

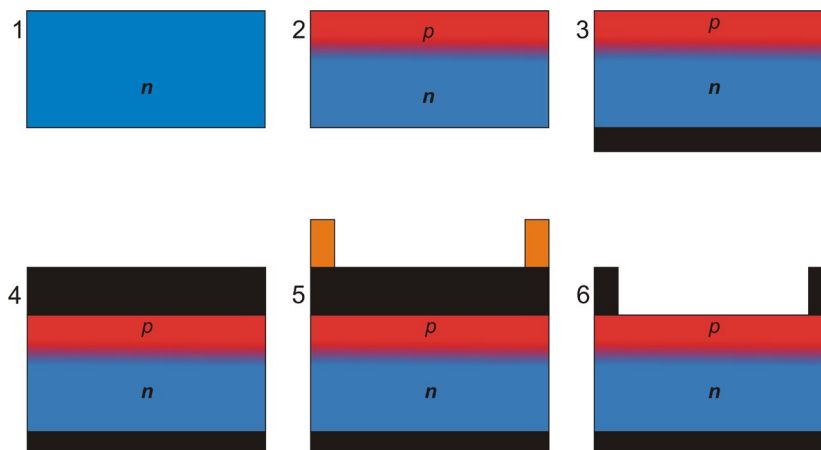
Aufgaben

- 18.1 Warum emittiert eine LED, die in Sperrrichtung betrieben wird nicht?
- 18.2 Erläutern Sie anhand Abbildung 18.1 und Gleichung 18.1, warum das Licht einer LED nicht nur eine Wellenlänge hat.
- 18.3 Erläutern Sie, warum die Leuchteffizienz einer Heterostruktur-LED höher ist als die einer Homostruktur-LED.
- 18.4 Wie könnte die Prozessfolge zur Herstellung der LED aus Abbildung 18.2 aussehen? Skizzieren Sie die wichtigsten Schritte im Querschnitt.
- 18.5 Warum gibt es Laserpointer, aber keine LED-Pointer?
- 18.6 Warum benötigt ein Laser Spiegel?
- 18.7 Neben dem Streifenlaser gibt es noch andere Formen für effiziente Laserdioden. Dazu zählt die VCSEL-(Vertical Cavity Surface Emitting Laser)-Diode. Recherchieren Sie im Internet, wie eine VCSEL-Diode aufgebaut ist und funktioniert.
- 18.8 In [Anhang 18.1](#) findet sich das Datenblatt einer typischen Laserdiode.
 - a) Auf Seite 2 ist ein Schwellstrom angegeben. Leiten Sie aus den Erläuterungen in Abschnitt 18.1.2 ab, was bei über- bzw. unterschreiten dieses Schwellstroms passiert.
 - b) Mit welchem Durchlassstrom muss die Diode betrieben werden, wenn die optische Ausgangsleistung 3 mW betragen soll? Nutzen Sie zur Beantwortung die entsprechende Graphik auf S. 3 des Datenblatts.
- 18.9 Erläutern Sie, ausgehend vom prinzipiellen Aufbau einer OLED, welche der eingesetzten Schichten organisch und welche anorganisch sind.
- 18.10 Welche zwei OLED-Materialklassen kennen Sie? Erläutern Sie den Unterschied der beiden Materialien anhand der erforderlichen Prozesstechnologie.
- 18.11 Ordnen Sie den in Abbildung 18.27 a) bis c) gezeigten Wellenleiterarchitekturen sinnvolle Materialien zu.
- 18.12 Mikrooptische Ringresonatoren: Im Rechenbeispiel zu Gleichung 18.4 wird für $k = 1000$ ein Ringradius von $62,70 \mu\text{m}$ errechnet, damit Licht der Wellenlänge 1300 nm in den Ring eingekoppelt werden kann. Berechnen Sie die nächst höhere Wellenlänge, die in den Ring einkoppelt.
- 18.13 Stellen Sie in einer Tabelle die Analogien zwischen einem Halbleiterkristall für Elektronen und einem Photonischen Kristall gegenüber.
- 18.14 In Abbildung 18.39 (mittleres Bild) sind die Pfosten einer Mikrospiegelmatrix zu erkennen. Beschreiben Sie die Funktion der Pfosten.
- 18.15 Welche zusätzlichen Prozessschritte sind erforderlich, um von einer 1-Ebenen-Mikrospiegelmatrix zu einer 2-Ebenen-Mikrospiegelmatrix zu gelangen?
- 18.16 Schätzen Sie anhand der REM-Aufnahme in Abbildung 18.44 die Länge l und die Breite d der Biegearme des Mikrospiegels ab. Gehen Sie dabei davon aus, dass das Maß a für die Spiegelplatte im Prozess korrekt übertragen wurde.
- 18.17 Beschreiben Sie die genaue Funktion der 3×3 Öffnungen in der Spiegelplatte aus Abbildung 18.49.
- 18.18 Für den Start der in Abschnitt 18.3.3 beschriebenen Scannerspiegel werden Asymmetrien im Aufbau verantwortlich gemacht. Welche Asymmetrien in der Herstellung, die das Anschwingen der Spiegelplatte erlauben, kennen Sie?
- 18.19 Zur Herstellung der Scannerspiegel: Die Kristallorientierung von SOI-Schicht und Trägersubstrat muss nicht notwendigerweise identisch sein. Welcher der beiden kann für den beschriebenen Prozess problemlos eine andere Orientierung als $\langle 100 \rangle$ aufweisen? Begründen Sie Ihre Antwort.

- 18.20 Warum sind beim Scannerspiegel aus Abschnitt 18.3.3 die Elektroden fingerförmig strukturiert?
- 18.21 Warum erscheint das Gitter in Abbildung 18.68 dunkel?
- 18.22 Bei den in Abbildung 18.74 schematisch dargestellten Photodioden ist die obere Schicht (p^+) sehr dünn.
- a) Erläutern Sie anhand der linken Abbildung, wie sich qualitativ der Verlauf der elektrischen Feldstärke ändern würde, wenn diese Schicht dicker wäre.
 - b) Welchen Grund könnte es haben, dass die obere Schicht so dünn gestaltet wird?
- 18.23 In [Anhang 18.2](#) findet sich das Datenblatt einer Photodiode. Ermitteln Sie anhand der Kurve für die spektrale Empfindlichkeit, welchen Photostrom Sie in etwa erwarten können, wenn Sie bei einer Wellenlänge von 800 nm eine Lichtleistung von 100 mW einkoppeln.
- 18.24 Wir betrachten einen CCD-Sensor-Pixel, bei dem Elektronen gespeichert werden (vgl. Abbildung 18.78). In welchem Bereich des Pixels muss ein Photon absorbiert werden, um die gespeicherte Ladung zu erhöhen?
- 18.25 Beschreiben Sie kurz den entscheidenden technischen Unterschied zwischen CCD- und CMOS-Bildsensor.
- 18.26 Warum werden bei CMOS-Bildsensoren teilweise Mikrolinsen eingesetzt?
- 18.27 Beschreiben Sie das physikalische Prinzip eines Widerstandsbolometers.
- 18.28 Welche zwei Maßnahmen werden bei Widerstands-Mikrobolometern ergriffen, um die Empfindlichkeit zu erhöhen?

Lösungen mit Lösungsweg

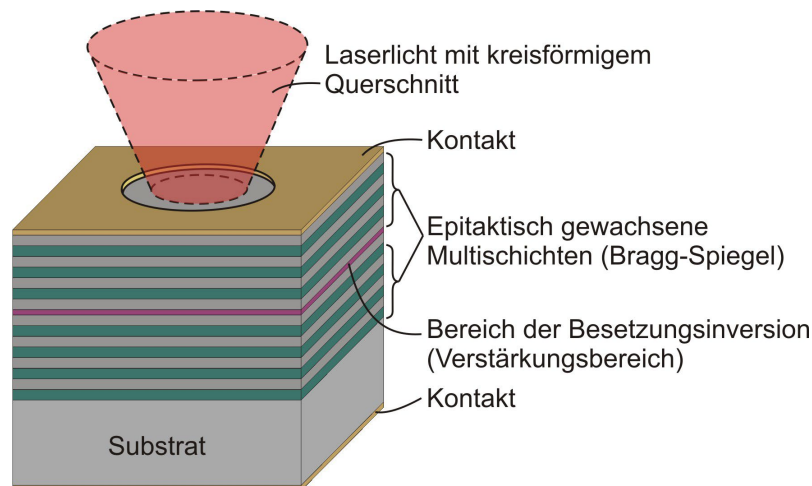
- 18.1 Für die Emission ist die Rekombination von Elektronen und Löchern erforderlich. Dazu müssen den Elektronen im Leitungsband Löcher im Valenzband zur Verfügung stehen. Dies geschieht bei Vorspannung in Durchlassrichtung dadurch, dass Elektronen vom n- ins p-Gebiet fließen bzw. Löcher in die andere Richtung. Bei umgekehrter Polung, also einer Vorspannung in Sperrrichtung, werden die Ladungsträger aber weg von der Raumladungszone gezogen. Den Elektronen bzw. Löchern stehen also keine Rekombinationspartner zur Verfügung.
- 18.2 Zunächst betrachten wir die rechte Seite des Banddiagramms. Wir sehen, dass es im Valenzband Elektronen nahe der Leitungsbandkante gibt und Elektronen, die Zustände besetzen, die weiter weg von der Leitungsbandkante liegen. Letztere haben eine entsprechend höhere Energie. Aus beiden Energieniveaus können die Elektronen die Löcher an der Valenzbandkante auffüllen, so dass Photonen mit der dabei frei werdenden Energie emittiert werden. Nach Gleichung 18.1 ist die Wellenlänge direkt durch die frei werdende Energie bestimmt. Die Bandbreite der Emission wird also durch die energetische Bandbreite der besetzten Elektronenzustände im Leitungsband bestimmt. Die gleiche Überlegung gilt natürlich für die linke Seite des Banddiagramms für die Löcher. Die energetische Bandbreite wird übrigens bei niedriger Ladungsinjektion durch die thermische Energie, also durch die Temperatur dominiert. Bei hoher Ladungsinjektion sind so viele Ladungsträger vorhanden, dass auch höhere Zustände besetzt werden und somit die Emissionsbandbreite weiter ansteigt.
- 18.3 Zwei Effekte sind hier zu berücksichtigen. Zum einen bewegen sich die Elektronen im Fall der Homostruktur-LED so schnell vom n-Gebiet über das p-Gebiet hin zur Anode, dass einige Elektronen nicht mit Löchern rekombinieren können. Zum anderen kann ein bereits emittiertes Photon im pn-Kristall wieder absorbiert werden. Der Prozess findet also umgekehrt statt: es entsteht wieder ein Elektron-Loch-Paar. Beide Effekte werden durch die *Doppel-Heterostruktur* vermieden, da die Ladungsträger „gefangen“ werden und durch das abgesenkte Energieniveau im Rekombinationsbereich eine Absorption des Photons in der restlichen LED vermieden wird.
- 18.4 Eine mögliche Prozessfolge enthält die folgenden Schritte: 1: Ausgangssubstrat n-dotierte Scheibe. 2: ganzflächige p-Implantation. 3: Aufbringen Rückseitenmetallisierung (z. B. Verdampfen oder Sputtern). 4: Aufbringen Vorderseitenmetallisierung (z. B. Verdampfen oder Sputtern). 5: Definition Lackmaske für Metallstrukturierung durch lithographischen Prozess (Lack aufbringen, Belichtung, Entwicklung). 6: Ätzen Metall (trocken oder nass).



Hinweis: Alternativ zur Implantation kann das Substrat auch mit einer den Dotierstoff enthaltenden Schicht belegt werden (z. B. Borsilikatglas im Falle einer Bor-Dotierung).

Durch eine Temperaturbehandlung wird der Dotant eindiffundiert. Anschließend wird die Schicht nass oder trocken entfernt.

- 18.5 Das Licht einer Laserdioden zeichnet sich durch einen sehr geringen Öffnungswinkel aus. Man spricht in diesem Zusammenhang von geringer *Divergenz*. Dadurch ist gewährleistet, dass auch in größerem Abstand nur ein kleiner und damit heller Punkt erzeugt wird. Im Falle einer LED würde aufgrund der großen Divergenz eine flächige Beleuchtung stattfinden. Natürlich könnte das Licht der LED durch eine spezielle Optik auf eine verhältnismäßig kleine Fläche konzentriert werden. Das ginge aber immer nur für einen bestimmten Abstand. Bei Änderung des Abstandes würde die Optik nachjustiert werden müssen, was nicht praktikabel ist.
- 18.6 Damit die stimulierte Emission überwiegt, müssen die Photonen im Kristall möglichst lange im Bereich der Besetzungsinversion verbleiben. Aufgrund der Spiegel laufen die Photonen immer wieder durch diesen Bereich und können viele Elektron-Loch-Paare zur stimulierten Emission anregen. Daneben tritt durch die Resonanzbedingung, in die der Spiegelabstand eingeht, eine besonders hohe Verstärkung der Photonen auf, welche eine Wellenlänge besitzen, die diese Bedingung erfüllt. Dadurch wird das emittierte Licht schmalbandig. Ein für viele Anwendungen wichtiger Aspekt.
- 18.7 Bei herkömmlichen Halbleiter-Laserdioden wird das Licht an der Kante des Kristalls emittiert (vgl. Abbildung 18.9). Bei der Vertical-Cavity-Surface-Emitting-Laserdiode (VCSEL) wird das Laserlicht senkrecht zur Oberfläche des Halbleiterkristalls abgestrahlt. Die aktive Schicht ist üblicherweise zwischen sogenannten Bragg-Reflektoren eingebettet. Dies sind Multischichten dielektrischer Materialien mit abwechselnd hohem und niedrigen Brechungsindex (siehe auch Abschnitt 18.2.3, eindimensionaler photonischer Kristall). Damit wird ein sehr hoher Reflexionsgrad erreicht. Während der Strahlquerschnitt eines Kantenemitters elliptisch ist, erzielt man bei VCSEL einen runden Strahlquerschnitt, was für die meisten Anwendungen sehr vorteilhaft ist.



- 18.8 a) Damit eine Diode Laserlicht emittiert, ist eine notwendige Bedingung, dass die stimulierte Emission die Absorption überwiegt. Dafür sind hohe Stromdichten zur Erzeugung der Besetzungsinversion erforderlich. Dem entsprechend können wir folgern, dass unterhalb einer Stromdichtenschwelle kein Laserlicht emittiert wird, sondern nur Licht, wie bei einer LED. Erst bei Überschreiten einer Schwelle (engl.: *threshold*) für die Stromdichte wird die Bedingung für die Emission von Laserlicht erfüllt. Der Nutzer hat bauelementseitig den entsprechenden Strom (in mA) zur Verfügung zu stellen. Im Datenblatt finden wir daher den Schwellstrom (engl. *threshold current*) und nicht die –dichte angeben.
- b) Die optische Ausgangsleistung in Abhängigkeit des Durchlassstroms ist auf S.3 in der rechten, mittleren Graphik aufgetragen. Bei einer optischen Ausgangsleistung

(*optical power output*) von 3 mW wird ein Durchlassstrom (*forward current*) von ca. 54 mA bei einer Temperatur von 25 °C und von ca. 68 mA bei einer Temperatur von 50 °C benötigt.

- 18.9 Wir betrachten Abbildung 18.13. Anorganisch sind das Glassubstrat und die elektrischen Kontakte (Metall bzw. ITO). Aus organischen Schichten bestehen die Löcherleitungsschicht, die Elektronenleitungsschicht und die Emitterschicht.
- 18.10 Die zwei Materialklassen sind die kleine Moleküle (*small molecules*) und die Polymere. Small-molecules-Schichten bestehen aus einzelnen Molekülen in mehr oder weniger geordnetem Zustand. Bei den Polymermaterialien findet eine Vernetzung der als Schicht aufgetragenen Materialien statt. Das bedeutet, es bilden sich sehr lange, untereinander verbundene Molekülketten - die Polymere. Die Aufbringung von small-molecules-Schichten erfordert Vakuumprozesse. OVPD oder thermisches Aufdampfen sind die bekanntesten Vertreter. Die Anlagentechnik ist entsprechend komplex und teuer. OLEDs aus Polymeren dagegen können mit vergleichsweise einfacher Anlagentechnik hergestellt werden. Einfache Verfahren, wie Tintenstrahldrucken oder Aufschleudern werden heute eingesetzt.
- 18.11 Bei der Zuordnung sind zwei Randbedingungen zu beachten. Erstens ist zu berücksichtigen, dass der jeweils dunkel dargestellten Struktur ein Material mit höherem Brechungsindex zugeordnet wird als der hell dargestellten Struktur. Zweitens soll die Materialkombination fertigungstechnisch sinnvoll sein. Die Kombination von III-V-Verbindungen mit Silizium- oder Si-Verbindungen wird damit ausgeschlossen. Unter diesen Bedingungen ergeben sich beispielhaft von vielen anderen die folgenden Kombinationsmöglichkeiten: a) dunkel: Si, hell: BPSG. b) wie a) oder dunkel: Si, hell untere Schicht: SiO₂, hell abschließende Schicht: SiO_xN_y. c) dunkel: GaAs, hell: Al_xGa_{1-x}As, dunkel, flächige Schicht: GaAs, dunkel, erhabene Schicht: In_xGa_{1-x}As.
- 18.12 In den Ringresonator können alle Wellenlänge eingekoppelt werden, welche die Resonanzbedingung nach Gleichung 18.4 erfüllen. Im konkreten Fall ist der Radius mit 62,70 µm und der effektive Brechungsindex mit 3.300 vorgegeben. Wir formen zunächst die Gleichung um in:

$$k\lambda_0 = 2\pi R n_{eff}$$

Für k = 1000 ergibt sich die Wellenlänge von 1300 nm. Die nächsthöhere Wellenlänge ergibt sich, wenn wir den Parameter k um eins niedriger setzen. D.h.: Die

$$\lambda_0 = \frac{2\pi R n_{eff}}{k} = \frac{2\pi \cdot 62,70\mu m \cdot 3,300}{999} = 1301\text{ nm}$$

nächsthöhere Wellenlänge, die in den Ringresonator einkoppelt ist mit 1301 nm also lediglich 1 nm größer.

18.13

	Halbleiterkristall	Photonischer Kristall
Periodisch angeordnete Elemente	Atome	Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex
Informationsträger	Elektronen	Photonen
Verbotener Bereich	Elektronische Bandlücke	Photonische Bandlücke
Leitung innerhalb des verbotenen Bereichs	Durch Dotierung / Störung der periodischen Atomanordnung	Durch Defekte innerhalb der periodischen Brechungsindexstruktur

- 18.14 Die Pfosten haben zwei entscheidende Aufgaben. Erstens stellen sie die mechanische Verbindung zwischen Substrat und Spiegelplatte dar. An ihnen sind die Spiegel über

die Torsionsfedern angebracht. Zweitens stellen sie auch die elektrische Verbindung zwischen Substrat und Spiegelplatte dar. Dies ist erforderlich, da die Spiegelplatte für die Auslenkung auf ein definiertes elektrisches Potential gebracht werden muss.

- 18.15 Wir beginnen die erweiterte Prozessbeschreibung nach Teilschritt e) aus Abbildung 18.43. Wie beim 1-Ebenen-Prozess wird jetzt eine Photolackschicht aufgebracht und belichtet. Damit wird die Metallschicht, die im 1-Ebenen-Prozess die Spiegelmetallschicht ist, strukturiert. Im Falle des 2-Ebenen-Prozesses wird diese Schicht allerdings rein für die mechanischen Aufhängungen (*Hinge*, siehe Abbildung 18.44) verwendet. Wir bezeichnen diese Schicht daher im Folgenden als *Hinge*-Ebene. Nach Strukturierung der *Hinge*-Ebene wird nun eine weitere Opferschicht aufgebracht. Diese kann beispielsweise wieder aus Photolack bestehen. In diese Photolackschicht werden nun Öffnungen belichtet, die mittig über dem *Hinge* liegen (vgl. Abbildung 18.44). Ab hier folgen wir wieder der Sequenz des 1-Ebenen-Prozesses. D. h. jetzt wird die Spiegelmetallschicht aufgebracht und strukturiert. Anschließend folgen die Schritte zur Vereinzelung und Freisetzung der Strukturen. Die zusätzlichen Prozessschritte sind also: Aufbringen und photolithographische Strukturierung der Opferschicht, Abscheiden und Strukturierung einer weiteren Metallschicht.
- 18.16 Im linken Teil der Abbildung sind die Abmessungen a , l und d anhand des Layouts definiert. Mit einem Lineal vermessen wir auf dem REM-Bild die Spiegelbreite a . Der Wert sei a_{gemessen} . Genauso bestimmen wir im REM-Bild l_{gemessen} und d_{gemessen} . Die zu bestimmenden Größen ergeben sich jetzt aus den Formeln:

$$l = \frac{a}{a_{\text{gemessen}}} l_{\text{gemessen}} \quad d = \frac{a}{a_{\text{gemessen}}} d_{\text{gemessen}}$$

Es ergibt sich für l ein Wert von ca. $10,5 \mu\text{m}$ und für d ca. $2,0 \mu\text{m}$.

- 18.17 Es handelt sich hier, wie in der Bildunterschrift erwähnt, um Öffnungen zur Entfernung der Opferschicht. Da die Spiegelplatte mit einem Wert von typisch $36 \mu\text{m}$ relativ groß ist, würde es unverhältnismäßig lange dauern die Lack-Opferschicht nur über die Öffnungen, die sich durch die Definition der Aufhängungen ergeben zu entfernen. Daher werden zusätzliche Öffnungen in die Spiegelplatte eingebracht.
- 18.18 Folgende beispielhaften Asymmetrien sind im Herstellungsprozess zwar sehr gering und gegebenenfalls auch weiter zu minimieren, jedoch nie komplett zu vermeiden.
- a) Justagefehler z. B. die Verspiegelung zur Spiegelplatte. Dadurch ist die Massenverteilung nicht achsensymmetrisch. Es kommt zu einer minimalen Verkipfung.
 - b) Abbildungsfehler in der Lithographie.
 - c) Inhomogenitäten der Lackdicke für die Definition der Grabenätzung. Dies führt zu leicht unterschiedlich breiten Gräben.
 - d) Dickenvariation der SOI-Schicht (engl.: *TTV: total thickness variation*).
 - e) Rauigkeiten der Gräben durch die Ätzung. Dies führt zu einer asymmetrischen Verteilung des elektrischen Antriebsfeldes.
 - f) Asymmetrien im Dotierungsprofil und damit verbundene mechanische und elektrische Spannungsgradienten.
- 18.19 Die Rückseite wird mittels TMAH strukturiert. Die Ätzraten bei diesem anisotropen Verfahren sind kristallrichtungsabhängig. In $\langle 111 \rangle$ -Richtung ist die Ätzrate besonders niedrig, daher bilden sich die $\{111\}$ -Ebenen als Ätzstopp ab. Um sicherzustellen, dass die mechanische Struktur freigesetzt wird, muss die Rückseitenöffnung entsprechend gewählt werden. Bei einer anderen Kristallorientierung wäre die Ätzmaske anzupassen.
- Die SOI-Schicht der Vorderseite wird mit DRIE strukturiert. Dieses trockene Verfahren ist zwar ebenfalls anisotrop, weist aber keine signifikante Kristallrichtungsabhängigkeit

- auf. Bei anderer Kristallorientierung der SOI-Schicht erhält man also praktisch das gleiche Ergebnis ohne Maske oder Prozess anpassen zu müssen.
- 18.20 Für den Antrieb wird die bei der Schwingung auftretende Änderung der Kapazität genutzt, die sich durch die gegenüberstehenden Seiten der Spiegelplatte und der Antriebselektrode ergibt. Je größer diese Kapazität ist, desto größer ist die Antriebseffizienz. Dies macht sich in kleineren Antriebsspannungen bemerkbar. Durch die fingerförmige Strukturierung wird diese Kapazität deutlich erhöht und damit die Antriebsspannung verringert.
- 18.21 Der Bereich mit den Gitterstrukturen wird in der Mikroskopaufnahme bei der gewählten Vergrößerung dunkler abgebildet, da ein Teil des Lichtes aufgrund der Beugung das Objektiv nicht erreicht. Tatsächlich gelangt nur die 0. Beugungsordnung zur Abbildung. Bei schräger Beleuchtung wäre ein farbiges Bild der Gitterstrukturen zu erwarten, ähnlich, wie wir das an den Chips in Teilbild b) sehen. Dies hängt damit zusammen, dass wir dann Licht aus der 1. oder auch höheren Beugungsordnung im Mikroskop zur Abbildung bringen. In diesen Beugungsordnungen ist das Licht spektral aufgespalten.
- 18.22 a) Die elektrische Spannung fällt praktisch ausschließlich im Bereich der Verarmungszone ab. Nur dort tritt daher eine signifikante elektrische Feldstärke auf. Die Verarmungszone ergibt sich im Bereich des Übergangs von p^+ nach n . Bei einer dickeren p^+ -Schicht liegt die Verarmungszone und damit der Bereich der signifikanten elektrischen Feldstärke entsprechend tiefer im Bauelement. Am qualitativen Verlauf der elektrischen Feldstärke ändert sich ansonsten nichts.
 b) Die von den Photonen generierten Elektron-Loch-Paare werden nur im Bereich der hohen elektrischen Feldstärke effektiv getrennt und tragen damit zum Stromfluss bei. Die Photonen dringen von oben in das Bauelement ein. Je tiefer der Bereich der hohen elektrischen Feldstärke liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon auf dem Weg zu diesem Bereich bereits ein Elektron-Loch-Paar bildet, das dann aber nicht zum Stromfluss beitragen kann. In a) haben wir gesehen, dass der Bereich der hohen elektrischen Feldstärke umso weiter weg von der Oberfläche liegt, umso dicker die p^+ -Schicht ist. Deswegen wird die obere Schicht sehr dünn gestaltet, wodurch die Ausbeute erhöht wird.
- 18.23 Die relevante Graphik findet sich auf S. 2 des Datenblatts, oben links. Sie gibt die spektrale Empfindlichkeit der Photodiode in A/W an. Bei einer Wellenlänge von 800 nm kann aus dem Graph für beide aufgeführten Photodioden ein Wert von ca. 0.5 A/W abgelesen werden. Bei 100 mW Lichtleistung ergibt sich also ein Strom
 $I = 0.5 \text{ A/W} \cdot 100 \text{ mW} = 50 \text{ mA}$.
- 18.24 Das Photon muss in den Bereich der Bandverbiegung gelangen. Diese tritt zwischen dem Isolator und dem p -dotierten Gebiet auf. Die dort generierten Elektron-Loch-Paare können getrennt werden. Im Beispiel der Abbildung sammeln sich die Elektronen im Potentialtopf. Ein Teil der Photonen wird bereits in der Metallelektrode oder dem Isolator absorbiert. Je transparenter beide sind, umso kleiner wird dieser Teil sein. Die dort absorbierten Photonen tragen nicht zur Ladungsbildung im Potentialtopf bei. Photonen können aber auch teilweise sehr tief in das Bauelement eindringen und dort absorbiert werden. Die Bandverbiegung ist dort gering oder sogar vernachlässigbar. Die erzeugten Elektron-Loch-Paare werden dann mit hoher Wahrscheinlichkeit rekombinieren, so dass auch von diesen Photonen kein Beitrag zur Ladungsbildung zu erwarten ist.
- 18.25 Entscheidend ist, dass beim CMOS-Bildsensor im Gegensatz zum CCD-Bildsensor pixelweise integrierte elektronische Komponenten vorliegen. Damit kann das Signal einzelner Pixel gezielt und unabhängig von anderen ausgelesen werden. Beim CCD-Bildsensor kann dagegen nur der gesamte Sensorinhalt und zwar sequentiell ausgelesen werden. Darüber hinaus ermöglicht die Integration elektronischer Komponenten beim CMOS-Bildsensor es auch Elemente wie Verstärker auf dem Chip zu integrieren, so dass ein deutlich höherer Miniaturisierungsgrad im Vergleich zum CCD-Bildsensor erreicht wird.

- 18.26 Die Integration elektronischer Komponenten im Pixel hat den Nachteil, dass damit weniger Platz für das lichtempfindliche Element, die Photodiode, zur Verfügung steht. Der optische Füllfaktor ist damit im Vergleich zum CCD-Bildsensor verhältnismäßig klein. Dies hat zur Folge, dass ein Teil der einfallenden Photonen prinzipiell nicht zu einem detektierbaren Signal führen können. Durch Mikrolinsen wird das auf den Pixel einfallende Licht auf den Bereich der Photodiode fokussiert. Die Lichtausbeute wird so erhöht.
- 18.27 Die einfallende Strahlung wird in einer Absorberschicht in Wärme umgewandelt. Ein temperaturabhängiger Widerstand, der thermisch an die Absorberschicht gekoppelt ist, wird eingesetzt, um die Temperaturerhöhung zu bestimmen. Der Widerstand besteht entweder aus einer Metallschicht (Widerstandserhöhung mit zunehmender Temperatur) oder aus einem Halbleiter (Widerstandsverringern mit zunehmender Temperatur).
- 18.28 Die Empfindlichkeit hängt vor allem von zwei Faktoren ab: Die thermische Isolation zum Substrat muss möglichst gut sein, damit es durch die Bestrahlung zu einer möglichst großen Erwärmung des Widerstands kommt. Außerdem muss die Fläche des Absorbers möglichst groß sein, um einen möglichst großen Anteil der einfallenden Strahlung nutzen zu können. Ersteres wird erreicht, indem die Aufhängungen möglichst lange gestaltet werden. Bei Einschichtsystemen führt dies dazu, dass der optische Füllfaktor (also die anteilige Absorberfläche) reduziert wird. Daher setzt man in der Herstellung Zweischichtsysteme ein, bei denen die Absorberfläche über den Aufhängungen angeordnet werden kann.