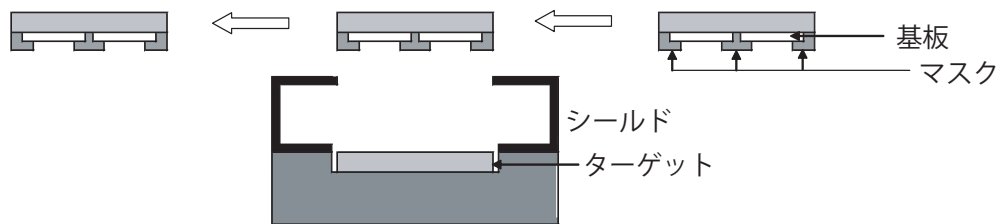
#### 3.1 スパッタ装置のカソード構造

続いて我々はこの記録膜を用いたディスクの記録層を構成する4層の薄膜をすべてDCマグネトロンスパッタで作るための検討実験を行った。図8に一般的

なマグネトロンスパッタ装置のカソードの略図を示した。図8(a)は固定マスク式のDCスパッタカソード, 図8(b)は可動マスク式のマグネトロンスパッタカソードを示している。DCマグネトロンスパッタの場合には内周マスクをカソードのターゲット側に固定することができるが, RFマグネトロンスパッタの場合, 放電の安定性のためターゲット側にこれを設けることができず, ディスクホルダー上の基板と一緒に動く着脱式マスクを採用している。つまりRFスパッタ用のスパッタ装置の構造はDCスパッタ専用スパッタ装置の構造よりも複雑なものになる。さらにカソードのインピーダンスコントロールに使うマッチングボックスユニットが必要で回路上でもDCスパッタカソードよりも複雑になってしまう。書き換え型ディスクの生産用のRFカソードを含むマルチチャンバーのスパッタ装置は複雑な多層記録層を効率的に成膜するために, 8個から13個程度の成膜チャンバーを備えていて, チャンバー内の基板搬送システムなど複雑な機構もあり装置の価格は高くなっている。このようなマルチチャンバーのスパッタ装置を4層構造の追記形ディスクの生産に用いることは非効率的であるといえる。一方で, 色素ディスクや再生専用ディスクの生産に使用される反射膜のDCスパッタ成膜用のシングルチャンバースパッタ装置は, 構造もシンプルで安価である。もし, このようなシングルチャンバーのスパッタ装置を並べて追記形ディスクの記録層を作ることが出来るならば, 生産ラインを小さくすることができ, またその扱



(a) 固定マスク式のDCスパッタカソード



(b) 可動マスク式のスパッタカソード

図8 スパッタカソード

いもより容易になる。

### 3.2 DC スパッタ

記録層、誘電体保護層、反射層などすべての層をDCスパッタプロセスのみで作ろうとしたとき、問題になるのが誘電体保護層の成膜である。反射層はAg合金のターゲットを使ってDCスパッタで成膜することができる。また記録膜はBi-Ge合金ターゲットからDCマグネトロンカソードと窒素ガスによる反応性スパッタリングにより成膜可能である。しかしながら、記録型ディスクで通常使用されるZnS-SiO<sub>2</sub>(20mol%)誘電体はターゲット材料が導電性を持たないためDC電源によるスパッタが不可能である。

誘電体をDCスパッタリングで成膜する方法として通常、

- (1) AlやSiなどの導電性ターゲットによる反応性スパッタリングで窒化アルミニウムや窒化シリコンなどの窒化物誘電体や酸化アルミニウムや酸化シリコンなどの酸化物誘電体を成膜する方法
- (2) 導電性誘電体ターゲットからのスパッタリングによる成膜

の2つの方法が考えられる。今回我々は、三菱マテリアル(株)から販売されているDC-ZSSO-Type B(以後DC-ZnSと表記)ターゲットを採用した。この材料はZnSにZnO, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>を添加して導電性を持たせたもので通常の誘電体に近い特性を持っている。このターゲットはDC電源でもスパッタが可能であるが今回はパルスDC電源を用いて実験を行った。

表2に今回の実験で成膜した薄膜のDC, RFスパッタでの光学特性および成膜レートを示した。Bi-Ge窒化膜の光学特性はRFスパッタ, DCスパッタともほぼ等しい値を示した。また, DC-ZnSターゲットをDCスパッタで成膜した誘電体膜の光学定数もRFスパッタで成膜されたZnS-SiO<sub>2</sub>(20mol%)膜とほぼ近い値となった。成膜レートについても十分な値が得られている。

表2 DC, RFスパッタでの光学特性及び成膜レート

スパッタターゲット	RFスパッタ		DCスパッタ	
	成膜レート nm kW <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	光学定数 (n,k)	成膜レート nm kW <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	光学定数 (n,k)
ZnS-SiO <sub>2</sub>	5.0	(2.24, 0.01)		
dc-ZnS			6.4	(2.31, 0.01)
Bi-Ge-N	5.0	(2.13, 0.17)	11.0	(2.20, 0.20)
Bi-Ge-N after recording				(1.80, 1.00)
Ag alloy			15.5	(0.24, 2.42)

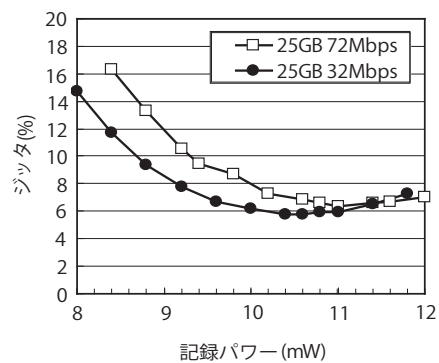
### 3.3 実験結果

以上の材料とプロセスを用いて図2の構造のディスクを作り、評価を行った。成膜装置は図9(写真)に示すユナクシス社製のCubeStarを使用した。この装置はDCカソード(ARQ920G)を2基搭載したシングルチャンバーのスパッタ装置である。今回の実験では、ひとつの層を成膜後1度基板を大気中に取り出してから次の層を成膜している。

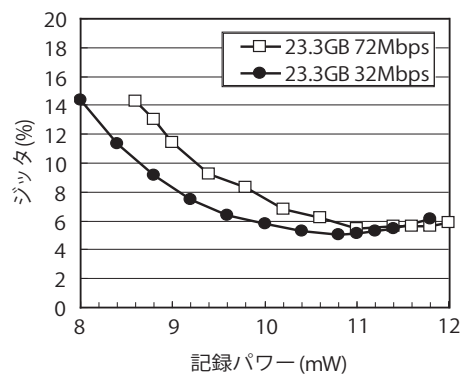
図10にこのディスクにおけるジッタの記録パワー



図9 スパッタ装置(ユナクシス社製CubeStar)の写真



(a) 1倍速記録



(b) 2倍速記録

図10 ジッタの記録パワーマージン

依存性を示す。12 cm ディスクで容量が 23.3 GB, 25 GB となるようそれぞれ記録線密度  $0.12 \mu\text{ m/bit}$ ,  $0.11175 \mu\text{ m/bit}$  で測定した。記録速度は 1 倍速 (データ転送レート 36 Mbps) と 2 倍速 (データ転送レート 72 Mbps) で, 再生評価は 1 倍速で行っている。線密度  $0.12 \mu\text{ m/bit}$  の 1 倍速, 2 倍速記録時のジッタはそれぞれ 5.0 % および 5.5 % である。また, 線密度  $0.112 \mu\text{ m/bit}$  の 1 倍速, 2 倍速記録時のジッタはそれぞれ 5.8 % および 6.4 % である。

図 11 に線密度  $0.12 \mu\text{ m/bit}$  で 1 倍速記録した時のイコライザ後のアイパターンを示す。良好な波形を示していることが確認できる。また, このディスクの反射率は 34 %, 信号変調度は 60 % を示しており, シングルチャンバーのスパッタ装置ですべての層を DC スパッタリングで試作した高反射率追記型記録ディスクも十分実用的な特性を示すことが確認できた。

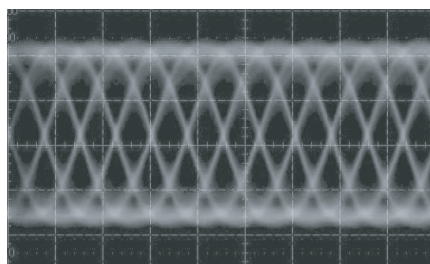


図 11 ディスクのアイパターン

#### 4. 結論

Bi-Ge 窒化膜を記録層に用いた Blu-ray タイプの追記型ディスクの反射率は記録層の成膜時の窒素流量によって制御することができ, 30 % 以上の高反射率となるようディスクを作製しても十分な信号変調度を得られることが確認できた。

さらに, 誘電体層を含むすべての層を DC スパッタプロセスで成膜したディスクでも十分な性能を得ることができた。

書き換え型ディスク生産用の 8 チャンバーの高性能のマルチチャンバー枚様式スパッタ装置を 4 層構造の追記形ディスクの生産に用いることは無駄が多く, 安価なシングルチャンバーのスパッタ装置を並べてディスクが生産可能になることはメリットが大きい。これにより, 例えば ROM ディスクの生産ラインに数台のシングルチャンバーのスパッタ装置を追加することで記録型ディスクの生産を可能にするというような生産ラインの自由

度をあげることができ, 生産装置の運用効率化が可能になる。

#### 5. 謝辞

今回の研究においてスパッタ装置を提供していただいたユナクスジャパン株式会社, Unaxis Balzers AG 社の関係各位に感謝いたします。

#### 参考文献

1. Y. Hosoda, T. Izumi, A. Mitsumori, F. Yokogawa, S. Jinno, and H. Kudo : Jpn.J.Appl.Phys.42 (2003) 1040.
2. Y. Hosoda, A. Mitsumori, M. Sato, and Y. Yamaguchi : Jpn.J.Appl.Phys.43 (2004) 4997.
3. Y. Hosoda, T. Higuchi, N. Shida, T. Imai, T. Iida, K. Kuriyama and F. Yokogawa : Jpn.J.Appl.Phys.44 (2005) 3587.
4. N. Kato, M. Yamaguchi and T. Takishita : Jpn.J.Appl.Phys.45 (2006) 1426.
5. H. Inoue, K. Mishima, M. Aoshita, H. Hirata, T. Kato and H. Utsunomiya : Jpn.J.Appl.Phys.42 (2003) 1059.
6. Y. Wada, M. Katsumura, Y. Kojima, H. Kitahara, and T. Iida : Jpn.J.Appl.Phys.40 (2001) 1653.
7. T. Imai, N. Shida, T. Higuchi, K. Suga, T. Iida, and F. Yokogawa : Jpn.J.Appl.Phys.40 (2001) 1661.
8. S. MiyaNabe, H. Kuribayashi and K. Miyamoto : Jpn. J.Appl.Phys.38 (1999) 1715.