

イオン注入技術のオプトエレクトロニクスへの応用

日本板硝子(株) 筑波研究所 田上 高志
田中 修平



Applications of Ion Implantation Technology for Optoelectronics

Takashi Tagami, Shuhei Tanaka

Tsukuba Research Laboratory, Nippon Sheet Glass Co., LTD.

Abstract

Applications of glass substrates for electronic devices such as liquid crystal displays and optical wave guides are required. The diffusion of alkaline metal atoms from the glass substrates into the devices degrades the characteristics and reliability of the devices. Therefore, silicon oxynitride (SiON) layers and phosphosilicate glass (PSG) layers are necessary to suppress the diffusion of alkaline metal atoms. Buried SiON layers were formed in silica glass by N^+ or both N^+ and Si^+ implantation. In the N^+ implantation, some of the implanted N reacts with Si. In both Si^+ and N^+ implantation, most of the implanted N reacts with Si and does not diffuse even if the sample is annealed at $900^\circ C$. Buried PSG layers were formed in silica glass by P^+ or both P^+ and O^+ implantation. Enhancement of Na gettering in the PSG layer has been obtained after annealing.

1. はじめに

近年、オプトエレクトロニクス用基板としてガラスの使用が一般化してきた。例えば、液晶表示パネル(LCD)がその代表的な例である。これには、ガラス基板のみならずプラナーマイクロレンズ(PML)と呼ばれる二次元に配列された微小レンズが使用されている^{1),2),3)}。その他、ガラス基板上にイオン交換法で光導波路を形成する技術が進歩し、これに関する製品化が進んでいる^{4),5)}。このようにガラス基板そのものを何らかの方法で加工し新しい機能を持たせている他に、ガラス基板上に半導体膜を形成しこれをホトリソグラフィ-

により微細加工し、薄膜トランジスタ(TFT)の作製もなされている。これは、アクティブマトリクス液晶表示パネルに必要な不可欠のものである⁶⁾。また受光素子を同上の半導体膜で作製し一次元イメージセンサが作製されており、これはファクシミリに使用されている。この様に、オプトエレクトロニクス分野へのガラス基板の寄与は、近年益々増加してきている。

本稿では、ガラス表層への窒素イオン、ケイ素イオンの注入による窒化珪素層の形成、リンイオン、酸素イオンの注入によるリン珪酸ガラス層の形成について述べる。これらの層は、ガラス基板上に含有されているアルカリ元素が、ガラス基板上の半導体膜や液晶表示パネルにあつては液晶へ拡散することを防止する役割をする。これらの層形

成技術はガラス基板上への光導波路の作製にも使用できる⁷⁾。

2. 窒化珪素層とリン珪酸ガラス層の形成

2.1 窒化珪素層の形成^{8),9),10)}

石英ガラスの表層に窒素イオンを注入し、ガラスの構成元素であるシリコンと反応させ、窒化珪素層を作製することを試みた。

Fig. 1は石英ガラス基板にイオン注入した窒素のXPSスペクトルである。図には2つのピークがあり、1つは398 eVで、これは Si_3N_4 に対して観測されるN 1sのピークのエネルギー位置と一致している。もう一方の高エネルギー側の403 eV付近のピークは窒素と酸素あるいは窒素と窒素の結合を反映したものの可能性がある。これらのデータから注入された窒素イオンの極一部は、ガラス組成の一つであるケイ素と反応して Si_3N_4 を形成していることがわかる。そこで、遊離したあるいは遊離した状態に近い窒素をケイ素化するために、ケイ素イオンの注入をも行った。

Fig. 2は、窒素イオンとケイ素イオンとを注入したときのN 1sのXPSスペクトルである。この図は表面からスパッターをしながら深さ方向分布をも見たものである。 Si_3N_4 に由来する398 eVのピークが強く観測されている。従って、遊離あるいは遊離に近い状態の窒素が、注入されたケイ素と反応したことがわかる。

窒素イオンとケイ素イオンとを注入し窒化珪素

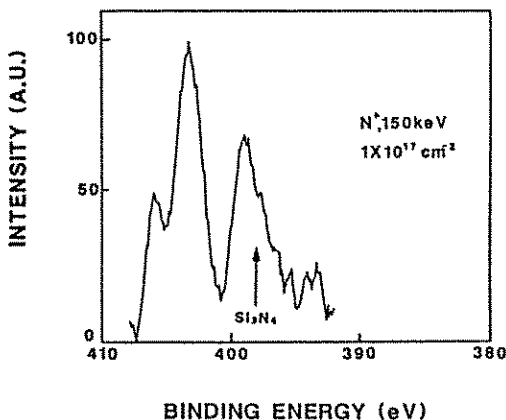


Fig. 1 XPS spectra of N 1s for the silica glass implanted with N^+ ions.

層を作製した試料を900°Cで、1時間の熱処理したところ深さ方向分布において何等の変化も観測されなかった。即ち非常に安定な窒化珪素層が形成されたことがわかる。

2.2 リン珪酸ガラス層の形成^{8),10)}

石英ガラスの表層にリンイオンを注入し、ガラスの構成元素であるシリコンの一部をリンで置換し、リン珪酸ガラスを作製することを試みた。

Fig. 3に、リンイオンを注入した石英ガラスに対するXPSによるP 2p光電子スペクトルの深さ方向分布を示す。これらのスペクトルには、結合エネルギー130及び135 eVの位置にピークが現れている。低エネルギー側の130 eVのピークは固体リンのそれと一致している。従って、このピークはリン-リン結合を示すものと推測される。

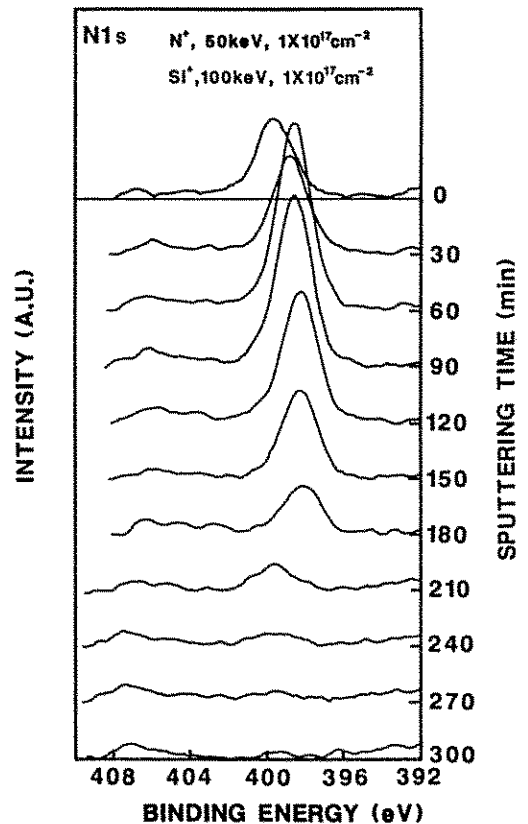


Fig. 2 Depth profile of XPS spectra of N 1s for the silica glass implanted with N^+ ions and Si^+ ions.

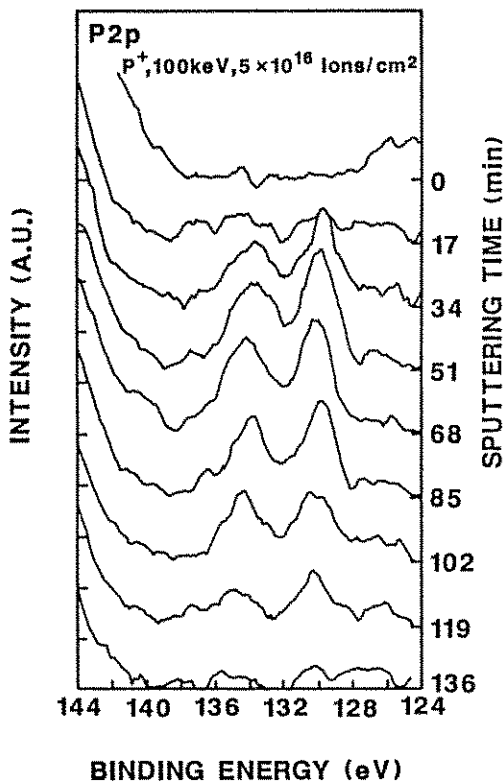


Fig. 3 Depth profile of XPS spectra of P 2p for the silica glass implanted with P⁺ ions.

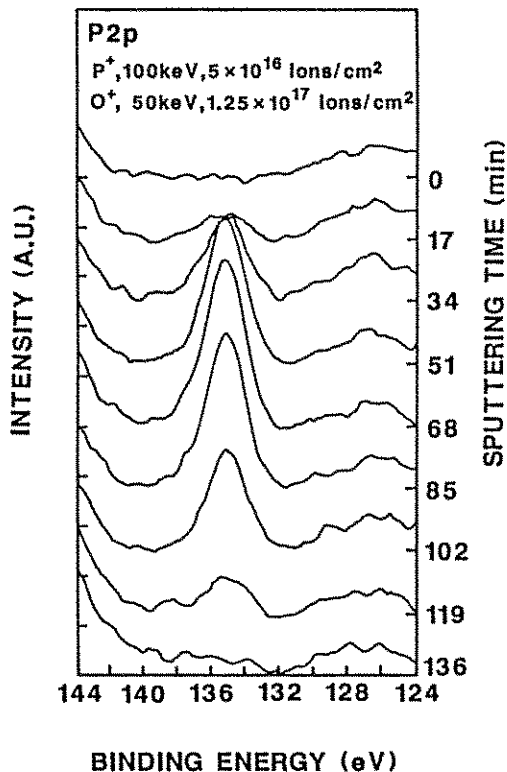


Fig. 4 Depth profile of XPS spectra of P 2p for the silica glass implanted with P⁺ ions and O⁺ ions.

高エネルギー側の 135 eV のピークは P₂O₅ のそれと一致し、このピークはリン-酸素結合を示すものと考えられる。これらのスペクトルから注入したリンの一部が酸素と結合し、リン珪酸ガラスを形成したものと考えられる。この試料に、窒素雰囲気中で 900°C の熱処理を加えたが、リン-リン結合とリン-酸素結合のピーク強度の比には殆ど変化がなかった。

そこで、リン-リン結合を構成しているリンを全て酸化させるために、リン注入に続いて酸素のイオン注入を行った。酸素のイオン注入は化学量論比を考慮し、注入量を設定した。また、酸素イオンの加速エネルギーは、酸素の投影飛程がリンのそれと一致するように、シミュレーションにて決定した。Fig. 4 は、リンイオンと酸素イオンとを注入した石英ガラスの XPS による P 2p 光電子スペクトルである。スペクトルには、135eV 付近にリン-酸素結合を反映した単一のピークが現れ、酸

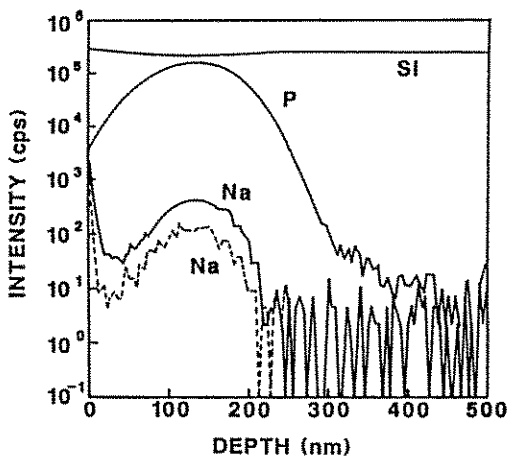


Fig. 5 Depth profiles of P and Na for the silica glass implanted with P⁺ ions.

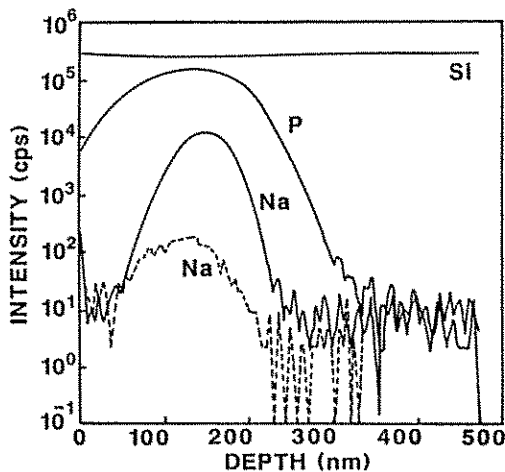


Fig. 6 Depth profiles of P and Na for the silica glass implanted with P^+ ions and O^+ ions.

素を注入することにより、リンが酸化されたことを示している。この試料に窒素雰囲気中で 900°C の熱処理を加えたが、リンの状態に変化は認められなかった。これらの結果は、酸素のイオン注入がリンの酸化に効果的であることを示している。

Fig. 5 はリンイオンのみを注入した石英ガラスに対するリンとナトリウムの深さ方向分布である。破線は熱処理前のナトリウムの深さ方向分布を示し、実線は窒素雰囲気中で 900°C 、1 時間の熱処理後のナトリウムとリンの分布を示す。リンの分布は熱処理前後で変化していない。熱処理後にリン珪酸ガラスによって、ナトリウムのゲッタリングが約 5 倍増加していることがわかる。一方、Fig. 6 はリンイオンと酸素イオンを注入した石英ガラスに対するもので、熱処理後でリン珪酸ガラス層によるゲッタリングが約 100 倍増加していることがわかる。

3. オプトエレクトロニクスへのイオン注入適用

以上の実験で得られた知識や技術は、近い将来において、ガラス上でのより高機能なオプトエレクトロニクスデバイス、即ち高度知能機能化デバイス (highly intelligent functional devices) の実現に適用できるであろう。このデバイスは、三次元構造で、高度に知能化されたそして高速の動作

が可能な、光学的及び光電子的な基本デバイスで構成された集積化デバイスである。基本的デバイスとしては、光導波路、光非線形超微粒子、レーザーダイオード、LED、フォトダイオード、電子集積回路等があげられる。これらの内、既にイオン注入技術で作製が試みられた報告を以下に紹介する。

光導波路は Naik によってイオン注入での作製が試みられている⁷⁾。彼は、熔融石英ガラスに窒素イオンを注入し、光導波路を作製した。得られた伝搬損失は約 0.1 dB/cm で、現在イオン交換法その他の方法で作製されている光導波路のそれに比べて遜色が無い¹¹⁾。ところで、2.1 で述べた窒化珪素層の形成技術は、光導波路の作製にも利用できる。特に、2.1 で得られた窒化珪素層は熱的にも非常に安定で、高濃度の窒素を含有できる。従って、屈折率を周囲のガラスに比べて大幅に大きくでき、良質の光導波路の実現が可能である。

電子集積回路用の多結晶シリコン膜のイオン注入によるガラス基板上での作製が試みられている^{12),13)}。これらは外部加熱なしで、アモルファスシリコンをシリコンのイオン注入で多結晶化する試みである。従って、従来の高温を必要とした多結晶シリコンが低温でできることになり、ガラス上オプトエレクトロニクス用電子デバイスへの適用が期待できる^{14),15)}。

4. おわりに

ガラス基板上オプトエレクトロニクスを実現するためには、扱うガラス基板が大きいためにプロセスコストとプロセス時間が問題になる。これらは将来的には、通商産業省工業技術院の大型プロジェクト「超先端加工システムの研究開発」の成果で高速化が実現するであろう。例えば、前述した窒化珪素層とリン珪酸ガラス層とを 30cm 角基板で 10 分以内で形成できるようになり、工業化が可能となる。従ってプロセス時間の短縮化によって工業製品の品種が増え、製造コストは低下するであろう。

本論文は、通商産業省工業技術院の大型工業技術研究開発制度に基づき実施されている「超先端加工システムの研究開発」の一環として、新

エネルギー・産業技術総合開発機構から超先端加工システム技術研究組合への委託事業により得られた成果の内容を含むものである。

参考文献

- 1) M. Oikawa, K. Tanaka and T. Yamasaki, SPIE (International Lens Design Conference) **554** (1985) 314.
- 2) 及川正尋, 根本浩之, 浜中賢二郎, 岸本隆, 西沢絃一, マイクロオブティクスニュース **10**(1992)57.
- 3) T. Kishimoto, H. Nemoto, K. Hamanaka, H. Imai, S. Taniguchi, M. Oikawa, E. Okuda and K. Nishizawa, Digest of International Congress on Glass **3** (1992) 103.
- 4) M. Seki, S. Sato, K. Nakama, H. Wada, H. Hashizume and S. Kobayashi, SPIE (Integrated Optical Circuits) **1583** (1991) 184.
- 5) I. Tanaka, H. Wada, S. Sato, K. Nakama, H. Hashizume, S. Kobayashi and M. Seki, IEICE TRANS. COMMUN., **E-75-B** (1992) 886.
- 6) Nikkei Microdevices '92, [No.10] (1992) 72.
- 7) I. K. Naik, Appl. Phys. Lett. **43** (1983) 519.
- 8) T. Tagami, K. Oyoshi and S. Tanaka, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **128** (1989)

519.

- 9) K. Oyoshi, T. Tagami and S. Tanaka, J. Appl. Phys. **68** (1990) 3653.
- 10) T. Tagami, K. Oyoshi and S. Tanaka, Proc. of 1st Meeting on IESJ '92 Tokyo (1992) 15.
- 11) M. Seki, H. Hashizume and R. Sugawara, Electron. Lett. **24** (1988) 1258.
- 12) T. Yamaoka, K. Oyoshi, T. Tagami, Y. Arima and S. Tanaka, Mater. Res. Soc. Symp. **230** (1992) 171.
- 13) K. Oyoshi, T. Yamaoka, T. Tagami, Y. Arima and S. Tanaka, Appl. Phys. **71** (1992) 648.
- 14) S. Tanaka, IX International Conference on Ion Implanatation Technology (IIT92) Session 8,123 (1992).
- 15) to be published

【筆者紹介】

田上 高志 (たがみ たかし)

昭和57年 関西学院大学大学院修士課程 理学研究科
物性物理学専攻修了

現在 日本板硝子(株)筑波研究所 研究開発グループ主任研究員

田中 修平 (たなか しゅうへい)

昭和45年 関西学院大学大学院博士課程 理学研究科
物性物理学専攻修了

現在 日本板硝子(株)筑波研究所 研究開発グループ主幹研究員