

Ansprüche

1. Halbleitervorrichtung umfassend einen Wafer (1) mit einem bevorzugt einteiligen Halbleiter-, insbesondere Siliziumsubstrat (2) und wenigstens einem integrierten elektronischen Bauteil (3), das sich in und/oder auf dem Halbleitersubstrat (2) erstreckt, wobei der Wafer (1) ein das oder wenigstens eines der integrierten elektronischen Bauteile (3) umfassendes Front-End-of-Line (5) und ein darüber liegendes Back-End-of-Line (6) aufweist, und eine auf der von dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) hergestellte photonische Plattform (8), die wenigstens einen Wellenleiter (12) und wenigstens eine elektro-optischen Einrichtung (15), insbesondere wenigstens einen Photodetektor und/oder wenigstens einen elektro-optischen Modulator, aufweist, wobei die oder wenigstens eine der elektro-optischen Einrichtungen (15) der photonischen Plattform (8) mit dem oder wenigstens einem der integrierten elektronischen Bauteile (3) des Wafers (1) verbunden ist.
2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Back-End-of-Line (6) des Wafers (1) und die photonische Plattform (8) Verbindungselemente (7) aufweisen, über welche das oder wenigstens eines der integrierten elektronischen Bauteile (3) des Wafers (1) mit der oder wenigstens einer der elektro-optischen Einrichtungen (15) der photonischen Plattform (8) verbunden ist.
3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die photonische Plattform (8) auf der von dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) abgeschiedenes Material umfasst.
4. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die photonische Plattform (8) eine insbeson-

dere auf der von dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) hergestellte Planarisierungsschicht (10) aus einem dielektrischen Material aufweist, und bevorzugt der oder wenigstens einer der Wellenleiter auf der von dem Wafer (1) abgewandten Seite (11) der Planarisierungsschicht (12) hergestellt ist.

5. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Planarisierungsschicht (10) eine durch Abscheidung, insbesondere chemische Gasphasenabscheidung, bevorzugt Niederdruck chemische Gasphasenabscheidung, und/oder plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung und/oder durch physikalische Gasphasenabscheidung und/oder Atomlagenabscheidung wenigstens eines Beschichtungsmaterials auf der vom Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) und bevorzugt anschließendes Bearbeiten des abgeschiedenen Materials auf der vom Wafer (1) abgewandten Seite (11) mittels chemisch-mechanischen Polierens und/oder mittels Resistplanarisierung erhaltene Schicht ist, und/oder dass sich die Planarisierungsschicht (10) an ihrer vom Wafer (1) abgewandten Seite (11) durch eine Rauheit von weniger als 2,0 nm RMS, bevorzugt weniger als 1,0 nm RMS, besonders bevorzugt weniger als 0,3 nm RMS auszeichnet, und/oder dass die Planarisierungsschicht (10) Spin on Glass und/oder wenigstens ein Polymer und/oder wenigstens ein Oxid, insbesondere Siliziumdioxid, und/oder wenigstens ein Nitrid umfasst oder daraus besteht.

6. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die photonische Plattform (8) wenigstens eine weitere Planarisierungsschicht (13) umfasst, wobei die oder wenigstens eine der

weiteren Planarisierungsschichten (13) bevorzugt aus dem gleichen Material gefertigt ist wie die Planarisierungsschicht (10).

7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- 5 die oder wenigstens eine der weiteren Planarisierungsschichten (13) eine durch Abscheidung, insbesondere chemische Gasphasenabscheidung, bevorzugt Niederdruck chemische Gasphasenabscheidung und/oder plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung, und/oder durch physikalische Gasphasenabscheidung und/oder Atomlagenabscheidung wenigstens
- 10 eines Beschichtungsmaterials auf der vom Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) und bevorzugt anschließendes Bearbeiten des abgeschiedenen Materials auf der vom Wafer (1) abgewandten Seite (14) mittels chemisch-mechanischen Polierens und/oder mittels Resistplanarisierung erhaltene Schicht ist,
- 15 und/oder
- dass sich die oder wenigstens eine der weiteren Planarisierungsschichten (13) an ihrer vom Wafer (1) abgewandten Seite (14) durch eine Rauheit von weniger als 2,0 nm RMS, bevorzugt weniger als 1,0 nm RMS, besonders bevorzugt weniger als 0,3 nm RMS auszeichnet,
- 20 und/oder
- dass die oder wenigstens eine der weiteren Planarisierungsschichten (13) Spin on Glass und/oder wenigstens ein Polymer und/oder wenigstens ein Oxid, insbesondere Siliziumdioxid, und/oder wenigstens ein Nitrid umfasst oder daraus besteht.
- 25
8. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Wellenleiter (12) Titandioxid und/oder Aluminiumnitrid und/oder Tantalpentoxid und/oder Siliziumnitrid und/oder Aluminiumoxid und/oder Siliziumoxynitrid und/oder Lithiumniobat und/oder Silizium, insbesondere Polysilizium, und/oder Indiumphos-
- 30

phit und/oder Galliumarsenid und/oder Indiumgalliumarsenid und/oder Aluminiumgalliumarsenid und/oder wenigstens ein Dichalkogenid, insbesondere zweidimensionales Übergangsmetall-Dichalkogenid, und/oder Chalkogenidglas und/oder Harze bzw. Harz enthaltende Materialien, insbesondere SU8, und/oder Polymere bzw. Polymere enthaltende Materialien, insbesondere OrmoComp, umfasst oder daraus besteht.

9. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die photonische Plattform (8) mehrere Wellenleiter (12) aufweist, wobei bevorzugt sich zumindest zwei Wellenleiter (12) zumindest abschnittsweise übereinander erstrecken.

10. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleitervorrichtung, insbesondere die photonische Plattform (8) wenigstens eine Koppeleinrichtung (20) umfasst, die wenigstens einem der Wellenleiter (12) zugeordnet ist, wobei die wenigstens eine Koppeleinrichtung (32) bevorzugt der Einkopplung elektromagnetischer Strahlung in den wenigstens einen zugeordneten Wellenleiter (12), und/oder der Auskopplung elektromagnetischer Strahlung aus dem wenigstens einen zugeordneten Wellenleiter (12) dient.

11. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die oder wenigstens eine der elektro-optischen Einrichtungen (15) wenigstens ein aktives Element (16, 16a, 16b) mit oder aus wenigstens einem Material, das elektromagnetische Strahlung wenigstens einer Wellenlänge absorbiert und infolge der Absorption ein elektrisches Photosignal erzeugt, und/oder dessen Brechungsindex sich in Abhängigkeit einer Spannung und/oder dem Vorhandensein von Ladung und/oder einem elektrischen Feld ändert, umfasst.

12. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die oder wenigstens eine der elektro-optischen Einrichtungen durch einen Modulator (15) gegeben ist, der ein aktives Element (16a) mit oder aus wenigstens einem Material, dessen Brechungsindex sich in Abhängigkeit
5 einer Spannung und/oder dem Vorhandensein von Ladung und/oder einem elektrischen Feld ändert, insbesondere Graphen, und/oder wenigstens ein Dichalkogenid, insbesondere zweidimensionales Übergangs-Dichalkogenid, und/oder Heterostrukturen aus zweidimensionalen Materialien und/oder Germanium und/oder Lithiumniobad und/oder wenigstens ein elekt-
10 ro-optischer Polymer und/oder Silizium und/oder wenigstens ein Verbindungshalbleiter, insbesondere wenigstens ein III-V-Halbleiter und/oder wenigstens ein II-VI-Halbleiter,
und ein weiteres aktives Element (16a) mit oder aus wenigstens einem Material, dessen Brechungsindex sich in Abhängigkeit einer Spannung und/oder
15 dem Vorhandensein von Ladung und/oder einem elektrischen Feld ändert, insbesondere Graphen, und/oder wenigstens ein Dichalkogenid, insbesondere zweidimensionales Übergangs-Dichalkogenid, und/oder Heterostrukturen aus zweidimensionalen Materialien und/oder Germanium und/oder Lithiumniobad und/oder wenigstens ein elektro-optischer Polymer und/oder
20 Silizium und/oder wenigstens ein Verbindungshalbleiter, insbesondere wenigstens ein III-V-Halbleiter und/oder wenigstens ein II-VI-Halbleiter,
oder eine Elektrode umfasst,
wobei die beiden aktiven Elemente (16a, 16b) bzw. das aktive Element und die Elektrode bevorzugt voneinander beabstandet und/oder derart versetzt
25 zueinander angeordnet sind, dass sie abschnittsweise übereinander liegen.

13. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die oder wenigstens eine der elektro-optischen Einrichtungen durch einen Photodetektor (15) gegeben ist, der
30 ein, bevorzugt genau ein aktives Element (16) mit oder aus wenigstens ei-

nem Material, das elektromagnetische Strahlung wenigstens einer Wellenlänge absorbiert und infolge der Absorption ein elektrisches Photosignal erzeugt, insbesondere Graphen und/oder wenigstens ein Dichalkogenid, insbesondere zweidimensionales Übergangs-Dichalkogenid, und/oder Heterostrukturen aus zweidimensionalen Materialien und/oder Germanium und/oder Silizium und/oder wenigstens ein Verbindungshalbleiter, insbesondere wenigstens ein III-V-Halbleiter und/oder wenigstens ein II-VI-Halbleiter, umfasst.

10 **14.** Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf oder oberhalb des oder wenigstens eines der aktiven Elemente (16, 16a, 16b) wenigstens eine plasmonische Struktur (29) aus oder mit einem plasmonisch aktiven Material, bevorzugt Gold und/oder Silber und/oder Aluminium und/oder Kupfer, vorgesehen ist, wobei die plasmonische Struktur (29) bevorzugt wenigstens ein Paar von nebeneinander angeordneten plasmonischen Elementen (30) aus oder mit dem plasmonisch aktiven Material umfasst, die sich bevorzugt durch einen sich in Richtung des jeweils anderen plasmonischen Elementes (30) verjüngende Abschnitt auszeichnen.

20 **15.** Halbleitervorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass an wenigstens einer Seite des oder wenigstens einen aktiven Elementes (16, 16a, 16b) ein Wellenleiter (12) mit einem sich in Richtung des aktiven Elementes verjüngenden, bevorzugt in einer Spitze auslaufenden Endabschnitt (31) vorgesehen ist, wobei sich der verjüngende Endabschnitt (31) bevorzugt bis an das oder das wenigstens eine aktive Element (16, 16a, 16b) erstreckt, und/oder wobei zu zwei Seiten des sich verjüngenden Abschnitts (31) jeweils ein Kontaktelement (19) vorgesehen ist, das mit dem oder dem wenigstens einen aktiven Element (16, 16a, 16b) verbunden ist und welches
30 einen neben dem sich verjüngenden Endabschnitt (31) des Wellenleiters (12)

liegenden, sich in entgegengesetzter Richtung verjüngenden Abschnitt (19a) aufweist.

16. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**,
5 dass zu zwei Seiten des oder des wenigstens einen aktiven Elementes (16, 16a, 16b) jeweils ein Wellenleiter (12) mit einem sich in Richtung des oder des wenigstens einen aktiven Elementes (16, 16a, 16b) verjüngenden, bevorzugt in einer Spitze auslaufenden Endabschnitt (31) vorgesehen ist, wobei sich der jeweilige verjüngende Endabschnitt (31) bevorzugt bis an das oder
10 das wenigstens eine aktive Element (16, 16a, 16b) erstreckt, und/oder wobei zu zwei Seiten des jeweiligen sich verjüngenden Abschnitts (31) jeweils ein Kontaktelement (19) vorgesehen ist, das mit dem oder dem wenigstens einen aktiven Element (16, 16a, 16b) verbunden ist und welches einen neben dem jeweiligen sich verjüngenden Endabschnitt (31) des jeweiligen Wellenleiters (12) liegenden, sich in entgegengesetzter Richtung verjüngenden Abschnitt (19a) aufweist.
15

17. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, umfassend die Schritte
20 – ein Wafer (1) mit einem bevorzugt einteiligen Halbleiter-, insbesondere Siliziumsubstrat (2) und wenigstens einem integrierten elektronischen Bauteil (3), das sich in und/oder auf dem Halbleitersubstrat (2) erstreckt, wird bereitgestellt, wobei der Wafer (1) ein das oder wenigstens eines der integrierten elektronischen Bauteile (3) umfassendes
25 Front-End-of-Line (5) und ein darüber liegendes Back-End-of-Line (6) aufweist,
– es wird eine photonische Plattform (8) auf der von dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) hergestellt, die wenigstens einen Wellenleiter (12) und wenigstens eine
30 elektro-optischen Einrichtung (15), insbesondere wenigstens ein Pho-

todetektor und/oder wenigstens ein elektro-optischer Modulator, umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das
5 Back-End-of-Line (6) des breitgestellten Wafers (1) Verbindungselemente (7) aufweist, die mit dem oder wenigstens einem der integrierten elektronischen Bauteile (3) des Front-End-of-Line (5) verbunden sind, und in der photonischen Plattform (8) Verbindungselemente (7) hergestellt werden, die einerseits mit den Verbindungselementen (7) des Back-End-of-Line (6) und andererseits mit der oder wenigstens einer der elektro-optischen Einrichtungen (15) verbunden sind.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung der photonischen Plattform (8) einschließt, dass auf der von
15 dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) Material abgeschieden wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung der photonischen Plattform (8) einschließt,
20 dass insbesondere auf der von dem Front-End-of-Line (5) abgewandten Seite (9) des Wafers (1) eine Planarisierungsschicht (10) aus einem dielektrischen Material hergestellt wird, und bevorzugt der oder wenigstens einer der Wellenleiter (12) auf der von dem Wafer (1) abgewandten Seite (11) der Planarisierungsschicht (10) hergestellt wird.

25

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung der Planarisierungsschicht (10) einschließt, dass ein Beschichtungsmaterial auf die Seite (9) des Wafers (1) aufgebracht, insbesondere abgeschieden und das Beschichtungsmaterial anschließend zumindest an
30 seiner von dem Wafer (1) abgewandten Seite (11) einer Planarisierungsbe-

handlung unterzogen, insbesondere chemisch-mechanisch poliert und/oder über Resist-planarisiert wird, bevorzugt derart, dass eine Rauheit der Seite von weniger als 2,0 nm, bevorzugt weniger als 1,0 nm RMS, besonders bevorzugt weniger als 0,3 nm RMS erhalten wird.

5

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine weitere Planarisierungsschicht (13) bevorzugt im Anschluss an die Herstellung des wenigstens einen Wellenleiters (12) hergestellt wird, wobei die Herstellung der weiteren Planarisierungsschicht (13) bevorzugt einschließt, dass ein Beschichtungsmaterial auf die von dem Wafer (1) abgewandte Seite (11) der Planarisierungsschicht (10) und/oder des wenigstens einen Wellenleiters (12) aufgebracht, insbesondere abgeschieden und das Beschichtungsmaterial anschließend zumindest an seiner von dem Wafer (1) abgewandten Seite (14) einer Planarisierungsbehandlung unterzogen, insbesondere chemisch-mechanisch poliert und/oder Resist-planarisiert wird, bevorzugt derart, dass eine Rauheit der Seite von weniger als 2,0 nm, bevorzugt weniger 1,0 nm RMS, besonders bevorzugt weniger als 0,3 nm RMS erhalten wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung der Planarisierungsschicht (10) und/oder der weiteren Planarisierungsschicht (13) einschließt, dass im Anschluss an die Planarisierungsbehandlung ein weiteres Beschichtungsmaterial auf die behandelte Seite aufgebracht wird.

25

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung des wenigstens einen Wellenleiters (12) einschließt, dass ein Wellenleitermaterial insbesondere auf die von dem Wafer (5) abgewandte Seite (11) der Planarisierungsschicht (10) aufgebracht, bevorzugt auf diese abgeschieden oder aufgeschleudert oder transferiert wird,

30

und anschließend bevorzugt eine Strukturierung des aufgetragenen Wellenleitermaterials insbesondere mittels Lithografie und/oder reaktivem Ionenätzen durchgeführt wird.

- 5 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass für den oder wenigstens einen Wellenleiter (12) wenigstens eine Koppereinrichtung (32) hergestellt wird, die der Einkopplung elektromagnetischer Strahlung in den wenigstens einen Wellenleiter (12) und/oder der Auskopplung elektromagnetischer Strahlung aus dem wenigstens einen
10 Wellenleiter (12) dient.

26. Verfahren zur Herstellung wenigstens einer Halbleitereinrichtung (38), bei dem eine Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 bereitgestellt und zerteilt wird.

15

27. Halbleitereinrichtung (38), die durch Zerteilen einer Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 erhalten wurde.