

Herstellung von planar integrierten Multimode-Wellenleitern in Glas für asymmetrische Verzweiger

Daniel Schäffer, Felix Brand, Wolfgang Foß, Maria Kufner

Institut für Sensor- und Aktortechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

<mailto:daniel.schaeffer@hs-coburg.de>

Die Herstellung von planar integrierten Multimode-Lichtwellenleitern durch die Kombination von Fotolithografie und feldunterstütztem Ionenaustausch wird hier näher beleuchtet. Insbesondere werden zwei unterschiedliche Prozesse beschrieben und die Auswirkung dieser auf den entstehenden Wellenleiter erläutert.

1 Motivation und Zielsetzung

Optische Kommunikation über Multimode-Wellenleiter findet vermehrt Einsatz im Bereich der Data-com-Netze. Besonderes Interesse gilt u. a. Verzweigern mit asymmetrischer Leistungsaufteilung zum Monitoring des Datenverkehrs.

Hierzu müssen Form und Breite der Wellenleiter im Herstellungsprozess kontrollierbar sein. Die Integration der optischen Verzweiger in Glas gestattet eine geringe Dämpfung über hohe Bandbreiten und die Ankopplung an 50 μm -Fasern. [1]

Eine vielversprechende Technologie, diese Komponenten mit den erforderlichen Eigenschaften herzustellen, ist der Ionenaustausch.

2 Methode

Beim Natrium-Silber-Ionenaustausch wird ein natriumreicher Glaswafer mit Brechungsindex n_{sub} lokal mit Silberionen angereichert. Mit steigender Silberionen-Konzentration C erhöht sich so der Brechungsindex n . [1]

$$n(x, y) = n_{sub} + \Delta n_0 C(x, y) \quad (1)$$

Eine gezielte Strukturierung der Waferoberfläche und die anschließende Ionendiffusion ermöglichen die Herstellung von Lichtwellenleitern und somit die Integration von optischen Bauelementen.

2.1 Nassdiffusion

Vor Beginn der Nassdiffusion wird eine strukturierte Maskierung über einen fotolithografischen Prozess auf dem Glaswafer aufgebracht. In Abb. 1 ist diese in schwarz auf der Oberseite des Wafers erkennbar. Eine Silbernitrat-schmelze dient als Quelle der Ionen und kann im Modell als unbegrenzt festgelegt werden. Bereits durch die rein thermische Diffusion, wandern die Silberionen an den unmaskierten Stellen in das Glas und erhöhen dort den Brechungsindex n . Unter Anlegen eines externen elektrischen Feldes, wird der Prozess entlang den

Feldlinien beschleunigt und es bilden sich steilere Konzentrationsprofile aus.

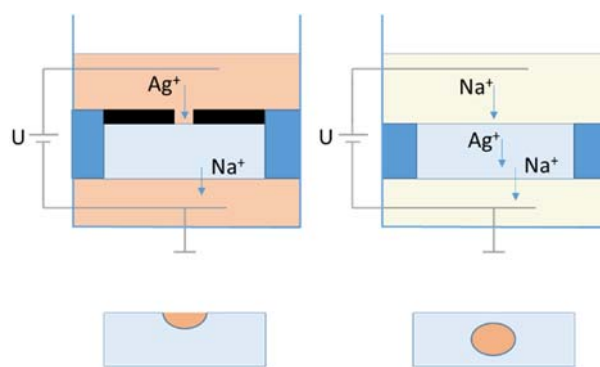


Abb. 1 Feldunterstützter Diffusionsprozess mit unbegrenztem Ionenreservoir; links: Austauschprozess, rechts: Vergrabeprozess; Zeichnung in Anlehnung an [1].

Der entstehende Oberflächenwellenleiter ist anfällig gegenüber Verunreinigungen und Beschädigung. Zudem ist für die Ankopplung an optische Fasern ein runder Wellenleiterquerschnitt opportun. Daher wird in einem zweiten Austausch die Maskierung entfernt und die Silbernitrat- durch eine Natriumnitrat-schmelze ersetzt. Die freien Natriumionen können in das Glas eindringen und erzeugen ein Vergraben der Wellenleiterstrukturen.

2.2 Trockendiffusion

Bei der Trockendiffusion werden die Strukturen als metallisches Silber auf den Wafer aufgebracht. Um die Ag^+ -Ionen aus dem Silber zu lösen und in das Glas eindiffundieren zu können, ist eine externe Spannung notwendig. Über die Strukturhöhe des Silbers kann die Menge der zum Austausch zur Verfügung stehenden Ag^+ -Ionen kontrolliert werden. Mit Fortschreiten des Prozesses baut sich das Silberreservoir ab.

Abb. 2 zeigt den Trockendifusionsprozess im NaNO_3 -Bad. Dies ermöglicht einen unmittelbaren Übergang von Austausch- zu Vergrabeprozess ohne einen Wechsel der Schmelze. [2]

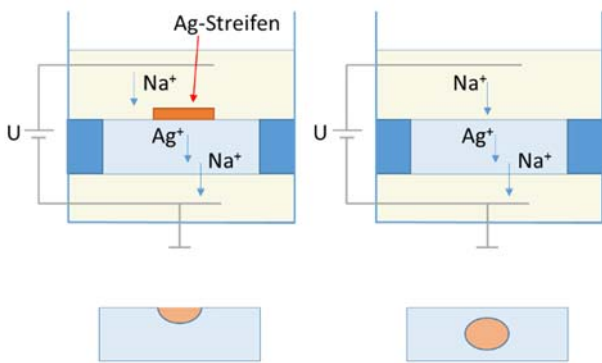


Abb. 2 Feldunterstützter Diffusionsprozess mit begrenztem Ionenreservoir; links: Austauschprozess, rechts: Vergrabeprozess; Zeichnung in Anlehnung an [1].

3 Simulation der Konzentrationsprofile

Die Ionenbewegung im Glas kann numerisch simuliert werden. Die beschreibende Gleichung ist aus der Literatur bekannt und gilt gleichermaßen für beide Diffusionsverfahren. [3]

$$\frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = \frac{D_{Ag}}{1-\alpha \cdot C} \left\{ \Delta C + \frac{\alpha(\nabla C)^2}{1-\alpha \cdot C} - \frac{eE}{kT} \nabla C \right\} \quad (2)$$

mit $\alpha = 1 - \frac{D_{Ag}}{D_{Na}}$; $C = \frac{C_{Ag}}{C_0}$ (3)

C beschreibt die normierte Ag^+ -Ionenkonzentration, C_0 die anfängliche Na^+ -Konzentration im Glas, α den Nichtlinearitätsparameter (für $D_{Ag} = D_{Na}$ wird die Diffusionsgleichung linear), $E = -\nabla\phi$ das angelegte externe E-Feld, k ist die Boltzmann-Konstante und T die Temperatur des Wafers. Die Auswahl der geeigneten Randbedingungen bestimmt das jeweilige Diffusionsverfahren. Die elektrische Feldverteilung ist hierbei für die Formgebung der Konzentrationsprofile essentiell.

3.1 Nassdiffusion

Unter der Maskierung entsteht eine Raumladungszone, da der Austausch der Ionen blockiert wird. Es kommt zu einer deutlichen Inhomogenität des E-Feldes (Abb. 3, graue Linien).

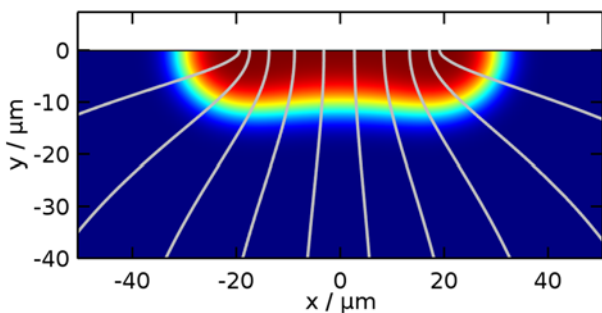


Abb. 3 Normierte Silberionen-Konzentration im Glas nach dem Austauschprozess der Nassdiffusion mit Feldlinien des elektrischen Feldes (grau).

Diese resultiert in einer ungewünschten knochenförmigen Konzentrationsverteilung und einer Verbreiterung der Wellenleiter.

3.2 Trockendiffusion

Durch das Bad in $NaNO_3$ wird der Ionenfluss an der gesamten Oberseite gewährleistet. Es entsteht keine Raumladungszone. Somit kann das elektrische Feld als homogen betrachtet werden. Abb. 4 zeigt das resultierende Konzentrationsprofil, das beim Austauschprozess der Trockendiffusion entsteht.

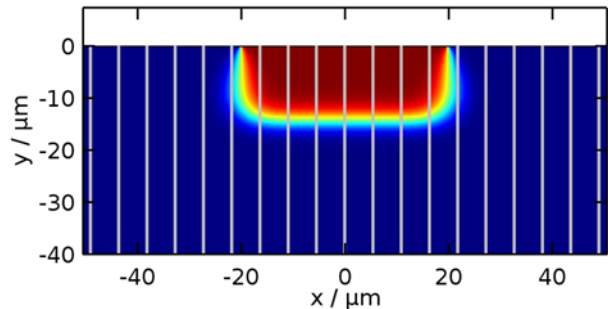


Abb. 4 Normierte Silberionen-Konzentration im Glas nach dem Austauschprozess der Trockendiffusion mit Feldlinien des elektrischen Feldes (grau).

4 Fazit

Die Ionendiffusion ist ein geeignetes Mittel zur Herstellung von optisch integrierten Komponenten in Glas. Die Ausprägung des angelegten E-Feldes ist dabei entscheidend für die Formgebung der Lichtwellenleiterstrukturen. Hier zeigt die Trockendiffusion klare Vorteile in der Homogenität und Steilheit der Konzentrationsprofile gegenüber der Nassdiffusion. Auch der direkte Transfer zwischen den Silberstrukturen und Wellenleitergeometrie vereinfacht das Maskendesign.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Programm „Forschung an Fachhochschulen“ (FHprofUnt) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03FH008PX5 gefördert.

Literatur

- [1] A. Tervonen, B. R. West und S. Honkanen, "Ion-exchanged glass waveguide technology: a review" in: Optical Engineering 50(7), S. 071107 (2011)
- [2] B. G. Pantchev, "One-step field-assisted ion exchange for fabrication of buried multimode optical strip waveguides" in: Electron. Lett. 23(22), S. 1188-1190 (1987)
- [3] J. Albert und J. Lit, "Full modeling of field-assisted ion exchange for graded index buried channel optical waveguides" in: Appl Opt 29(18), S. 2798-2804 (1990)