

Titel: „Verfahren zur Herstellung einer Schutzschicht auf einer optischen Komponente und optische Komponente mit einer solchen Schutzschicht“

Autor/en: Dr. Rudolf Schmid, Matthias Michael Welte,
Robert Langer, Thomas Fiedler, Dr. Nicolai Künzner

Unternehmenseinheit: Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG

Einleitung

Der vorliegende technische Lösungsvorschlag betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Schutzschicht auf einer Oberfläche einer optischen Komponente, um diese vor Beeinträchtigungen bzw. Beschädigungen durch Umwelteinflüsse zu schützen.

Problem

Es ist bekannt, optische Bauteile, nachfolgend auch optische Komponenten genannt, mit optischen Vergütungsschichten zu versehen. Solche optischen Vergütungsschichten werden vorwiegend dazu eingesetzt, um die Reflexion von optischen Oberflächen optischer Komponenten zu unterdrücken und die Transmission zu erhöhen.

Aufgrund von Umwelteinflüssen sowohl medialer – z. B. salzwasserhaltige Umgebung, Luftfeuchte – als auch physikalischer – z. B. Steinschlag, Erosion durch Sand- oder Staubpartikel – Art kann es zu massiven Beschädigungen an Oberflächen von optischen Komponenten bzw. falls diese von einer Vergütungsschicht gebildet werden, an der Oberfläche von dieser kommen. Die Vergütungsschichten können sich im schlimmsten Fall bis zur völligen Auflösung destabilisieren infolge elektrochemischer Korrosion und/oder Abrasion der Beschichtungsmaterialien der optischen Vergütungsschicht. Hierdurch wird die Funktion einer optischen Komponente beeinträchtigt bzw. unter Umständen komplett vernichtet.

Bisherige Lösungsansätze

Aus dem Stand der Technik ist es zum Schutz einer optischen Komponente an sich und/oder ihrer Vergütungsschicht bekannt, diese beispielsweise abzudecken, damit keine Beschädigungen an der Oberfläche auftreten. Die DE 198 47 218 A1 schlägt zum Schutz eines Fensters, auch Dom genannt, eines Flugkörpers vor, vor diesem eine verschiebbare Abdeckung mit einer Öffnung vorzusehen. Diese Öffnung wird dann einer optischen Achse einer hinter dem Dom befindlichen verschwenkbaren Suchkopfoptik nachgeführt, so dass immer nur der Teil des Doms Umwelteinflüssen ausgesetzt ist, der zur Erfassung eines

Gesichtsfelds durch die Suchkopfoptik benötigt wird. Zwar wird dadurch eventuell die durchschnittliche Lebensdauer des Doms an sich erhöht, dennoch kann trotz kostspieliger, aufwändig ansteuerbarer Abdeckung nicht zuverlässig eine Beschädigung des Doms und damit eine beeinträchtigte Funktion des Doms und somit des Flugkörpers ausgeschlossen werden. In der DE 199 53 701 A1 wird eine Art indirekte Abdeckung in Form eines mit einem Spike mit Aufsatz versehenen Doms für einen Flugkörper vorgeschlagen. Durch diesen Spike kann die Wirkung der Luftströmung auf den Dom und damit beispielsweise Erosion durch Sand- oder Staubpartikel reduziert werden, gleichzeitig ist aber durch den Spike die Erfassbarkeit einer Objektszene durch eine Suchkopfoptik beeinträchtigt, da zumindest an der Befestigungsstelle des Spikes am Dom ein „blinder“ Fleck existiert.

Weiterhin ist es bekannt, optischen Komponenten durch Aufbringen einer Hydrophobierungsschicht auf ihrer Oberfläche, welche durch eine äußere Vergütungsschicht gebildet sein kann, zumindest eine gewisse Resistenz gegenüber wässrigen Medien zu verleihen, z. B. bei regelmäßiger Beaufschlagung der optischen Komponente bzw. ihrer Vergütungsschicht mit Tau während ihrer Lagerung oder ihrem Einsatz. Bei den Hydrophobierungsschichten kann es sich um Schichten aus monomeren Belägen aus Fluoralkanen oder Silanen handeln. Nachteilig an diesen Schichten ist, dass sie bereits nach einmaliger Verwendung oder im Gebrauch mit der Zeit ihre positiven Eigenschaften verlieren, wodurch die optischen Komponenten ihren Schutz an der Oberfläche einbüßen und unbrauchbar werden können.

Lösung / Umsetzung

Aufgabe des Lösungsvorschlages ist es, eine Schutzschicht und ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Schutzschicht anzugeben, mit welcher die Oberfläche einer optischen Komponente mit oder ohne äußerer Vergütungsschicht – vor umweltbedingten Beeinträchtigungen geschützt ist, ohne die optischen Eigenschaften der optischen Komponente wesentlich zu beeinträchtigen.

Der technische Lösungsvorschlag sieht hierfür vor, eine Oberfläche einer optischen Komponente mit einer Schutzschicht aus einem polymeren, organischen Material zu versehen, welches insbesondere eine hohe chemische Beständigkeit aufweist.

Der technische Lösungsvorschlag geht von der Erkenntnis aus, dass viele optische Komponenten mit einer äußeren Vergütungsschicht aus DLC („diamond-like carbon“), also aus einem diamantähnlichen amorphen Kohlenstoff, versehen sind, welche sich durch extreme Härte und optische Transparenz auszeichnet. Wird nun ein organisches, polymeres Material auf einer DLC-Schicht aufgebracht, findet eine Polymerisation statt, wodurch mikroskopische Oberflächendefekte, Poren und etwaige Risse der Vergütungsschicht versiegelbar sind und die empfindliche Oberfläche der Vergütungsschicht elektrochemisch gegenüber der Umwelt abgeschirmt und damit geschützt wird.

Bei dem organischen, polymeren Material handelt es sich geschickterweise um ein plasmaverarbeitbares Beschichtungsmaterial. Mittels eines plasmabasierten Beschichtungsprozesses ist es möglich, Schutzschichten definierter Schichtdicke aufzubringen. Insbesondere ist es möglich, sehr dünne Schichten, d.h. Schichten kleiner 5 µm, bevorzugt kleiner 3 µm, besonders bevorzugt kleiner 1,5 µm aufzubringen. Durch derart dünne Schichten ist eine Beeinträchtigung der optischen Eigenschaften der optischen Komponente durch die Schutzschicht nahezu auszuschließen bzw. sehr gering.

Praktischerweise wird das polymere, organische Material mittels eines CVD-Plasmaprozesses („chemical vapor deposition“) auf der Oberfläche der optischen Komponente aufgebracht. Die chemische Gasphasenabscheidung zeichnet sich – insbesondere auch gegenüber physikalischen Beschichtungsverfahren – dadurch aus, dass nicht nur besonders konforme Schichtdicken abscheidbar sind, sondern auch komplex geformte Oberflächen beschichtbar sind. Mittels dieses Beschichtungsverfahrens können somit insbesondere auch Risse in optischen Komponenten oder in deren Vergütungsschichten beschichtet oder aufgefüllt werden, da diese als eine komplex geformte Oberfläche angesehen werden können. Dieses Beschichtungsverfahren erlaubt es also, eine geometrieunabhängige Beschichtung aufzubringen. Bei Bedarf kann nicht nur eine Oberfläche einer optischen Komponente, sondern bspw. auch deren Halterung oder Teile davon beschichtet werden. Durch Vorsehen einer entsprechenden Maskierung können nicht zu beschichtende Teile einer optischen Komponente oder ihrer Halterung von einer solchen Schutzschicht ausgenommen werden. Eine Beschichtung von Klebestellen oder anderer Vergütungsschichten etc. kann nach Wunsch vermieden werden. Zur Maskierung bietet sich beispielsweise das Abkleben mit einer Folie an, welche bedarfsgerecht zugeschnitten sein kann. Nach erfolgtem Beschichtungsvorgang kann dann die Folie auf einfache Weise durch Abziehen wieder entfernt werden.

Nach der Beschichtung der optischen Komponente mit dem polymeren, organischen Material kann sich in einer vorteilhaften Variante ein Verfahrensschritt anschließen, in welchem ein Schichtabtrag der Schutzschicht bis zu einer gewünschten Schichtdicke der Schutzschicht erfolgt. Hierdurch ist es möglich, die Schutzschicht so weit zu reduzieren, bis keine wesentliche Verschlechterung der optischen Komponente bzw. kaum bis keine Verschlechterung der optischen Komponente mehr im Vergleich zum unbeschichteten Zustand vorliegt, d.h. durch entsprechende Messungen nachweisbar ist. Dadurch bleiben insbesondere Oberflächendefekte, Poren, Rissanfangszentren oder Risse in einer Vergütungsschicht oder der optischen Komponente selbst durch die Schutzschicht nach wie vor versiegelt, ohne jedoch die optischen Eigenschaften der optischen Komponente maßgeblich zu beeinflussen.

Bevorzugt umfasst dieser Verfahrensschritt des Schichtabtrags zur Reduktion auf eine gewünschte Schichtdicke – so wie auch der vorangegangene Verfahrensschritt der Beschichtung – eine Plasmabehandlung der optischen Komponente. Hierdurch ist ein besonders gezielter und gut regulierbarer Schichtabtrag möglich. Je nach Bedarf ist also

nicht nur nachträglich eine Änderung der Schichtdicke möglich, sondern es ist sogar möglich, diese Schicht in Bereichen intakter oder defektunanfälliger Oberflächen der optischen Komponente bzw. ihrer Vergütungsschicht komplett zu entfernen. Auch bei diesem Verfahrensschritt kann es zweckmäßig sein, Bereiche der optischen Komponente und gegebenenfalls ihrer Halterung zu maskieren, wenn an diesen Bereichen kein Schichtabtrag erfolgen soll.

Praktischerweise kommt bei dem Verfahrensschritt des Schichtabtrags ein Tetrafluormethan-Niederdruck-Plasmaprozess zum Einsatz. Durch das Prozessgas Tetrafluormethan kann das zu ätzende, organische Material in die Gasphase überführt werden. Durch Nachführen frischen Prozessgases und Abführen des angereicherten Prozessgases ist ein kontinuierlicher Materialabtrag bzw. eine Schichtdickenreduktion möglich, welche im Nanometerbereich liegt. Dadurch können „Rest“-Schichtdicken im Bereich von 1,5 µm oder darunter realisiert werden, die kaum Beeinflussungen der optischen Eigenschaften der optischen Komponente bewirken.

Vorteilhafterweise werden Parylene als organisches, polymeres Material verwendet. Bei Parylenen handelt es sich um eine Gruppe inerter, hydrophober, optisch transparenter, polymerer Beschichtungsmaterialien. Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sich Parylene besonders zur Herstellung einer Schutzschicht für optische Komponenten. Parylene lassen sich als Beschichtung im Vakuum durch Kondensation aus der Gasphase als transparenter und porenfreier Polymerfilm auftragen.

Besonders vorteilhaft an dem vorgeschlagenen Verfahren ist, dass es auch bei bereits verwendeten optischen Komponenten, die ursprünglich keine solche Schutzschicht oder länger mit einer solchen Schutzschicht im Einsatz waren, zur – gegebenenfalls erneuten – Anwendung kommen kann. Hierdurch können Systeme oder Baugruppen mit optischen Komponenten hinsichtlich ihrer Lebensdauer verbessert bzw. nach längerem Einsatz einer Reparatur unterzogen und erneut verwendet werden. Das Verfahren kann also nach Bedarf mehrfach eingesetzt werden. Zur Durchführung einer Reparatur wird insbesondere vorgeschlagen, dass die Schutzschicht bzw. Reste der Schutzschicht von der gebrauchten optischen Komponente entfernt werden, insbesondere durch eine wie zuvor beschriebene Plasmabehandlung, bevor ein erneuter Auftrag einer Schutzschicht entsprechend einem oder mehreren der zuvor beschriebenen Verfahrensschritte erfolgt.

Es hat sich herausgestellt, dass sich das vorgeschlagene Verfahren insbesondere für optische Bauteile, die für IR-Strahlung in einem großen Wellenlängenbereich durchgängig sein müssen, eignet. Die Beständigkeit der empfindlichen optischen Vergütungsschichten derartiger optischer Komponenten kann durch das Verfahren maßgeblich verbessert werden, ohne dass dabei jedoch die zumeist strengen, vorgegebenen Anforderungen an die optischen Eigenschaften des optischen Bauteils so weit verschlechtert würden, dass das optische Bauteil seine Funktion nicht mehr erfüllen könnte. Je nach optischer Komponente ist es sogar möglich, deren optische Qualität durch das Verfahren gegenüber dem Zustand

vor dem Verfahren infolge reduzierter Streuung an Oberflächendefekten und infolge Schichtdickenanpassung an die Wellenlänge zu verbessern.

Ausführungsbeispiel

Um eine Dombaugruppe für einen Lenkflugkörper vor negativen Umwelteinflüssen zu schützen, wird die äußere Oberfläche der Dombaugruppe, umfassend einen Dom und einen Dom-Haltering, mit einer Schutzschicht aus dem organischen, polymeren Material Parylene C, beschichtet. Bevor das Parylene C mittels eines CVD-Prozesses abgeschieden wird, wird jedoch die Innenseite des Domes durch eine Maskierung mit einer Kaptonfolie vor einer ungewollten Beschichtung geschützt. Die Außenoberfläche des Doms, die durch eine Vergütungsschicht in Form einer DLC-Schicht gebildet wird, weist Mikroporen auf, die teilweise bis zu den darunterliegenden Germaniumschichten des Doms an sich, offen sein und damit Ausgangszentren für größere Defekte bei negativen Umwelteinflüssen, wie Taubeschlag, bilden können. Beispielsweise kann es bei längerer Lagerung oder Gebrauch zu Blasenbildung und einem Abplatzen der Vergütungsschicht kommen, sodass das empfindliche Dommaterial Germanium selbst negativen Umwelteinflüssen ausgesetzt ist. Um dies zu vermeiden wird eine Schutzschicht aus Parylene C in einer Dicke von 3 µm auf der Außenoberfläche des Doms abgeschieden. Anschließend erfolgt ein Rückätzprozess in einem Tetrafluormethan-Niederdruckplasma auf eine Schichtdicke von 0,6 µm. Dadurch bildet die Parylene C-Schutzschicht eine Barriere, die nur zu einer geringfügigen Reduktion im Bereich von 1 – 2 % der optischen Transmission des Doms gegenüber dem unbeschichteten Dom führt. Durch den Ätzschritt bleiben die Mikroporen in der DLC-Schicht nach wie vor durch die Parylene C-Schicht gefüllt bzw. versiegelt, die restliche Oberfläche des Doms wird aufgrund der reduzierten Schichtdicke der Parylene C-Schicht weniger optisch beeinflusst.