

Outsmarting Mother Nature Der Natur ein Schnippchen geschlagen

For four decades, Zerodur® glass ceramic has been offering the highest possible precision.
Seit vier Jahrzehnten bietet Zerodur® Glaskeramik höchste Präzision.



Photo | Foto: ESO

GERHARD SAMULAT

Forty years ago, a new material was born: a glass ceramic with the brand name Zerodur®. Its name also happens to be its motto. A team of developers at SCHOTT headed by Dr. Jürgen Petzoldt, an expert on materials and physicist, succeeded in producing a material with a coefficient of expansion close to zero using rather clever process technology. In doing so, the experts who work for the company based in Mainz basically outsmarted Mother Nature, because all known materials usually expand when they are subjected to heat and shrink at low temperatures. This is not the case with the Zerodur® glass ceramic, however. Shifts in temperature hardly have any effect on it and it always remains in its current shape.

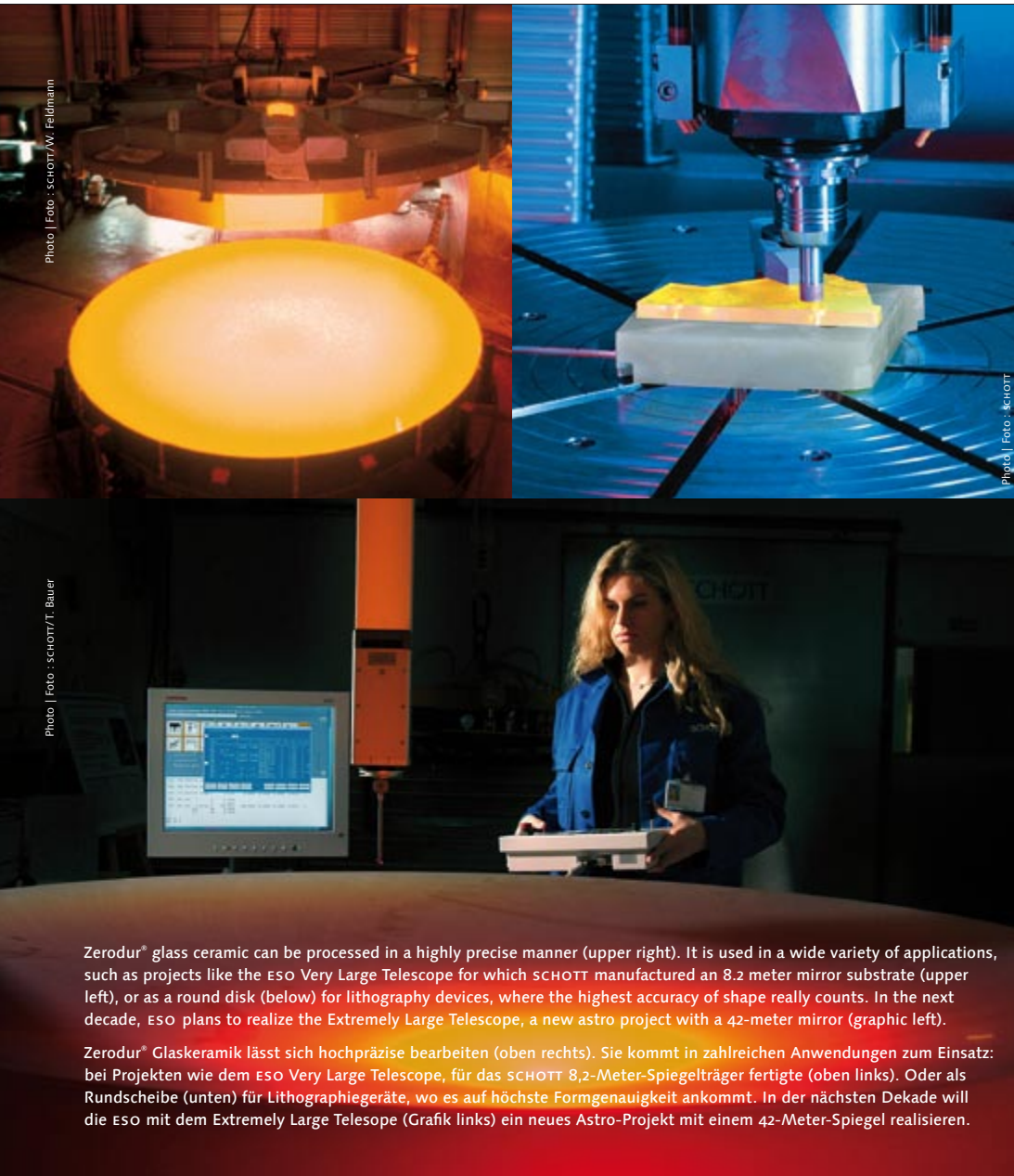
The secret lies in the well-balanced mixture of crystallites 30 to 50 nanometer in size embedded inside a glass matrix of lithium, aluminum and silicon oxides. Long before the buzz word

Vor vierzig Jahren kam ein neuer Stoff auf die Welt: eine Glaskeramik mit dem Markennamen Zerodur®. Der Name ist Programm: Einem SCHOTT Entwicklerteam um den Werkstoffspezialisten und Physiker Dr. Jürgen Petzoldt gelang es durch findige Prozesstechnik, ein Material herzustellen, dessen Ausdehnungskoeffizient nahezu Null ist. Damit überlisteten die Experten des Mainzer Unternehmens gewissermaßen die Natur: denn normalerweise dehnen sich alle Stoffe bei Wärme aus und schrumpfen bei Kälte. Bei Zerodur® Glaskeramik

ist das anders: Temperaturschwankungen machen ihr kaum etwas aus; stets bleibt sie in hohem Maße formstabil.

Das Geheimnis liegt in der ausgewogenen Mischung von 30 bis 50 Nanometer großen Kristalliten, die in eine Glasmatrix aus Lithium-, Aluminium- und Siliziumoxiden eingebettet sind. Lange bevor das Modewort „Nanotechnologie“ also überhaupt in aller Munde war, hat SCHOTT mit dieser Technik bereits gearbeitet.

Wegen seiner vorzüglichen Materialeigenschaften – er ist isotrop, homogen und zudem hervorragend polierbar –



Zerodur® glass ceramic can be processed in a highly precise manner (upper right). It is used in a wide variety of applications, such as projects like the ESO Very Large Telescope for which SCHOTT manufactured an 8.2 meter mirror substrate (upper left), or as a round disk (below) for lithography devices, where the highest accuracy of shape really counts. In the next decade, ESO plans to realize the Extremely Large Telescope, a new astro project with a 42-meter mirror (graphic left).

Zerodur® Glaskeramik lässt sich hochpräzise bearbeiten (oben rechts). Sie kommt in zahlreichen Anwendungen zum Einsatz: bei Projekten wie dem ESO Very Large Telescope, für das SCHOTT 8,2-Meter-Spiegelträger fertigte (oben links). Oder als Rundscheibe (unten) für Lithographiegeräte, wo es auf höchste Formgenauigkeit ankommt. In der nächsten Dekade will die ESO mit dem Extremely Large Telescope (Grafik links) ein neues Astro-Projekt mit einem 42-Meter-Spiegel realisieren.

“nanotechnology” became popular, SCHOTT had already been using this technique.

Due to its excellent material characteristics – it is isotropic, homogeneous and can be polished rather easily – this material is in great demand with many applications. It mainly leverages its strengths in areas where the highest possible precision is important, optics, for example, where light and shadow lie only a wavelength apart. Oftentimes, this is only a matter of a few thousandths of micrometers.

But, what led to the development of this unique material? Well, it is hardly surprising to learn that it was science, astronomy, to be more specific. In the nineteen sixties, Germany was faced with the prospect of falling behind the international competition in this field. For this reason, the observatory at the University of Heidelberg contacted SCHOTT and asked the

ist der Werkstoff bei vielen Anwendungen begehrt. Seine Stärken spielt er insbesondere dort aus, wo höchste Präzision gefragt ist: In der Optik beispielsweise, wo Licht und Schatten nur eine Wellenlänge auseinander liegen. Da geht es oft um Bruchteile von Tausendstel Millimetern.

Den Anstoß für die Entwicklung dieses einzigartigen Materials gab – wem wundert’s? – die Wissenschaft, genauer gesagt: die Astronomie. In den 1960er Jahren drohte Deutschland auf diesem Gebiet den internationalen Anschluss zu verlieren. Des-

halb trat das Observatorium der Universität Heidelberg an SCHOTT heran und bat, einen Spiegelträger für ein großes Teleskop zu entwickeln. Nach eingehenden Tests gab die Arbeitsgruppe um Petzoldt grünes Licht, und SCHOTT erhielt im November 1968 vom Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie, das infolge dieser Diskussionen gegründet wurde, den Auftrag.

Bis zum fertigen Instrument war es aber noch ein weiter Weg: Nahezu 150 Fachkräfte arbeiteten gut neun Jahre lang, bis das Herzstück des ersten großen deutschen Teleskops fertig war: ein rekordverdächtiger Spiegelträger mit einem Durchmesser von über 3,6 Metern und knapp 60 Zentimetern Dicke. „Wir waren alle sehr stolz auf unsere Teamleistung, wie sie damals in den 1960er Jahren durchaus nicht üblich war“, betont Petzoldt, der dem Vorstand von SCHOTT angehörte und dort unter anderem für Forschung und Entwicklung zuständig war.

Doch die Mühen haben sich gelohnt: Noch heute leistet das Instrument erstklassige Dienste. Mit seiner Hilfe entdeckten die Astronomen der Max-Planck-Gesellschaft beispielsweise das bislang größte schwarze Loch. Dieses alles verschlingende galaktische Ungetüm, dem noch nicht einmal das Licht entfliehen kann, befindet sich in 3,5 Milliarden Lichtjahren Entfernung von der Erde im Sternbild Krebs und ist nach Berechnungen der Astronomen rund 18 Milliarden Mal schwerer als unsere Sonne.

Kein Wunder also, dass nach dieser Erfolgsgeschichte viele weitere Sternwarten bei SCHOTT anklopften. Heute bestehen die Hauptkomponenten nahezu aller bedeutenden Spiegelteleskope weltweit aus Zerodur® Glaskeramik. Das gilt für das Herzstück des größten Spiegelteleskops der Welt, des Gran Telescopio Grantecan auf der Kanareninsel La Palma, und für die beiden 10-Meter-KECK-Teleskope >

company to develop a mirror substrate for a large telescope. Following extensive tests, Petzoldt and his group gave the go-ahead. Then, in November of 1968, SCHOTT received the order from the Max Planck Institute for Astronomy in Heidelberg that had been founded as a result of these discussions.

Nevertheless, they still had a long way to go before completing the final instrument. Nearly 150 specially-trained employees worked for nearly nine years before the heart piece for Germany's first large telescope was finished: what looked to be a record-breaking mirror substrate with a diameter of over 3.6 meters that was nearly 60 centimeters thick. "We were all very proud of our team's achievement, definitely something very special back in the 1960s," Petzoldt notes. Later, he became a member of the Board at SCHOTT and was responsible for research and development, among other areas.

Nevertheless, the efforts certainly paid off. This instrument is still delivering first class results even today. With its help, the astronomers of the Max Planck Society were able to discover the largest black hole ever found. This galactic monster that is capable of swallowing everything that not even light can escape is located 3.5 billion light years away from the earth in the constellation of Cancer. According to the astronomer's calculations, it is around 18 billion times heavier than our sun.

No wonder that many other observatories knocked on the door at SCHOTT following this success story. Today, the main components of nearly all of the world's important optical telescopes are made of the Zerodur® glass ceramic. This also applies for the heart piece of the world's largest reflector telescope, the Gran Telescopio Grantecan on the Canary Island of La Palma, as well as the two 10 m KECK Telescopes on Hawaii and the Big Bear Solar Telescope in the U.S. state of California or the flying observatory SOFIA on board a jumbo jet from the German Aerospace Center and NASA.

In the area of aerospace, the fact that this material can be easily processed using grinding techniques truly pays off. By milling out material on the backside of the mirror substrates, SCHOTT engineers are able to produce ultra-light mirror substrates that still remain extremely stable. If necessary, Zerodur® glass ceramic can even be etched into millimeter-thin structures to form delicate satellite optics.

Fit for a variety of applications

Even for the large telescopes of the future, there will hardly be any alternatives. For example, the United States and Canada are planning to work together to build a telescope with a 30-meter diameter, and the European Southern Observatory ESO is even planning one that spans 42 meters. Several hundred segmented mirrors will be needed and SCHOTT is capable of mass producing them.

Nevertheless, Zerodur® is not only designed to provide a clear view of outer space. It is also suited for a number of down-



Photo | Foto: SCHOTT/S. Oelster

An electronic measurement device feels for the geometry of the Zerodur® glass ceramic surface (above). A glass ceramic disk 4.25 meters in diameter serves as the heart of the world's most precise ring laser gyroscope at the Fundamental Station Wettzell, Germany. Four additional Zerodur® bars extend the surface that is closed in by laser beams that face in opposite directions to 4x4 square meters (below right).

Ein elektronisches Messgerät ertastet die Geometrie der Zerodur® Glaskeramik-Oberfläche (oben). Herzstück des präzisen Ringlaserkreisels der Welt in der Fundamentalstation Wettzell, Deutschland, ist eine 4,25 Meter durchmessende Glaskeramikscheibe. Vier zusätzliche Zerodur® Balken erweitern die von gegenläufigen Laserstrahlen umschlossene Fläche auf 4x4 Quadratmeter (rechts unten).

in Hawaii. Außerdem für das Big-Bear-Sonnenteleskop im US-Bundesstaat Kalifornien und für die fliegende Sternwarte SOFIA, die sich an Bord eines Jumbojets des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der NASA befindet.

In der Luft- und Raumfahrt zahlt sich aus, dass sich das Material gut per Schleifprozess bearbeiten lässt. Durch Abtragen von Material auf den Rückseiten der Spiegelträger gelingt es den SCHOTT Ingenieuren, superleichte Spiegelsubstrate herzustellen, die dennoch hochgradig stabil sind. Bei Bedarf lässt sich Zerodur® sogar zu

millimeterdünnen Strukturen ätzen, was filigrane Satellitenoptiken ermöglicht.

Fit für vielfältigen Einsatz

Auch für künftige Großteleskope wird es daher kaum Alternativen geben. So planen die Vereinigten Staaten zusammen mit Kanada ein Teleskop mit 30 Metern Durchmesser, und die europäische Südsternwarte ESO sogar eines mit 42 Metern. Für beide sind einige hundert segmentierte Spiegel vorgesehen, für die SCHOTT die Massenproduktion übernehmen könnte.

to-earth applications. Here, the optics are always the common denominator. For example, the Federal Agency for Cartography and Geodesy and the Research Group Satellite Geodesy use a ring-shaped laser that stands on top of a huge glass ceramic support structure to precisely measure the earth's rotation. This is extremely important for the navigation of ships, airplanes, cars and satellites.

Precision is also a top priority, when it comes to manufacturing semiconductor chips. The sizes of the structures on the silicon wafers continue to shrink to only a few nanometers or millionths of millimeters. To expose the wafer, light that has the right type of short wavelength is needed. There are no more transmitting materials that can do this, however, and lenses are therefore out of the question. For this reason, the semiconductor industry has been increasingly working with mirror systems, just as astronomers have been doing for years. Here, too, the product that SCHOTT offers happens to be one material of choice, due to its dimensional stability. After all, even the smallest defect on a mask multiplies itself by millions of times during mass production of computer components.

LCD (Liquid Crystal Display) flat screen monitors for televisions, laptops and cell phones are manufactured in a similar fashion as computer chips. After all, they also consist of thousands or even millions of circuits that produce color schemes. For this reason, many leading vendors are switching over to producing their liquid crystal display screens with mirror optics made of Zerodur®.

The sky is the limit, when it comes to the possibilities. For instance, SCHOTT project manager, Dr. Thorsten Döhring, is already focusing on other industries. "The growing pressure to increase the precision of manufacturing accelerates the demand for Zerodur® components in fine mechanics and measurement technology," he is convinced. It seems that the next chapters of the success story on this glass ceramic are already pre-programmed.

<|
thorsten.doehring@schott.com

Doch eignet sich Zerodur® Glaskeramik nicht nur für den scharfen Blick ins All. Es gibt ebenso überaus bodenständige Anwendungsgebiete. Das verbindende Element ist stets die Optik. Mit einem ringförmigen Laser, der auf einer massiven glaskeramischen Trägerstruktur steht, misst beispielsweise das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie zusammen mit der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie hochpräzise die Drehbewegung der Erde. Das ist äußerst wichtig für die Navigation von Schiffen, Flugzeugen, Autos oder Satelliten.

Exaktheit ist auch bei der Herstellung von Halbleiterchips oberste Priorität. Die Strukturgrößen auf den Siliciumscheiben schrumpfen zunehmend auf wenige Nanometer – Millionstel Millimeter. Zum Belichten der so genannten Wafer wird Licht entsprechend kleiner Wellenlänge benötigt. Dafür gibt es aber keine transmittierenden Materialien mehr und Linsen fallen somit weg. Deswegen arbeitet die Halbleiterindustrie zunehmend mit Spiegelsystemen – so wie es Astronomen bereits seit Jahren tun. Auch hier ist der Werkstoff

von SCHOTT wegen seiner Formstabilität ein Material der Wahl. Denn der kleinste Fehler auf einem Muster vervielfältigt sich millionenfach in der Massenproduktion von Computerbauteilen.

LCD-(Liquid Crystal Display-) Flachbildschirme für Fernseher, Laptops oder Mobiltelefone werden heute auf ähnliche Weise hergestellt wie Computerchips; bestehen sie doch ebenso aus Tausenden oder gar Millionen von Schaltkreisen für die Farbgestaltung. Aus diesem Grund gehen viele bedeutende Anbieter dazu über, ihre Flüssigkristallbildschirme ebenfalls mit Zerodur® Spiegeloptiken herzustellen.

Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt. So visiert SCHOTT Projektmanager Dr. Thorsten Döhring schon weitere Branchen an: „Der zunehmende Druck, immer exakter fertigen zu müssen, lässt den Bedarf an Zerodur® Komponenten in der Feinmechanik und der Messtechnik steigen“, versichert er. Die nächsten Kapitel der Erfolgsgeschichte der Glaskeramik scheinen vorprogrammiert.

<|
thorsten.doehring@schott.com

