

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
6. Dezember 2012 (06.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/163797 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/055 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/059711

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Mai 2012 (24.05.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 102 790.8 27. Mai 2011 (27.05.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **UNIVERSITÄT STUTTGART** [DE/DE];
Keplerstraße 7, 70174 Stuttgart (DE). **KARLSRUHER
INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE** [DE/DE];
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SAEMANN, Marc**
[DE/DE]; Dornbuschweg 30, 70771 Leinfelden-
Echterdingen (DE). **DONN, Philipp** [DE/DE];
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart (DE). **GLAESER,**

Gerda [DE/DE]; Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart
(DE). **FELDMANN, Claus** [DE/DE]; Böcklerstr. 1, 76275
Ettlingen (DE). **BILGER, Gerhard** [DE/DE];
Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart (DE). **WERNER,**
Jürgen H. [DE/DE]; Paulusstraße 46A, 70197 Stuttgart
(DE).

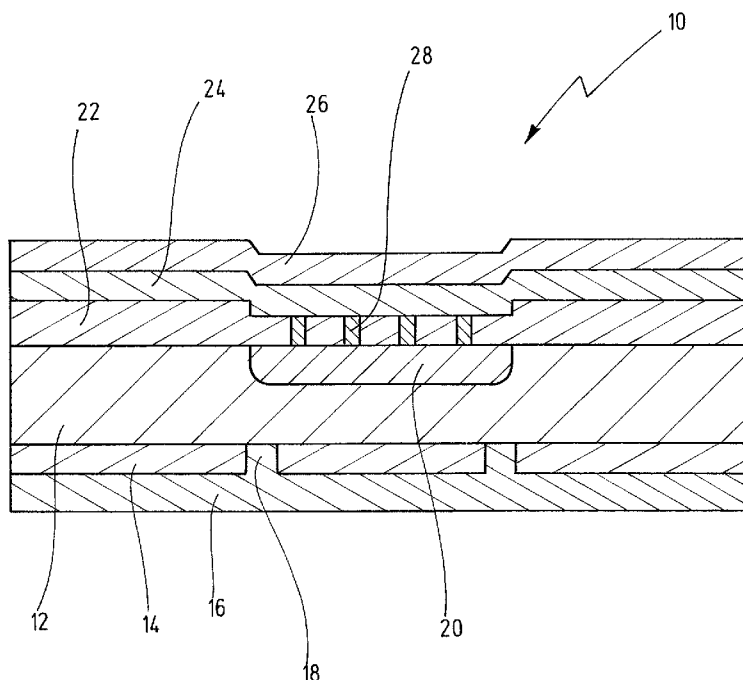
(74) Anwalt: **WITTE, WELLER & PARTNER;**
Zusammenschluss EPA Nr. 314, Postfach 10 54 62, 70047
Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SOLAR CELL WITH ANTIREFLECTIVE COATING AND METHOD FOR PRODUCING SUCH A CELL

(54) Bezeichnung : SOLARZELLE MIT ANTIREFLEXBESCHICHTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER
SOLCHEN



(57) Abstract: A solar cell with a luminescent
antireflective coating (24, 26) is provided,
preferably consisting of a first manganese-doped
layer (24) of zinc sulphide and a second layer
(26) of magnesium fluoride. The luminescence
has the effect that the radiation in the UV range
that is largely unused in the case of conventional
solar cells is converted into light of a longer
wavelength, whereby the efficiency is increased.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Solarzelle
mit einer lumineszierenden
Antireflexbeschichtung (24, 26) angegeben, die
vorzugsweise aus einer ersten mit Mangan
dotierten Schicht (24) aus Zinksulfid und aus
einer zweiten Schicht (26) aus Magnesiumfluorid
besteht. Durch die Lumineszenz wird die bei
herkömmlichen Solarzellen zum großen Teil
ungenutzte Strahlung im UV-Bereich in ein
längerwelliges Licht umgesetzt, wodurch der
Wirkungsgrad gesteigert wird.

Fig. 1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Solarzelle mit Antireflexbeschichtung und Verfahren zur Herstellung einer solchen

[0001] Die Erfindung betrifft eine Solarzelle mit einer Antireflexbeschichtung.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Solarzelle.

[0003] Effiziente Solarzellen benötigen gemäß dem Stand der Technik eine Antireflexbeschichtung, die es der Solarzelle ermöglicht, das einfallende Licht möglichst weitgehend zu absorbieren.

[0004] Aus Zhao et al. "Optimized Antireflection Coatings for High-Efficiency Silicon Solar Cells", IEEE Trans. El. Devices 38, 1925 (1991) ist eine zweilagige Antire-

flexbeschichtung für eine Solarzelle bekannt, bestehend aus einem zweilagigen Schichtverband aus Zinksulfid (ZnS) und Magnesiumfluorid (MgF₂).

[0005] Durch einen derartigen zweilagigen Aufbau einer Antireflexbeschichtung lässt sich zwar eine gewisse Wirkungsgradsteigerung erzielen, jedoch zeigt es sich, dass die Reflexion bei Wellenlängen unterhalb von 400 nm stark ansteigt und somit die Absorption des Sonnenlichts in der Solarzelle in diesem Frequenzbereich zu etwa mehr als der Hälfte aufgrund der hohen Reflexion nicht in die Solarzelle gelangen kann. Auch wenn der Wellenlängenbereich unterhalb von 400 nm nur etwa 4,6 % der Gesamtleistung des Sonnenspektrums ausmacht, so geht doch ein Teil der Strahlungsenergie ungenutzt verloren, wodurch der Wirkungsgrad der Solarzelle sinkt.

[0006] Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Solarzelle zu schaffen, die einen erhöhten Wirkungsgrad aufweist. Insbesondere soll dies durch eine verbesserte Antireflexbeschichtung erzielt werden.

[0007] Ferner soll ein geeignetes Verfahren zur Herstellung einer solchen Solarzelle angegeben werden.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Solarzelle mit einer lumineszierenden Antireflexbeschichtung gelöst.

[0009] Durch die Lumineszenz der Antireflexbeschichtung kann kurzwelliges Licht, das sonst ungenutzt verlorengehen würde, in langwelligeres Licht umgesetzt werden, das von der Solarzelle absorbiert werden kann. Insbesondere absorbiert die Antireflexbeschichtung Licht im Wellenlängenbereich unterhalb von 400 nm und emittiert im langwelligeren Bereich, insbesondere im Bereich oberhalb von 400 nm. Auf diese Weise kann das im kurzwelligen Bereich zu einem großen Teil durch Reflexion ungenutzte kurzwellige Spektrum des Sonnenlichts zu einem größeren Teil in langwelligeres Licht umgesetzt werden, das von der Solarzelle genutzt werden kann.

[0010] Die Solarzelle umfasst vorzugsweise zumindest eine Schicht mit Zinksulfid, das durch eine Dotierung lumineszierend ist.

[0011] Die Dotierung kann hierbei insbesondere zumindest ein Element enthalten, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Mangan, Kupfer, Zinn, Silber, Gold, Aluminium, Indium, Blei, Europium, Phosphor, Chlor, Brom und Iod besteht. Grundsätzlich sind jedoch auch andere Dotierungen, ggf. auch in Verbindung mit anderen Schichten denkbar.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die Antireflexbeschichtung eine erste Schicht aus Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht aus Magnesiumfluorid auf, von denen zumindest die erste Schicht, vorzugsweise beide Schichten, dotiert sind.

[0013] Die erste Schicht aus Zinksulfid weist vorzugsweise eine Schichtdicke im Bereich von 20 bis 50 nm, vorzugsweise von 30 bis 46 nm auf.

[0014] Die zweite Schicht aus Magnesiumfluorid weist vorzugsweise eine Schichtdicke im Bereich von 80 bis 150, vorzugsweise von 100 bis 130 nm auf.

[0015] Mit der Verwendung einer mehrlagigen Antireflexbeschichtung ist ein weiterer Vorteil der Erfindung verbunden: Durch eine Totalreflexion an der Grenze zwischen der ersten und der zweiten Schicht, insbesondere am Übergang von einer mit Mangan dotierten Zinksulfidschicht und einer Magnesiumfluoridschicht, und andererseits am Übergang zwischen einer Magnesiumfluoridschicht und Luft kann das konvertierte, langwellige Licht aus der mit Mangan dotierten Zinksulfidschicht nur zu einem sehr geringen Anteil die Antireflexbeschichtung wieder verlassen. Lediglich Photonen, die in einem Öffnungswinkel von $22,9^\circ$ zur lichteinfallenden Seite emittiert werden, können den Schichtverbund verlassen. Alle anderen Photonen werden in die Solarzelle reflektiert. Auf diese Weise gehen höchstens etwa 4 % der konvertierten Strahlung verloren, was gleichfalls zur Wirkungsgradsteigerung der Solarzelle beiträgt.

[0016] Bei der erfindungsgemäßen Solarzelle kann es sich um eine sog. PERC-Solarzelle handeln ("Passivated Emitter and Rear Cell"), wie sie aus Blakers et al. "22.8 % efficient silicon solar cell", Appl. Phys. Lett, 55, 1363 (1989) grundsätzlich bekannt ist. Eine solche PERC-Solarzelle wird mit der erfindungsgemäßen Antireflexbeschichtung versehen.

[0017] Grundsätzlich eignet sich die erfindungsgemäße Antireflexbeschichtung jedoch für alle Arten von Solarzellen, also nicht nur für monokristalline Zellen, sondern auch für polykristalline oder mikrokristalline Solarzellen, sowie für Dünnschicht-Solarzellen, auch aus anderen Basismaterialien als Silizium.

[0018] Die Aufgabe der Erfindung wird ferner durch ein Verfahren zum Passivieren einer Solarzelle gelöst, bei dem eine lumineszierende Antireflexbeschichtung auf einer Vorderseite der Solarzelle appliziert wird.

[0019] Auch auf diese Weise wird die Aufgabe der Erfindung vollständig gelöst.

[0020] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung wird eine Antireflexbeschichtung appliziert, die zumindest eine Schicht mit einem Sulfid, insbesondere Zinksulfid, oder Zinkoxid enthält, die durch eine Dotierung lumineszierend ist.

[0021] Weiter bevorzugt enthält die Dotierung zumindest ein Element, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Mangan, Kupfer, Zinn, Silber, Gold, Aluminium, Indium, Blei, Europium, Phosphor, Chlor, Brom und Iod besteht. Bevorzugt kann die Dotierung auch mehrere dieser Elemente enthalten.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest eine erste Schicht aus dotiertem Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht aus Magnesiumfluorid als Antireflexbeschichtung appliziert.

[0023] Durch einen solchen doppelschichtigen Aufbau der Antireflexbeschichtung wird der Wirkungsgrad weiter gesteigert, da insbesondere durch Totalreflexion an den Grenzschichten die von den lumineszierenden Schichten emittierten Photonen weitgehend an einem Austritt aus der Solarzelle gehindert werden und somit in der Solarzelle absorbiert werden.

[0024] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung wird die Solarzelle nach dem Applizieren der Antireflexbeschichtung getempert.

[0025] Durch diesen Schritt ergeben sich weitere besonders vorteilhafte Eigenschaften.

[0026] Eine z.B. bei Raumtemperatur durch Sputtern aufgebrachte Schicht ist nahezu amorph. Durch den Temperschnitt bilden sich Nanokristallite, wodurch die photolumineszierenden Eigenschaften verbessert werden. Durch den Temperschnitt entsteht eine breitbandige Photolumineszenz über den gesamten sichtbaren Spektralbereich. Außerdem werden die optischen Schichteigenschaften verbessert und die effektive Reflexion der Antireflexbeschichtung reduziert. Somit erhöht sich zusätzlich der Wirkungsgrad der Solarzelle.

[0027] Es hat sich als besonders vorteilhaft gezeigt, wenn die Temperung erst nach dem Applizieren der letzten Schicht durchgeführt wird.

[0028] Hierdurch ergibt sich ein weiter verbesserter Wirkungsgrad. Bei geeigneter Verfahrensführung trägt die Dotierung aus der Zinksulfidschicht auch zu einer Dotierung der zweiten aus Magnesiumfluorid bestehenden Schicht bei, die auf diese Weise gleichfalls zur Lumineszenz beiträgt.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Temperung bei einer Temperatur von etwa 400 °C bis 450 °C, insbesondere bei etwa 410 °C bis 430 °C, vorzugsweise über eine Zeit von 5 bis 30 Minuten, weiter bevorzugt über eine Zeit von etwa 8 bis 12 Minuten.

[0030] Es hat sich gezeigt, dass mit einer derartigen Verfahrensführung eine besonders gute Diffusion erzielt werden kann, und dass die optischen Schichteigenschaften besonders vorteilhaft beeinflusst werden können.

[0031] Wie bereits vorstehend erwähnt, umfasst die Applizierung einer dotierten Antireflexbeschichtung vorzugsweise zumindest einen Sputtervorgang zur Applikation einer dotierten Schicht.

[0032] Hierbei wird vorzugsweise zumindest eine erste Schicht aus dotiertem Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht aus Magnesiumfluorid durch einen Sputtervorgang oder Verdampfungsvorgang appliziert.

[0033] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung der Erfindung verwendbar sind.

[0034] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Solarzelle;
- Fig. 2 die Reflexion an einer herkömmlichen Solarzelle mit doppelagiger Antireflexbeschichtung und die spektrale Leistung des Sonnenspektrums AM1.5G;
- Fig. 3 die Lumineszenz von Antireflexbeschichtungen mit und ohne Mangandotierung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und dem Zeitpunkt des Temperschritts vor und nach Aufbringung der MgF_2 -Schicht;
- Fig. 4 ein SIMS-Tiefenprofil von Antireflexbeschichtungen mit Mangandotierung, wobei die Mangankonzentration über der Schichttiefe gezeigt ist;
- Fig. 5 die Lumineszenz einer erfindungsgemäßen Solarzelle in zwei Varianten im Vergleich zum Stand der Technik, in Abhängigkeit von der Wellenlänge;
- Fig. 6 die Reflexion einer erfindungsgemäßen Solarzelle in zwei Varianten gemäß Fig. 5 im Vergleich zu einer Solarzelle mit einer herkömmlichen Antireflexionsbeschichtung und

Fig. 7 die externe Quantenausbeute EQE und die Reflexion R sowie die daraus berechnete interne Quantenausbeute von zwei erfindungsgemäßen Solarzellen und einer herkömmlichen Solarzelle mit undotierter ZnS-Schicht in der DLAR-Schicht.

[0035] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Solarzelle im Querschnitt dargestellt und insgesamt mit der Ziffer 10 bezeichnet. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine PERC-Solarzelle, wie sie grundsätzlich aus Blakers et al., "22.8 % efficient silicon solar cell", Appl. Phys. Lett, 55, 1363 (1989) bekannt ist.

[0036] Die Solarzelle 10 ist mit einer erfindungsgemäßen Antireflexbeschichtung versehen, die aus zwei Schichten, einer ersten Schicht 24 und einer zweiten Schicht 26, besteht.

[0037] Die Solarzelle 10 weist einen aus einem Silizium-Wafer hergestellten p-Typ-Bereich mit einem Schichtwiderstand R_{sheet} von 0.2 Ohm/sq auf. Darüber befindet sich eine Schicht 22 aus einem Maskieroxid. Die Emitterfläche beträgt $2 \times 2 \text{ cm}^2$. Ein Ofen-Emitter mit einem R_{sheet} von 100 Ohm/sq. formt das n-Typ Gebiet 20. Der Emitter auf der Vorderseite der Solarzelle 10 ist durch Fingerkontakte 28 durch das geöffnete Maskieroxid oder Passivieroxid 22 kontaktiert. Die Rückseite der Solarzelle 10 weist eine Aluminiumschicht 16 mit Punktkontakten 18 auf, die durch eine Passivieroxidschicht 14 eingebracht sind. Die Schichtdicke der Passivieroxidschicht 14 auf der Rückseite beträgt etwa 110 nm. Die Passivieroxidschicht 22 über der Emitterfläche ist durch Ätzung auf eine Schichtdicke zwischen etwa 17 und 31 nm zurückgeführt.

[0038] Soweit ist der Aufbau der Solarzelle 10 grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannt. Erfindungsgemäß ist nun auf die Vorderseite eine Antireflexbeschichtung bestehend aus der ersten Schicht 24 und der zweiten Schicht 26 aufgebracht.

[0039] Während dem Stand der Technik bei einer solchen PERC-Solarzelle die Antireflexbeschichtung aus einer Zinksulfidschicht gefolgt von einer Magnesiumfluorid besteht, ist erfindungsgemäß die Zinksulfidschicht mit Mangan dotiert. Durch diese Dotierung entsteht eine lumineszierende Antireflexbeschichtung, wie im Folgenden noch weiter ausgeführt wird.

[0040] Fig. 2 zeigt die Reflexion des Sonnenlichts an einer herkömmlichen Solarzelle mit doppellagiger Antireflexbeschichtung und die spektrale Leistung des Sonnenspektrums AM1.5G bei einer herkömmlichen Solarzelle. Es ist ersichtlich, dass die Reflexion der Solarzelle bei Wellenlängen unterhalb von 400 nm stark ansteigt, wodurch die Absorption in der Solarzelle entsprechend verringert wird und somit dieser Teil des Sonnenspektrums im UV-Bereich weitgehend ungenutzt bleibt.

[0041] Durch die erfindungsgemäße lumineszierende Antireflexbeschichtung wird dieser kurzwellige Anteil des Sonnenlichtes in längerwelliges Licht im besser verwertbaren Wellenlängenbereich zwischen etwa 400 und 1000 nm umgesetzt. Die erste Schicht 22 aus mit Mangan dotiertem Zinksulfid (ZnS:Mn) absorbiert das kurzwellige Licht und emittiert als isotroper Kugelstrahler das konvertierte langwelligere Licht. Erfindungsgemäß lässt sich bei der Solarzelle 10 die Kombination aus der Antireflexbeschichtung, insbesondere einer ZnS/MgF_2 -Antireflexbeschichtung mit einer Lumineszenz durch Dotierung, insbesondere durch Mangan-, Kupfer-, Zinn-, Silber- oder Golddotierung, besonders vorteilhaft nutzen.

[0042] Die dotierte erste Schicht 24 aus ZnS:Mn wird vorteilhaft durch Sputtern (Kathodenzerstäubung) eines gesinterten ZnS:Mn -Targets appliziert. Dadurch kann eine ZnS:Mn -Dünnschicht reproduzierbar mit einer präzisen Schichtdicke im Nanometerbereich appliziert werden. Die Applikation einer ZnS:Mn -Schicht durch Kathodenzerstäubung ist eine im Stand der Technik grundsätzlich bekannte Methode und lässt sich einfach in bestehende Prozesse integrieren. Die Mangankonzentration im Tage entspricht etwa 5 Gew.-%. Dies entspricht auch etwa dem Anteil des Mangans in der applizierten ersten Schicht.

[0043] Auch die zweite Schicht aus Magnesiumfluorid kann vorteilhaft durch Sputtern oder Verdampfen im Hochvakuum aufgetragen werden.

[0044] Solarzellen benötigen bei der Herstellung als letzten Prozessschritt grundsätzlich einen Temperschnitt zur Passivierung und zur Kontaktbildung zu den Metallkontakten. Ein solcher Temperschnitt wird auch für die erfindungsgemäße Antireflexbeschichtung aus der ersten und der zweiten Schicht 24, 26 durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass die Durchführung des Temperschnitts nach der Auftragung der zweiten

Schicht besonders vorteilhaft ist. Die bei Raumtemperatur gesputterte erste Schicht ist nahezu amorph. Durch den Tempersschritt bilden sich Nanokristallite, durch welche die Photolumineszenz wesentlich verbessert wird. Durch den Tempersschritt ergibt sich eine breitbandige Photolumineszenz über den gesamten Spektralbereich, die nicht nur auf die mit Mangan dotierte Zinksulfidschicht 24 zurückzuführen ist. Durch das Tempern werden weiterhin die optischen Schichteigenschaften verbessert und die effektive Reflexion der Antireflexbeschichtung 24, 26 vermindert. Somit wird zusätzlich der Wirkungsgrad der Solarzelle 10 verbessert.

[0045] Gleichfalls wird durch die mehrlagige Antireflexbeschichtung 24, 26 durch Totalreflexion an den Grenzschichten ZnS:Mn/MgF_2 und MgF_2/Luft der Wirkungsgrad der Solarzelle 10 verbessert, da nur Photonen, die in einem Öffnungswinkel von $22,9^\circ$ zur lichteinfallenden Seite emittiert werden, die Antireflexbeschichtung 24, 26 verlassen können. Alle anderen Photonen werden in die Solarzelle 10 reflektiert und können somit zur Energienutzung beitragen.

[0046] Fig. 4 zeigt eine der Ursachen für die breitbandige Photolumineszenz. Die dargestellte Sekundärionenmassenspektrometriemessung (SIMS) zeigt die Mangankonzentration über die Profiltiefe der Antireflexbeschichtung. Die erste Schicht im Bereich 0 bis 110 nm ist die MgF_2 -Schicht. Im Bereich von 110 bis 160 nm befindet sich die mangandotierte Zinksulfidschicht. Anschließend folgt das sehr dünne Passivieroxid der Schicht 22 und der Silizium-Wafer (Schicht 12). Es ist ersichtlich, dass durch die Temperung nach der MgF_2 -Applikation Mangan aus ZnS:Mn in die darüberliegende MgF_2 -Schicht diffundiert. Die Diffusion von Mangan in die Magnesiumfluoridschicht 26 wird deutlich verbessert, wenn der Tempersschritt nach der Applikation der Magnesiumfluoridschicht durchgeführt wird, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist.

[0047] Aus Fig. 3 ist ersichtlich, dass die Photolumineszenz bei einer Anregung mit einem UV-Laser von 325 nm besonders günstig beeinflusst wird, wenn der Tempersschritt nach der Applikation der Magnesiumfluoridschicht durchgeführt wird (vgl. ausgezogene Kurve, die eine breitbandige Photolumineszenz über den gesamten nutzbaren Bereich zeigt). Erfolgt eine Temperung vor der Applikation der Magnesiumfluoridschicht, so ergibt sich eine deutlich geringere Lumineszenz (vgl. gestrichelte Kurve). Wird nur eine Magnesiumfluoridschicht auf die Zinksulfidschicht appliziert ohne eine Mangan-

dotierung der Zinksulfidschicht, so ergibt sich zwar auch eine gewisse Photolumineszenz, wenn nach der Applikation der Magnesiumfluoridschicht getempert wird, jedoch ist diese nicht so vorteilhaft wie bei der erfindungsgemäßen Solarzelle.

[0048] Tabelle 1 zeigt die Kennzahlen von drei verschiedenen PERC-Solarzellen im Vergleich, unabhängig bestätigt vom Fraunhofer ISE CalLab. Aufgeführt sind die effektive Reflexion R_{eff} , die Kurzschlussstromdichte J_{SC} , die Leerlaufspannung V_{OC} , der Füllfaktor FF und der Wirkungsgrad η . Bei Zelle 1 mit Mn-dotierter Antireflexschicht und bei Zelle 2 ohne dotierte Antireflexschicht erfolgte der Temperschnitt nach Abscheidung der zweiten Schicht aus MgF_2 . Bei Zelle 3 mit Mn-dotierter Antireflexschicht erfolgte kein Temperschnitt nach Abscheidung der MgF_2 Schicht. Die zugehörigen Photolumineszenz- und Reflexionsmessungen an diesen Solarzellen in Abhängigkeit von der Wellenlänge sind in den Fig. 5 und 6 dargestellt.

[0049] Die beiden Solarzellen, bei denen der Temperschnitt nach Abscheidung der Applikation der zweiten Schicht 26 aus MgF_2 erfolgte (durchgezogene Kurve mit Mangandotierung in den Figuren 5 und 6, sowie strichpunktierte Kurve ohne Mangandotierung) weisen im Vergleich zur Solarzelle, bei der der Temperschnitt vor der Abscheidung des Magnesiumfluorids erfolgte (gestrichelte Kurve), eine geringere effektive Reflexion R_{eff} (Reflexion gefaltet mit Sonnenspektrum) auf. Die optischen Eigenschaften der Antireflexbeschichtung 24, 26 verändern sich durch den Temperschnitt, die Reflexionskurven werden flacher. Die beiden Solarzellen, die nach Aufbringung des Magnesiumfluorids getempert wurden, weisen eine identische Leerlaufspannung V_{OC} auf und nahezu denselben Füllfaktor FF . Trotz sogar schlechterer effektiver Reflexion R_{eff} der Solarzelle mit mangandotierter Antireflexbeschichtung ist die Kurzschlussstromdichte J_{SC} und der daraus resultierende Wirkungsgrad η größer.

[0050] Die interne Quanteneffizienzmessung (Fig. 7) bestätigt ebenfalls eine erhöhte Effizienz im UV Bereich. Durch das Lumineszenzverhalten der Antireflexbeschichtung mit Mangandotierung lässt sich ein zusätzlicher Wirkungsgradgewinn erzielen.

Zelle	R_{eff} [%]	J_{sc} [mA/cm ²]	V_{oc} [mV]	FF [%]	η [%]	Mn in ZnS
1	6,53	37,1	664	78,3	19,3	ja
2	6,43	36,9	664	78,0	19,1	nein
3	6,94	36,2	662	77,8	18,6	ja

Tab. 1

[0051] Fig. 7 zeigt die externe Quantenausbeute EQE (Rechtecke), die Reflexion R (Dreiecke), sowie - im Inset - die daraus berechnete interne Quantenausbeute IQE (Kreise) für die drei Solarzellen gemäß Tab. 1. Aus den EQE-Kennlinien und den Reflexionskennlinien werden zwei Punkte deutlich: i) Tempern der Antireflexbeschichtung reduziert die Reflexion und erhöht die EQE und ii) durch die Mangandotierung der Antireflexbeschichtung verbessert sich die EQE im kurzwelligen und ultravioletten Wellenlängenbereich. Die IQE-Kennlinien im Inset verdeutlichen den Gewinn durch die mangandotierte Antireflexschicht. Die Solarzelle mit getemperter und dotierter Antireflexschicht weist im Wellenlängenbereich $340 \text{ nm} \leq \lambda \leq 420 \text{ nm}$ eine erhöhte IQE auf. Insbesondere im Bereich der Bandlücke von nanokristallinem ZnS bei $353 \text{ nm} < \lambda < 365 \text{ nm}$ zeigt sich eine deutliche Verbesserung der IQE gegenüber der Zelle mit undotierter ZnS Schicht in der DLAR Schicht.

Patentansprüche

1. Solarzelle mit einer Antireflexbeschichtung (24, 26), dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (24, 26) lumineszierend ist.
2. Solarzelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (24, 26) kurzwelliges Licht, insbesondere Licht im Wellenlängenbereich unterhalb von 400 Nanometer absorbiert und langwelligeres Licht, insbesondere im Bereich oberhalb von 400 Nanometer, emittiert.
3. Solarzelle nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (24, 26) zumindest eine Schicht (24) mit einem Sulfid, insbesondere Zinksulfid, oder Zinkoxid enthält, die durch eine Dotierung lumineszierend ist.
4. Solarzelle nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierung zumindest ein Element enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Mangan, Kupfer, Zinn, Silber, Gold, Aluminium, Indium, Blei, Europium, Phosphor, Chlor, Brom und Iod besteht.
5. Solarzelle nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (24, 26) eine erste Schicht (24) aus Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht (26) aus Magnesiumfluorid aufweist, von denen zumindest die erste Schicht (24), vorzugsweise beide Schichten (24, 26), dotiert sind.
6. Solarzelle nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht (24) aus Zinksulfid eine Schichtdicke im Bereich von 20 bis 50 Nanometer, vorzugsweise von 30 bis 46 Nanometer aufweist.
7. Solarzelle nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (26) aus Magnesiumfluorid eine Schichtdicke im Bereich von 80 bis 150, vorzugsweise von 110 bis 130 Nanometer aufweist.

8. Solarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Solarzelle als PERC-Solarzelle ausgebildet ist.
9. Solarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dass die erste Schicht mit 0,1–10 Gew.-% dotiert ist, vorzugsweise mit 3–7 Gew.-%, besonders bevorzugt mit etwa 4–6 Gew.-%.
10. Verfahren zum Passivieren einer Solarzelle (10), bei dem eine lumineszierende Antireflexbeschichtung (24, 26) auf einer Vorderseite der Solarzelle appliziert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem eine Antireflexbeschichtung appliziert wird, die zumindest eine Schicht (24) mit einem Sulfid, insbesondere Zinksulfid, oder Zinkoxid enthält, die durch eine Dotierung lumineszierend ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die Dotierung zumindest ein Element enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Mangan, Kupfer, Zinn, Silber und Gold besteht.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem zumindest eine erste Schicht (24) aus dotiertem Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht (26) aus Magnesiumfluorid als Antireflexbeschichtung appliziert werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem die Solarzelle (10) nach dem Applizieren der Antireflexbeschichtung getempert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Temperung nach dem Applizieren der letzten Schicht (26) durchgeführt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem die Temperung bei einer Temperatur von 400 °C bis 450 °C, insbesondere etwa 410° bis 430 °C, vorzugsweise über eine Zeit von 5 bis 15 Minuten, weiter bevorzugt über eine Zeit von etwa 8 bis 12 Minuten, durchgeführt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, bei dem die Applizierung einer dotierten Antireflexbeschichtung (24, 26) zumindest einen Sputtervorgang zur Applikation einer dotierten Schicht (24) umfasst.
18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem zumindest erste Schicht (24) aus dotiertem Zinksulfid und zumindest eine zweite Schicht (26) aus Magnesiumfluorid durch einen Sputter- oder Verdampfungsvorgang appliziert werden.

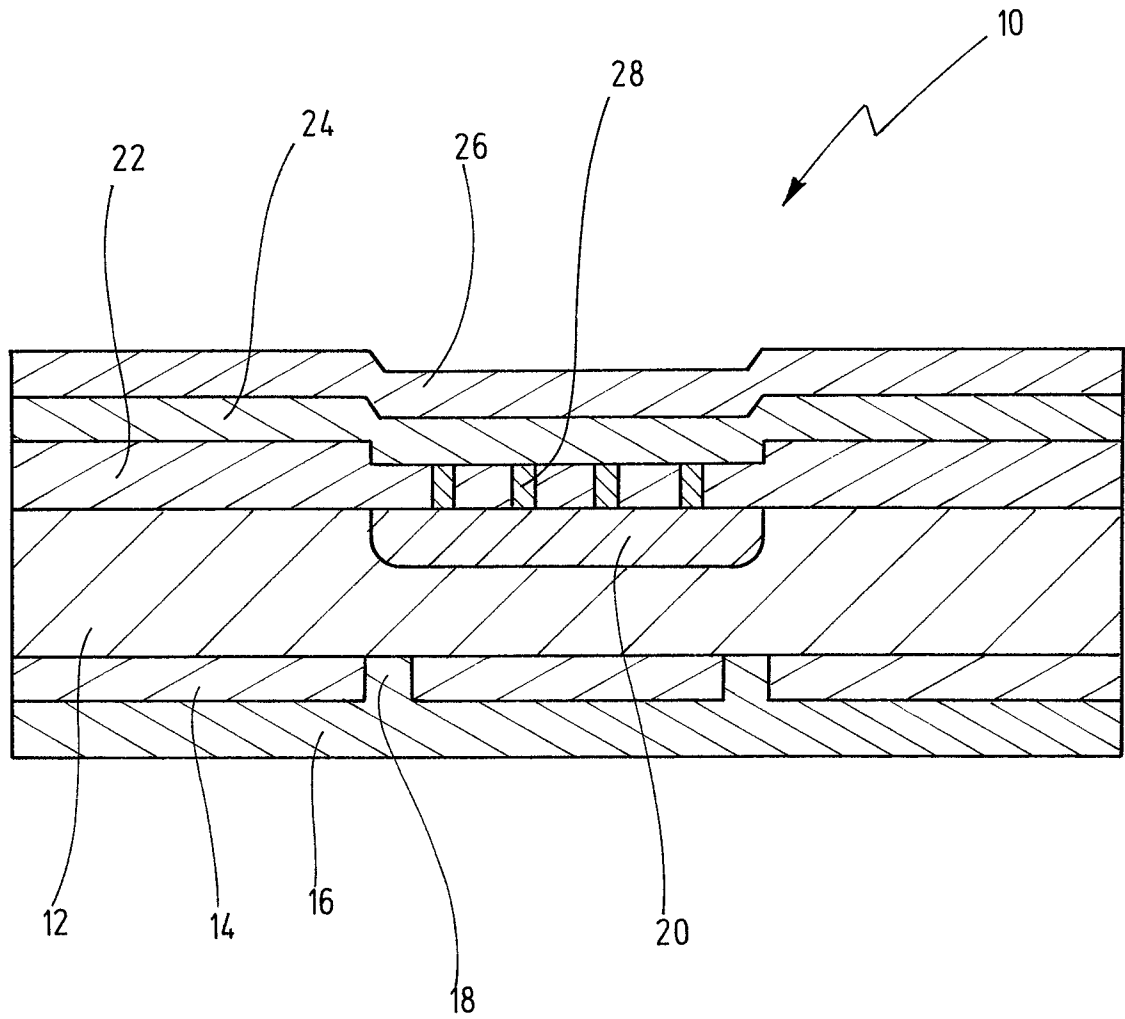


Fig. 1

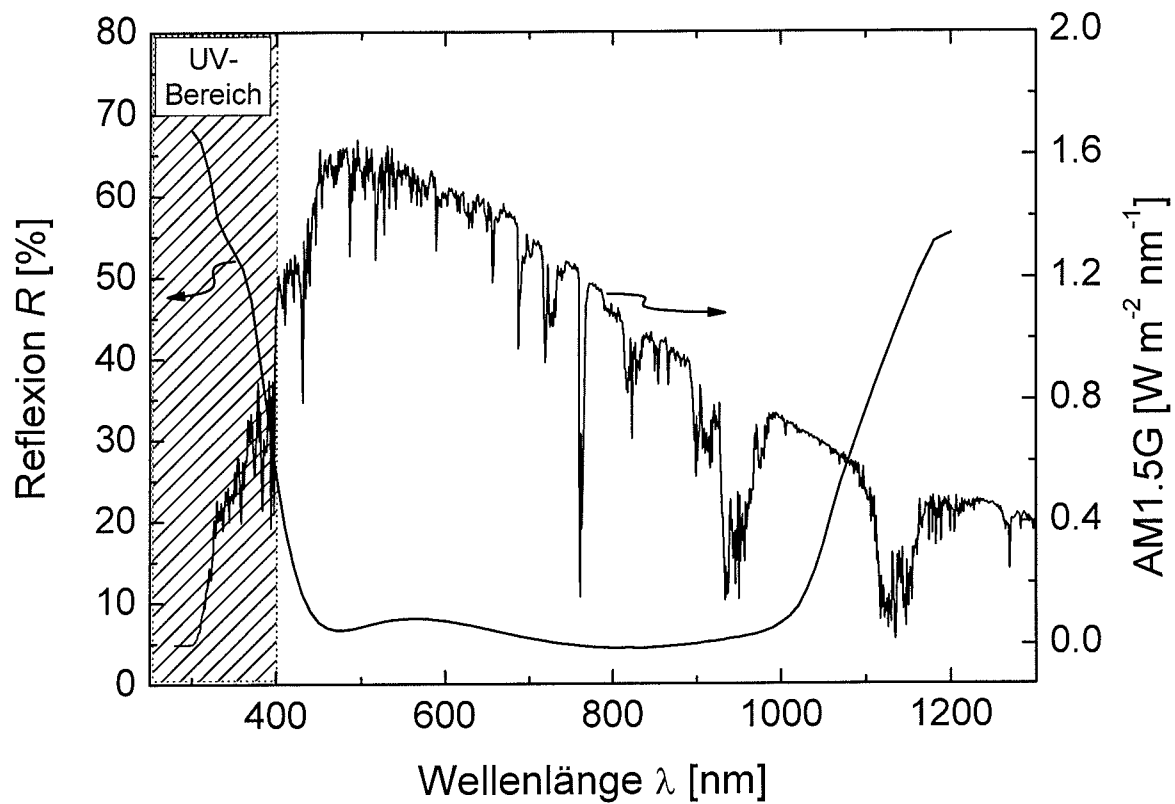


Fig. 2

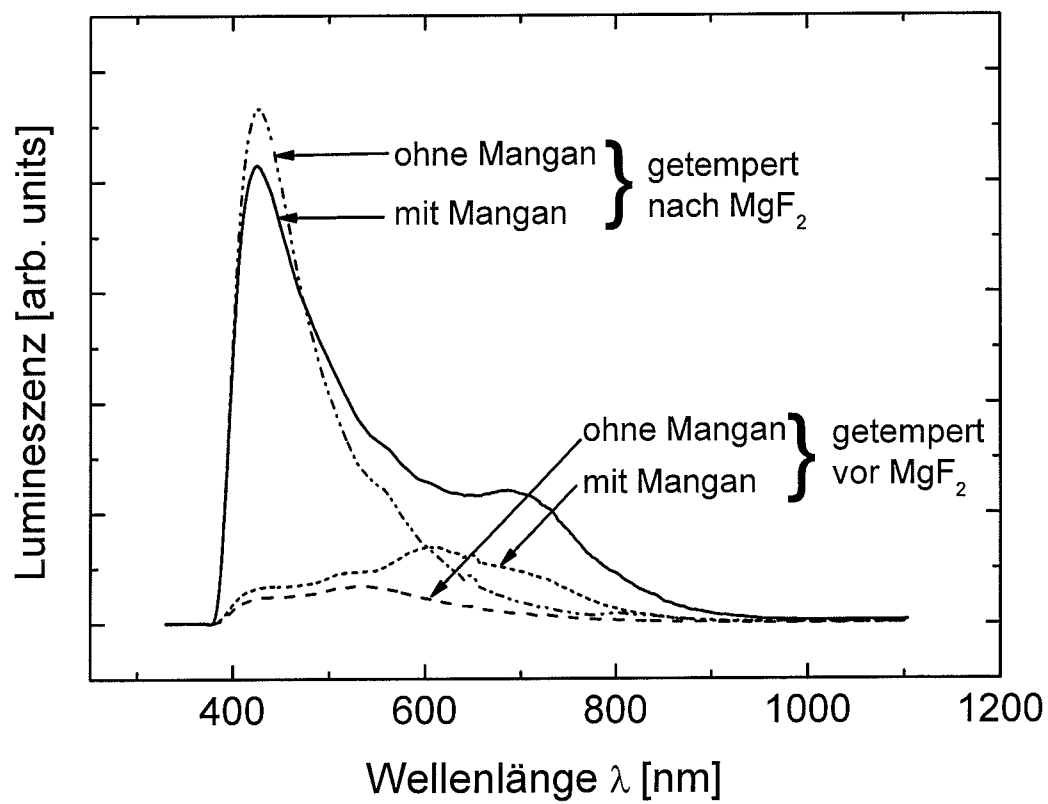


Fig. 3

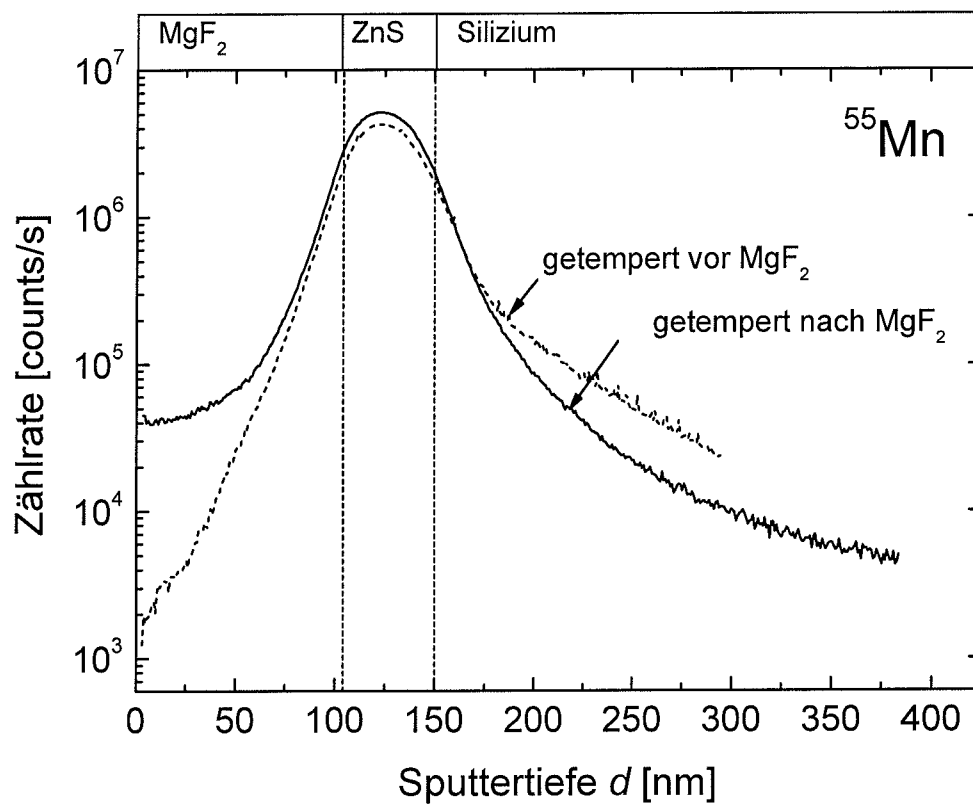


Fig. 4

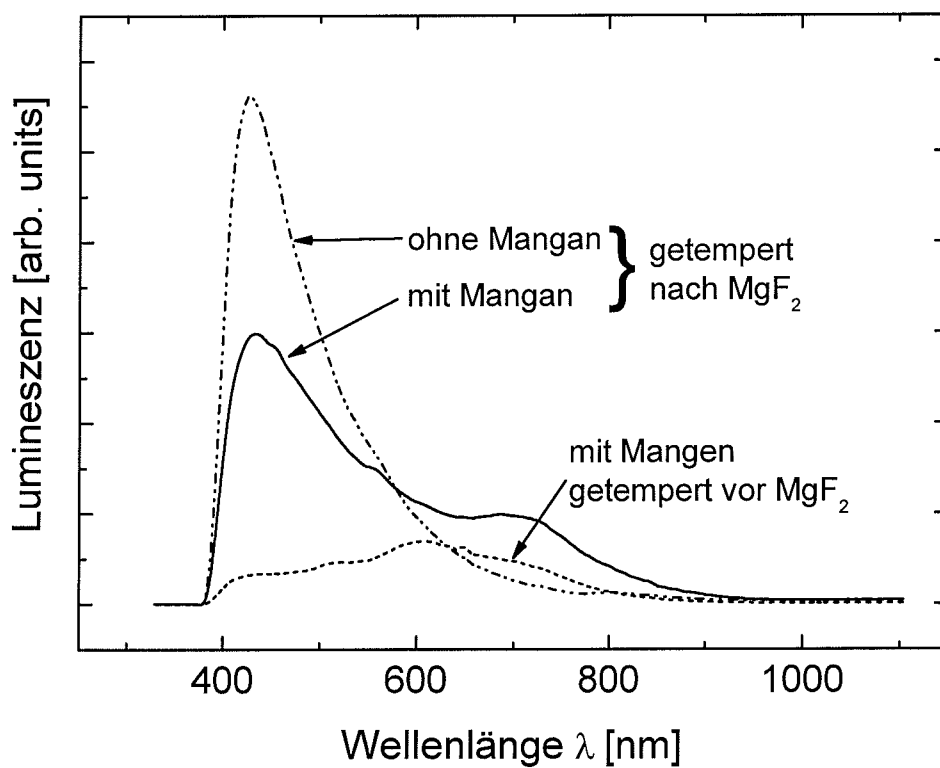


Fig. 5

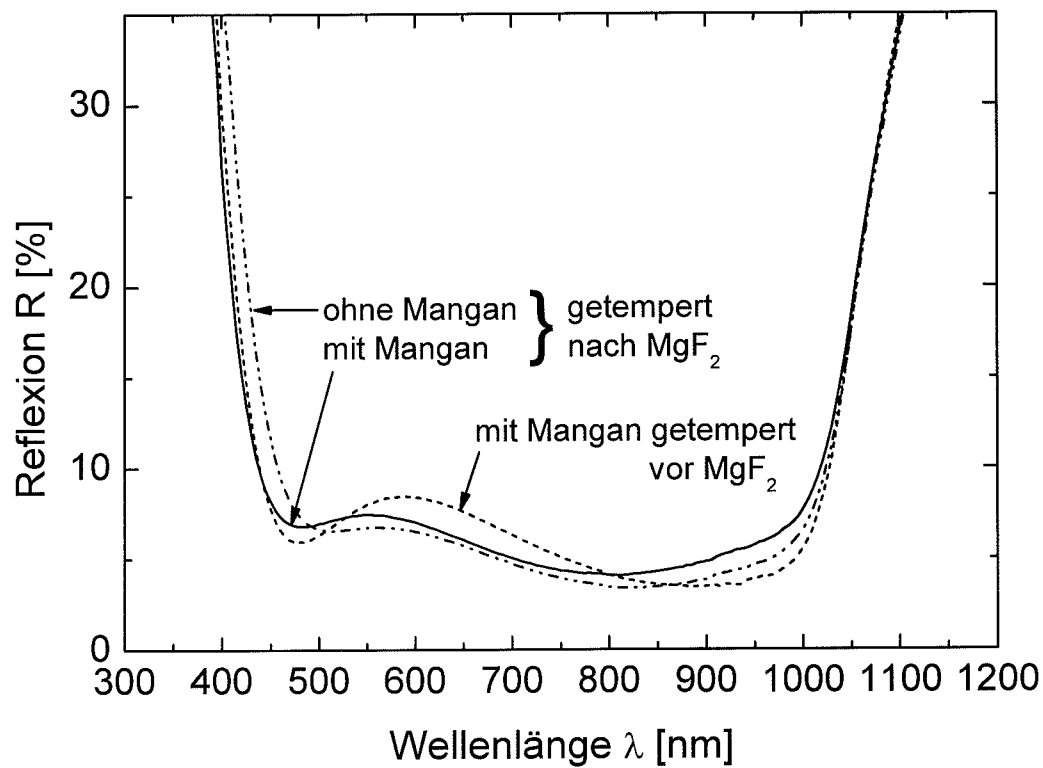


Fig. 6

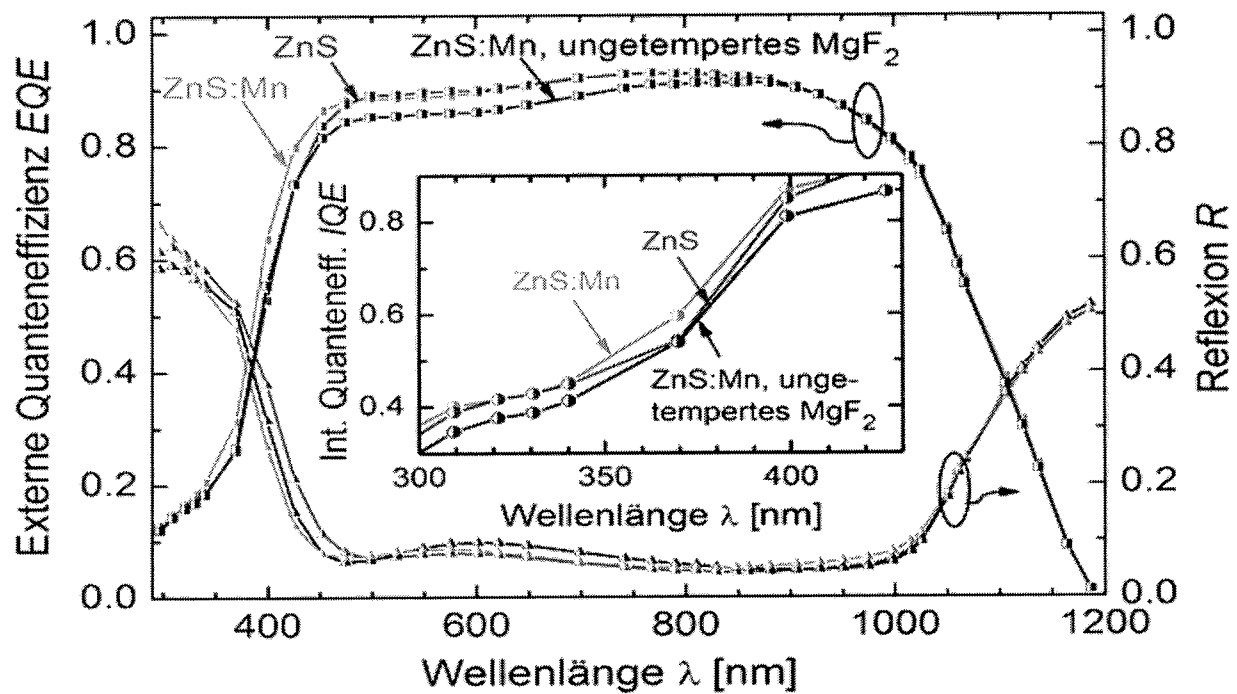


Fig. 7