

## 擬似位相整合用グレーティングの位相反転変調による 導波路光 SHG 素子の位相不整合量受容幅拡大

正員 藤村 昌寿<sup>†</sup>      非会員 M. L. ボルツ<sup>††</sup>      非会員 M. M. フェヤー<sup>††</sup>  
正員 栖原 敏明<sup>†</sup>      正員 西原 浩<sup>†</sup>

Tuning Bandwidth Enhancement in Waveguide Optical Second  
Harmonic Generation Device Using Phase-Reversed Quasi-  
-Phasematching Grating

Masatoshi FUJIMURA<sup>†</sup>, Member, M. L. BORTZ<sup>††</sup>, M. M. FEJER<sup>††</sup>, Nonmembers,  
Toshiaki SUHARA<sup>†</sup> and Hiroshi NISHIHARA<sup>†</sup>, Members

あらまし 最近、高効率の導波路擬似位相整合第2高調波発生(QPM-SHG)デバイスが報告されているが、それらの位相不整合量受容幅は狭く、実用化への問題点となっている。本論文は、高いSHG変換効率を維持しつつ位相不整合量受容幅を拡大する手法を理論的・実験的に検討している。非線形分極波の部分的位相反転により変換効率の位相不整合量依存性を変化させ得る。筆者らは、この手法を用いて、15倍の受容幅拡大を達成できる位相反転分布パターンを理論計算により見いだしている。また、非線形分極波の位相反転を強誘電分極反転グレーティングの位相反転変調により実現したSHGデバイスをLiNbO<sub>3</sub>基板上に作製、そのSHG変換効率の基本波波長依存性を測定して、相互作用長3.9mmに対して3.8nmの波長受容幅を得ている。この実験結果は理論予測と極めて良く一致している。

キーワード 非線形光学, 光第2高調波発生, 擬似位相整合, 光導波路, ニオブ酸リチウム

### 1. まえがき

赤外半導体レーザー光の第2高調波発生(Second Harmonic Generation: SHG)は、短波長小形コヒーレント光源実現の方法として期待されている。強誘電体基板上に擬似位相整合(Quasi-Phase Matching: QPM)用の分極反転グレーティングと光チャネル導波路を集積化したSHGデバイス(図1)は、高効率、出射第2高調波(SH波)の集光が容易、グレーティング周期の設定により位相整合波長を選択できる、などの特長をもつため、現在活発に研究が行われている<sup>(1)</sup>。SHGデバイス実用化の課題に、高いSHG変換効率、広い波長/温度受容幅の達成などがある。これまでは、主に高効率化を対象とした研究がなされており、LiNbO<sub>3</sub><sup>(2)</sup>、

LiTaO<sub>3</sub><sup>(3)</sup>、KTiOPO<sub>4</sub><sup>(4)</sup>などを基板としたデバイスで10%以上の高い変換効率が達成されている。そのような高効率SHGには、基本波から生じる非線形分極波とSH波の位相速度が一致すること(位相整合)が不可欠である。しかし、基本波波長やデバイス温度の変動はこの位相整合を乱す。現在までの高効率SHGデバイスでは位相不整合量に対する受容幅が狭いため、基本波波長受容幅は0.1nm以下、デバイス温度受容幅は数°C程度しかなく、半導体レーザー(LD)を基本波光源として用いるには不十分である。

この問題を回避するために、LD光波長を制御して安定なSHGを達成する方法がいくつか検討されている。外部グレーティングを用いてフィードバック系を構成してLD発振波長を調整・安定化する方法では、良好な実験結果が得られている<sup>(5)</sup>。また、屈折率変調を伴う分極反転グレーティングを作製し、これをQPM用だけでなくLD発振用分布ブラッグ反射器としても用いることで自動的に位相整合を達成させる方法の提案もあ

<sup>†</sup> 大阪大学工学部電子工学科, 吹田市

Faculty of Engineering, Osaka University, Suita-shi, 565 Japan

<sup>††</sup> スタンフォード大学ギンズトン研究所, スタンフォード

E. L. Ginzton Lab., Stanford University, Stanford, CA94305, USA

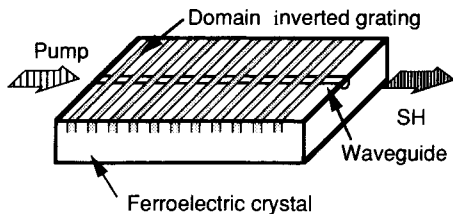


図1 導波路第2高調波発生デバイス

Fig. 1 Waveguide quasi-phaseshifted second harmonic generation device.

る<sup>(5)</sup>。本論文では、これらの特殊技術を用いることなく安定なLD光SHGを達成するために、デバイス自体の有する位相不整合量受容幅を拡大する方法を検討する。

SHGデバイスの位相不整合量受容幅拡大のためにはいくつかの方法が考えられている。その一つにSHGの相互作用長を短縮する方法がある。しかし、この方法では同時に著しいSHG変換効率の低下を招く。光波の伝搬方向に沿ったQPM用グレーティングの周期<sup>(6)</sup>、あるいは導波路実効屈折率<sup>(7)</sup>の変化による受容幅の拡大効果も理論的に示されているが、作製許容誤差が厳しいため実現には工夫を要する<sup>(8)</sup>。一方、基本波から生じる非線形分極波の部分的位相反転による受容幅拡大の可能性が示唆されており<sup>(9)</sup>、この原理に基づいた進行波形電気光学変調器の広帯域化の実験結果が報告されている<sup>(10)</sup>。我々は、更に理論的検討を加えて、変換効率の低下を小さく抑えつつ受容幅を拡大できる位相反転分布パターンを設計した。また、非線形分極波の位相反転をQPM用グレーティングの位相反転により実現したデバイスを作製し、その特性評価を行った<sup>(11)</sup>。

## 2. 位相反転SHG

### 2.1 チューニングカーブ形状の解析

基本波から生じる非線形分極波の位相を部分的に反転させたSHG相互作用(以後位相反転SHGと呼ぶ)での変換効率の位相不整合量依存性を求める。x方向に伝搬する周波数 $\omega$ 、光波長 $\lambda$ の平面波(複素振幅： $E^\omega$ )から周波数 $2\omega$ のSH波(複素振幅： $E^{2\omega}$ )が発生する場合をスカラー近似を用いて考える。この場合、SHGは次式で記述される<sup>(9)</sup>。

$$\frac{dE^{2\omega}}{dx} = j\omega \left( \frac{\mu_0}{\epsilon} \right)^{1/2} d(x) E^\omega E^{\omega*} \exp(-j\Delta x) \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon$ はSH波に対する誘電率を、 $d(x)$ は非線形媒質中でのSHG係数のx方向分布を、 $\Delta$ は基本波の伝搬定数 $\beta^\omega$ とSH波の伝搬定数 $\beta^{2\omega}$ を用いて $\Delta = \beta^{2\omega}$

$-2\beta^\omega$ で定義される位相不整合量を表す。SHG変換効率がそれほど小さくなく、基本波の減衰が無視できるとすると、式(1)より式(2)を得る。

$$E^{2\omega} = j\omega \left( \frac{\mu_0}{\epsilon} \right)^{1/2} E^\omega E^{\omega*} \int_{-\infty}^{+\infty} d(x) \exp(-j\Delta x) dx \quad (2)$$

式(2)右辺の積分項は、SHG係数の空間分布 $d(x)$ のフーリエ変換である。よって、フーリエ変換を $F(\ )$ で表せば、SHG変換効率 $\eta$ は式(3)のように表すことができる。

$$\eta(\Delta) = \frac{I^{2\omega}}{I^\omega} = 2 \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{3/2} \frac{\omega^2}{(N^\omega)^2 N^{2\omega}} I^\omega |F(d(x))|^2 \quad (3)$$

ここで $I^\omega$ は基本波パワー、 $I^{2\omega}$ はSH波パワー、 $N^\omega$ と $N^{2\omega}$ はそれぞれ基本波とSH波に対する屈折率を表す。式(3)が表す曲線はチューニングカーブと呼ばれている。

相互作用長が $L$ の均一なSHG相互作用では、 $d(x)$ は振幅 $d$ ( $d$ は媒質のSHG係数)幅 $L$ の方形関数で表されるので、チューニングカーブ形状は、そのフーリエ変換であるsinc関数の2乗を用いて表される(式(4))。

$$\eta(\Delta) = 2 \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{3/2} \frac{\omega^2 d^2}{(N^\omega)^2 N^{2\omega}} I^\omega L^2 \text{sinc}^2(\Delta L/2) \quad (4)$$

式(4)から、相互作用長を $1/N$ 倍に短縮すれば受容幅が $N$ 倍になることがわかる。しかし、同時にピーク変換効率は $1/N^2$ に低下する。

位相反転SHGでのチューニングカーブ形状を求める。SHG相互作用領域をx方向に沿って $N$ 等分し、各セグメントごとの非線形分極波の位相反転、すなわち、SHG係数の符号反転を、 $N$ ビットの符号列 $g_m$ ( $g_m = +1$ または $-1$ )に従って行う。このとき、 $d(x)$ は幅 $L/N$ の方形関数を用いて次のように表すことができる。

$$d(x) = d \times \left\{ \text{rect} \left( \frac{xN}{L} \right) \otimes \sum_{m=0}^{N-1} g_m \delta \left( x - \frac{Lm}{N} \right) \right\} \quad (5)$$

ここで、 $\otimes$ は合成積を表す。式(5)を式(3)に代入すると式(6)が得られる<sup>(9)</sup>。

$$\eta(\Delta) = 2 \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{3/2} \frac{\omega^2 d^2}{(N^\omega)^2 N^{2\omega}} I^\omega L^2 \text{sinc}^2 \left( \frac{\Delta L}{2N} \right) DFS(g_m \star g_m) \quad (6)$$

ここで、 $DFS$ は離散フーリエ変換を、 $\star$ は相関を表す。式(4)と比べると、式(6)では $\text{sinc}^2$ 項の引数が $1/N$ になっていることから、 $N$ ビット符号列を用いた位相反転SHGでは均一SHGの $N$ 倍の位相不整合量受容幅をもつことが期待できる。但し、フーリエ変換項によ

るチューニングカーブ形状変化とピーク変換効率の低下がある。η(Δ)がSHG 係数分布 d(x) のフーリエ変換の2乗で与えられるので、η(Δ)が表す曲線と Δ 軸で囲まれる領域の面積は、g<sub>m</sub>=±1である限りいかなる g<sub>m</sub>を用いても保存される(パーセバルの定理)。従って、最適な場合として、チューニングカーブ形状が方形に近くなるような g<sub>m</sub>を用いれば、約 N 倍の受容幅拡大を 1/N 以下のピーク効率低下で実現できる。

2.2 広受容幅 SHG デバイスの設計

自己相関関数のサイドローブが小さいビット列が方形に近いフーリエ変換形を与えることが知られており、スペクトル拡散通信において用いられる<sup>(12)</sup>。自己相関関数のサイドローブが最小(+1または-1)となるビット列は Barker コードと呼ばれている。現在までに知られている最長の Barker コードは(+, -, +, -, +, +, -, -, +, +, +, +)の13ビットのものである。この13ビット Barker コードを用いた位相反転 SHG のチューニングカーブ形状を式(6)を用いて求めた。その結果を図2中に破線で示す。同じ相互作用長をもつ均一 SHG のチューニングカーブ(図2中点線)と比べて、14倍のパスバンド幅が得られている一方、ピーク変換効率低下は1/5倍に抑えられている。しかし、パスバンド内において7dBのリプルが生じており、3dB受容幅はほとんど広がっていない。

我々は、このリプルを抑えるため、セグメント長を各セグメントごとに変化させる方法を試みた。図3中の破線はすべて等しいセグメント長をもつ場合の位相反転 SHG の d(x)を表している。SHG 係数の符号が13ビット Barker コードに従って変化している。我々は、図3中の実線で示されるように、第 i 番目のセグメントと第 i+1 番目(i=1~12)のセグメントの境界位置を Δ<sub>i</sub>だけシフトさせた。計算機の乱数発生器を用いてさまざまな Δ<sub>i</sub>の組合せを生成し、生成したすべての組合せについてチューニングカーブ形状を求めた結果、図2中の実線で示すようなリプル 2.5dB 以下のチューニングカーブを与える Δ<sub>i</sub>の組合せを見いだした(表1)。このチューニングカーブを均一 SHG のものと比べると、15倍の3dB受容幅拡大を1/11倍のピーク変換効率低下で達成していることがわかる。これと同等の受容幅拡大を均一 SHG の相互作用長短縮により得た場合には、ピーク変換効率が1/225倍になる。

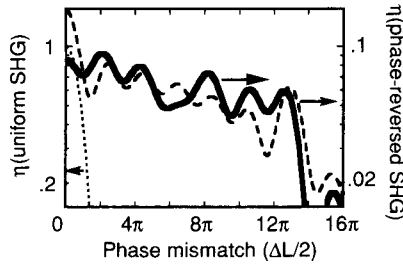


図2 チューニングカーブ形状の計算例  
点線：均一 SHG, 破線：等分割位相反転 SHG, 実線：境界位置シフト位相反転 SHG

Fig. 2 Calculated tuning curves.  
Dotted: uniform SHG, dashed: equally-spaced phase-reversed SHG, solid: variable-spaced phase-reversed SHG.

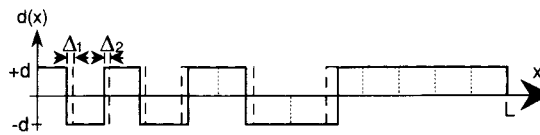


図3 位相反転 SHG での伝搬方向 SHG 係数分布  
破線：等分割, 実線：境界位置シフト

Fig. 3 SHG coefficient distribution along propagation direction in phase-reversed SHG.  
Dashed: equally spaced, solid: variable spaced.

表1 チューニングカーブのリプルを 2.5dB 以下に抑えるセグメント境界位置シフト Δ<sub>i</sub>の組合せ

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Δ <sub>i</sub> (×L/10 <sup>3</sup> )	-12	-11	-5	13	0	-8	0	13	0	0	0	0

3. デバイスの作製と評価

3.1 QPM 用グレーティングの位相反転変調

位相反転 SHG は、ビットパターン g<sub>m</sub>に従う SHG 係数の符号反転を強誘電体分極反転で実現して得られる。よって、位相反転 QPM-SHG 実現のためには、QPM 用と位相反転 SHG 用の二つの分極反転構造を重畳する必要がある。そのため、QPM 用グレーティングに対し、その位相を g<sub>m</sub>に従って反転変調する方法を用いた(図4)。図4(a)は均一な QPM 用分極反転グレーティングでの SHG 係数の符号分布を、図4(b)は位相反転 SHG に必要な SHG 係数分布 d(x)を示している。位相反転 QPM-SHG 用グレーティングの SHG 係数符号分布(図4(c))は、図4(b)が“-”の所で、図4(a)での“+-”を“-+”に入れ換えて、QPM 用グレー

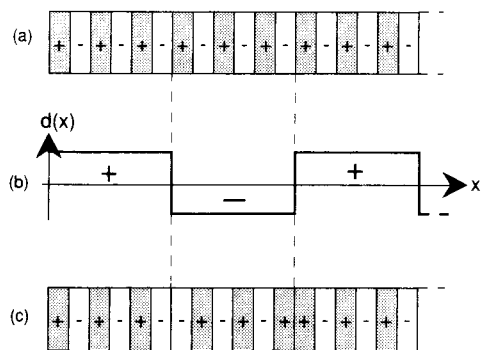


図4 QPM用グレーティングの位相反転変調による位相反転 QPM-SHG の実現  
 (a) 均一-QPM グレーティング, (b) 位相反転分布パターン, (c) 位相反転 QPM グレーティング  
 Fig. 4 Implementation of phase-reversed QPM-SHG by modifying QPM grating with phase reversal.  
 (a) Uniform QPM grating, (b) phase-reversal sequence. (c) phase-reversed QPM grating.

ティングに位相反転変調を施したものとなる。このような構造は、従来の QPM-SHG デバイス作製技術を用いて簡単に作製できる。

### 3.2 デバイス作製

+Z 板 LiNbO<sub>3</sub> 基板上に、2.2 で設計した位相反転分布パターンを有する位相反転 QPM-SHG デバイスを試作した。厚さ 10nm の Ti グレーティングパターンを作製した LiNbO<sub>3</sub> 基板を、Li<sub>2</sub>O 外拡散抑制用の LiNbO<sub>3</sub> 粉末と共にるつぼ内に入れ、1050°C、3分の熱処理による Ti 熱拡散で分極反転グレーティングを作製した<sup>(13)</sup>。位相反転変調 QPM 用グレーティングの周期は 4 μm、相互作用長 3.9mm とした。均一-QPM-SHG との比較のために、同一基板上に、均一な QPM 用のグレーティング (相互作用長 1.95mm のものと 3.9mm のもの) も同時に作製した。光チャンネル導波路は選択プロトン交換とアニールにより作製した。プロトン交換マスクとして、化学エッチングで 5 μm 幅の導波路パターンを転写した SiO<sub>2</sub> 膜 (厚さ 100nm) を用いた。プロトン交換は 160°C の純粋安息香酸中に 100 分浸して行い、更に空気中で 333°C、6 時間のアニールを行って、基本波に対し単一モードの導波路を得た。

### 3.3 効率の基本波長依存性測定

作製した位相反転 QPM-SHG デバイスの位相不整合受容幅拡大の効果を調べるため、波長可変 Ti: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> レーザを基本波光源として用いて SHG 変換効率の基本波長依存性を測定した。測定光学系を図 5 に示す。Ti: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> レーザ光をレンズで導波路端面に集光, TM

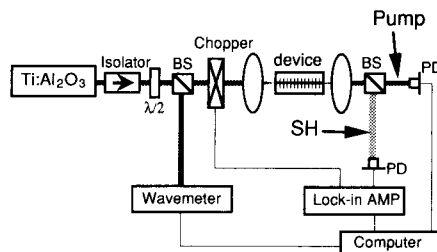


図5 波長チューニング特性測定光学系  
 Fig. 5 Experimental setup for wavelength tuning curve measurement.

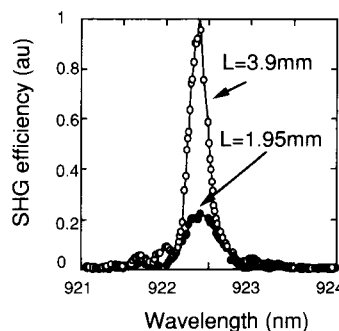


図6 均一-QPM-SHG デバイスの波長チューニングカーブ  
 Fig. 6 Wavelength tuning curves in uniform QPM-SHG devices.

-like 基本モードの導波光を励振した。基本波波長 922nm 付近で TM-like 基本モードの SH 波が得られた。Ti: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> レーザ発振波長を自動スキャンしつつ、基本波波長, 出射基本波パワー, 出射 SH 波パワーを同時測定して、図 6, 図 7(b)の波長チューニングカーブを得た。図 6 は位相反転変調を施していない均一な QPM 用グレーティングをもつデバイスでのチューニングカーブを示している。式(4)から予想されたように、相互作用長を 3.9mm から 1.95mm に 1/2 倍することで、3dB 波長受容幅は 2 倍に広がっているが、ピーク SHG 変換効率は 1/4 倍になっている。図 7(a)は、計算により求めた位相反転 QPM-SHG での理論チューニングカーブ (実線) と、それと同じ相互作用長の均一 QPM-SHG での理論チューニングカーブ (点線) を示している。計算に際して、屈折率の波長分散は LiNbO<sub>3</sub> バルク結晶の異常光の分散を用いた<sup>(14)</sup>。図 7(b)は、実験により得たチューニングカーブである。位相反転 QPM-SHG デバイスの波長受容幅の測定値は 3.8nm であり、均一-QPM-SHG デバイスの 0.25nm に比べ 15 倍の波長受容幅拡大が実現できている。ピーク波長での効率低

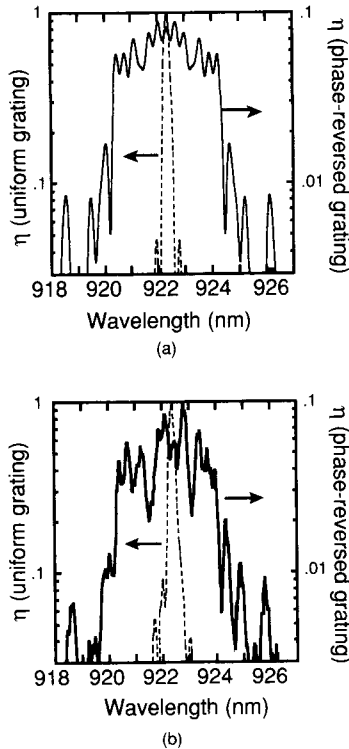


図7 位相反転QPM-SHGデバイスの波長チューニングカーブ  
(a)理論, (b)実験結果  
Fig. 7 Theoretical (a) and experimental (b) wavelength tuning curves in a phase-reversed QPM-SHG device.

下は1/11倍に抑えられている。これらの値は2.2で求めた理論値と完全に一致している。また、図7(a)と比較すると、チューニングカーブの形状も理論予測と良く一致していることがわかる。但し、パスバンド内のリップルが7dBと理論予測より大きくなっている。このリップルは、導波光伝搬方向に沿った導波路実効屈折率の不均一さ、分極反転グレーティング構造の不均一さに起因すると考えている。実験により得られた特性を表2にまとめる。

#### 4. むすび

導波路 SHG デバイスの位相整合誤差受容幅を拡大するために、部分的に非線形分極波の位相を反転させる方法を検討した。理論検討の結果、ピーク変換効率の低下を1/11倍に抑えて受容幅を15倍拡大できる位相反転分布パターンを見いだした。非線形分極波の位相反転をQPM用グレーティングの位相反転により実現して位相反転QPM-SHGデバイスを作製、SHG効率の

表2 均一QPM-SHGデバイスと位相反転QPM-SHGデバイスの波長チューニング特性の比較

Grating type	uniform	phase reversed
Interaction length (mm)	3.9	1.95
SHG efficiency (%/W)	18	4
Wavelength bandwidth (nm)	0.25	0.5

基本波波長依存性を測定した。受容幅拡大とピーク効率低下に関しては、実験結果と理論予測は極めて良く一致した。しかし、実験ではパスバンド内に7dBのリップルが生じた。このリップルの原因は、導波路屈折率/分極反転グレーティング構造の不均一さであると考えている。現在これらの不均一さや導波路の伝搬損を考慮したチューニングカーブ形状について理論計算を行っている。

我々は、セグメントの境界位置をシフトすることで、パスバンド内のリップル(理論値)を2.5dB以下に低減したが、SHGデバイス実用化のためには更に低減する必要がある。位相反転変調だけでなくSHG係数の大きさの変調も加えることで、更に平坦な受容幅の広いチューニング特性をもつSHGデバイスが実現できる。結晶そのものが有するSHG係数の大きさを制御することは今のところ困難であるが、グレーティングのデューティ比を変えることで実効的なSHG係数の大きさを制御することができる<sup>(15)</sup>ので、今後、この方法の導入を検討して行きたい。

#### 文 献

- (1) 梶原敏明, 藤村昌寿, 西原 浩: “擬似位相整合による導波路SHG素子”, 信学誌, 76, 6, pp. 597-601 (1993-06).
- (2) Yamada M., Nada N., Saitoh M. and Watanabe K.: “First-order quasi-phase matched LiNbO<sub>3</sub> waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second-harmonic generation”, Appl. Phys. Lett., 62, 5, pp. 435-436 (Feb. 1993).
- (3) Yamamoto K., Mizuuchi K., Kitaoka Y. and Kato M.: “High power blue light generation by frequency doubling of a laser diode in a periodically domain-inverted LiTaO<sub>3</sub> waveguide”, Appl. Phys. Lett., 62, 21, pp. 2599-2601 (May 1993).
- (4) Bierlein J. D.: “Second harmonic generation and sum frequency generation in optical systems”, Digest of Compact Blue-Green Lasers, Santa Fe, FC2-1 (Feb. 1992).
- (5) Shinozaki K., Fukunaga T., Watanabe K. and Kamijoh T.: “Automatic quasiphase matching for second-harmonic generation in a periodically poled LiNbO<sub>3</sub> waveguide”, J. Appl. Phys., 71, 1, pp. 22-27 (Jan. 1992).

- (6) Suhara T. and Nishihara H.: "Theoretical analysis of waveguide second-harmonic generation phase matched with uniform and chirped gratings", IEEE J. Quantum Electron., **QE-26**, 7, pp. 1265-1276 (July 1990).
- (7) 亀岡真紀子, 芳賀 宏, 山本錠彦: "テーパ形光導波路を用いた広帯域QPM-SHG素子", 第53回応物秋季予稿集, 18a-X-3 (1992-09).
- (8) 水内公典, 山本和久, 加藤 誠, 佐藤久直: "分極反転型LiTaO<sub>3</sub> SHG素子の許容度向上(II)", 第53回応物秋季予稿集, 18a-X-7 (1992-09).
- (9) Nazarathy M. and Dolfi D. W.: "Spread-spectrum nonlinear-optical interactions: quasi-phase matching with pseudorandom polarity reversals", Opt. Lett., **12**, 10, pp. 823-825 (Oct. 1987).
- (10) Nazarathy M., Dolfi D. W. and Jungerman R. L.: "Velocity-mismatch compensation in traveling-wave modulators using pseudorandom switched-electrode patterns", J. Opt. Soc. Am. A., **4**, 6, pp. 1071-1079 (June 1987).
- (11) Fujimura M., Bortz M. L. and Fejer M. M.: "Tuning bandwidth enhancement in LiNbO<sub>3</sub> waveguide SHG device using a variable-spaced phase-reversed quasi-phase-matching grating", Digest of Opt. Soc. Am. Annual meeting, Toronto, PDP-11 (Oct. 1993).
- (12) Dixon R. C.: "Spread Spectrum Systems", Wiley, New York (1953).
- (13) Lim E. J., Fejer M. M. and Byer R. L.: "Second harmonic generation of green light in periodically poled lithium niobate waveguide", Electron. Lett., **25**, 11, pp. 731-732 (May 1989).
- (14) Edwards G. J. and Lawrence M.: "A temperature dependent dispersion equation for congruently grown lithium niobate", Opt. & Quantum Electron., **16**, 4, pp. 373-374 (July 1984).
- (15) Fejer M. M., Magel G. A., Jundt D. H. and Byer R. L.: "Quasiphase-matched second harmonic generation: tuning and tolerances", IEEE J. Quantum Electron., **QE-28**, 11, pp. 2631-2654 (Nov. 1992).

(平成6年2月17日受付)



M. L. ボルツ

1987年コーネル大卒。同年デュボン入社。1989年スタンフォード大・応用物理・博士課程入学。現在に至る。その間、強誘電体物性、導波路波長変換デバイスに関する研究に従事。



M. M. フェヤー

コーネル大・物理卒。1986年スタンフォード大博士課程了。Ph. D. 現在、同大応用物理学科助教授。その間、非線形光学/光導波路の材料およびデバイスに関する研究に従事。



栖原 敏明

昭48阪大・工・電子卒。昭53同大学院博士課程了。工博。現在、同大・電子工学科助教授。その間、ホログラフィ、光集積回路、導波形非線形光学素子、電子ビーム応用などの研究に従事。昭55 Technical Research Centre of Finland客員研究員。昭61-62グラスゴー大客員研究員。本会昭52, 61年度論文賞, 昭54年度学術奨励賞, 平1年度レーザー学会論文賞各受賞。著書「光集積回路」。



西原 浩

昭35阪大・工・通信卒。昭40同大学院博士課程了。工博。現在、同大・電子工学科教授。その間、カナダ国立研究所客員研究員。レーザ応用デバイス、特に光集積回路、マイクロレンズ、光メモリ、ファイバ計測の研究に従事。昭52, 57, 61年度本学会論文賞, 昭55年度著述賞, 昭63年度光協会・桜井健次郎賞, 平1年度レーザー学会論文賞などを受賞。著書「光波電子工学」, 「光集積回路」など。



藤村 昌寿

昭63阪大・工・電子卒。平5同大学院博士課程了。工博。現在、日本学術振興会・特別研究員として同大・電子工学科在籍中。その間、導波形波長変換デバイス、信号処理用光集積回路に関する研究に従事。平5スタンフォード大研究員。