

70 Filters for Producing a 3-D Map of the Universe

Mit 70 Filtern zur 3D-Karte des Universums



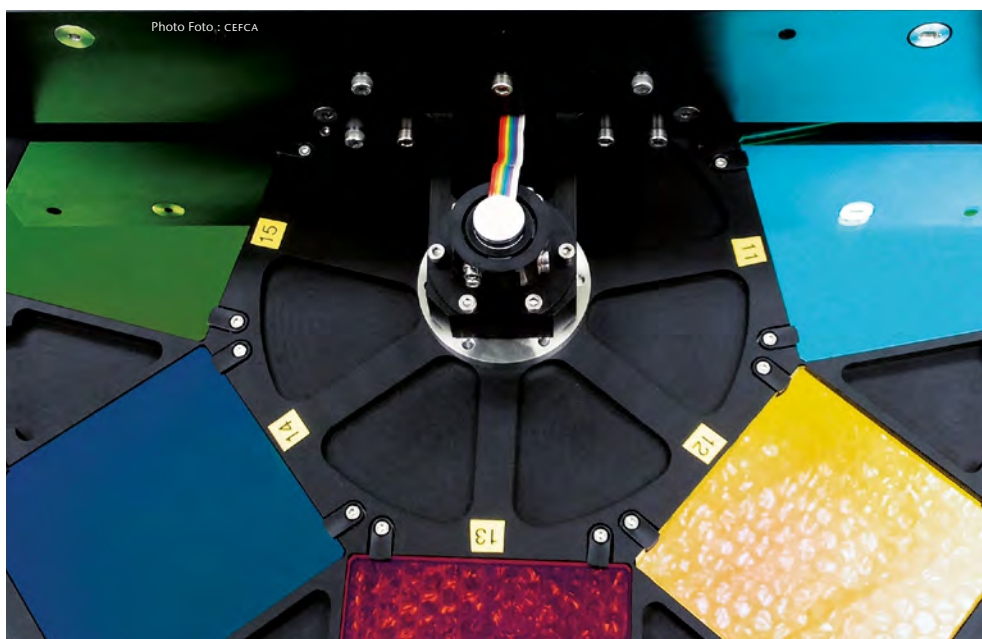
The Javalambre Telescopes in Teruel, Spain, will make it possible for the first time ever to track the positions of hundreds of millions of galaxies and how they develop. SCHOTT has provided several sets of steep-edge and narrow-band bandpass filters that will allow for the narrow wavelength ranges of starlight to be analyzed.

Mit den Javalambre-Teleskopen im spanischen Teruel wird es zum ersten Mal möglich sein, die Positionen Hunderter Millionen von Galaxien und ihre Entwicklung aufzuzeichnen. SCHOTT stellte für diese Aufgabe mehrere Sets steilkantiger und schmalbandiger Bandpassfilter her, mit deren Hilfe enge Wellenlängenbereiche des Sternenlichts untersucht werden können.

BERNHARD GERL

Only a dusty dirt road leads through the Sierra de Javalambre to the two new telescopes on top of the 1,956-meter high Pico del Buitre in the province of Teruel located in the structurally weak Spanish region of Aragón. The high-tech observatory also contributes to economic development here. But for the researchers at CEFA (Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón), this represents a scientific milestone that will perhaps bring decisive progress in searching for dark energy, the mysterious substance that bears nearly 70 percent of the mass of the universe and whose properties we know virtually nothing about. Cosmologists suspect that tiny variations in the distribution of dark energy shortly after the Big Bang can still be seen today in how the galaxies are distributed across the universe. Precise 3-D mapping of all of the galaxies has not been done yet, however. Hopefully, the Javalambre

Nur eine staubige Piste führt durch die Sierra de Javalambre zu den beiden neuen Teleskopen auf dem 1956 Meter hohen Pico del Buitre in der zur strukturschwachen spanischen Region Aragón gehörenden Provinz Teruel. Das Hightech-Observatorium dient hier ganz nebenbei der Wirtschaftsförderung. Für die Forscher der CEFA (Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón) aber ist es ein wissenschaftlicher Meilenstein, der vielleicht entscheidende Fortschritte auf der Suche nach der dunklen Energie bringen wird, jener geheimnisvollen Substanz, die knapp 70 Prozent der Masse des Universums trägt, über deren Eigenschaften man aber so gut wie nichts weiß. Kosmologen vermuten, dass sich winzige Schwankungen in der Verteilung dieser dunklen Energie kurz nach dem Urknall auch heute noch in der Verteilung von Galaxien im Universum zeigen. Eine genaue 3D-Kartierung aller Galaxien steht



Processing and quality control of filter glasses (above) took place at the SCHOTT competence center for high precision optical components and coatings in the Swiss town of Yverdon. These components are used in a filter wheel (below). This allows many parameters that are of importance to the development of galaxies to be collected.

Die Bearbeitung und Qualitätsprüfung der Filtergläser (oben) erfolgte im SCHOTT Kompetenzzentrum für optische Hoch-Präzisions-Komponenten und Beschichtungen in Yverdon, Schweiz. Die Filter kommen in einem Filterrad (unten) zum Einsatz. Mit diesem ist es möglich, eine Vielzahl von Parametern zu ermitteln, die für die Entwicklung von Galaxien relevant sind.

Telescopes and the J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey) project will make a significant contribution to achieving this goal.

“The innovative design of the J-PAS camera and the filter system, for the first time, will make it possible to determine the positions of hundreds of millions of galaxies in the sky, which will provide us with the first complete 3-D map of the universe,” explains Dr. Antonio Marín-Franch, staff researcher and head of the instrumentation group at CEFA. How far away astronomical objects actually are can be determined by measuring the redshift of the light that they emit. Together with the scientists at CEFA, SCHOTT

aber immer noch aus. Hier sollen die Javalambre-Teleskope mit dem Projekt J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey) einen entscheidenden Beitrag liefern.

„Das innovative Design der J-PAS-Kamera und des Filtersystems wird es zum ersten Mal möglich machen, die Positionen Hunderte Millionen von Galaxien am Himmel zu bestimmen, was uns die erste vollständige 3D-Karte des Universums liefern wird“, erklärt Dr. Antonio Marín-Franch, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Leiter Instrumentation Group bei CEFA. Dabei wird die Entfernung astronomischer Objekte durch die Messung der Rotverschiebung des von ihnen ausgestrahlten Lichts bestimmt. SCHOTT hat zusam-

has developed sets of filters specifically for the Javalambre Telescopes that make this measurement possible, and that can do more than just that.

“With this filter system, we will be able to measure many parameters that are of importance to the formation of galaxies, for example the temperatures of the stars, their mass, the distribution of their ages and their metal content,” explains Dr. Antonio Marín-Franch. To perform these tasks, 12 different astronomical filters were manufactured for the smaller of the two telescopes, the JAST/T80, which features a ZERODUR® glass-ceramic mirror substrate 80 centimeters in diameter. The larger JAST/T250 has a

men mit den CEFCO-Wissenschaftlern speziell für die Javalambre-Teleskope Filtersets entwickelt, die diese Messung möglich machen, aber nicht nur das.

„Das Filtersystem wird es erlauben, viele Parameter zu messen, die für die Entwicklung von Galaxien wichtig sind: etwa die Temperaturen der Sterne, ihre Masse, die Verteilung ihres Alters und ihren Metallgehalt“, erklärt Dr. Antonio Marín-Franch weiter. Für diese Aufgaben wurden für das kleinere der beiden Teleskope, das JAST/T80 mit einem ZERODUR® Glaskeramik-Spiegelträger von 80 Zentimetern Durchmesser, zwölf verschiedene Astrofilter gefertigt. Das größere JAST/T250 verfügt über einen Spiegelträger aus ZERODUR® Glaskeramik mit einem Durchmesser von 250 Zentimetern: Für dieses Teleskop entwickelten die Experten sogar 70 verschiedene Astrofilter. Von jedem dieser Designs sind jeweils nur zwei Filter gefertigt worden, die sich durch exzellente optische und mechanische Eigenschaften auszeichnen.

“With this filter system, we will be able to measure many parameters that are of importance to the formation of galaxies, for example the temperatures of the stars, their mass, the distribution of their ages and their metal content.”

„Das Filtersystem wird es erlauben, viele Parameter zu messen, die für die Entwicklung von Galaxien wichtig sind: etwa die Temperaturen der Sterne, ihre Masse, die Verteilung ihres Alters und ihren Metallgehalt.“

Dr. Antonio Marín-Franch, Head of the instrumentation group at CEFCO



Photo Foto: CEFCO

Extra Messtechnik für optische Filter entwickelt

Das Besondere an diesen steilkantigen und schmalbandigen Bandfiltern ist: Sie lassen in einem nur 10 bis 20 Nanometer breiten Frequenzbereich das einfallende Licht durch – mit einer Abweichung des Transmissionsgrades von nur 0,06 Prozent – blockieren aber alle höheren und niedrigeren Frequenzen vom nahen IR bis zum UV ($T < 10^{-5}$). Erreicht wurde dies durch eine Kombination eines farbigen Filterglases für die Blockung aller Wellenlängen ab einer bestimmten Grenze und eines Interferenzfilters.

SCHOTT stellt Interferenzfilter bereits seit den 1940er-Jahren her, heute vor allem in seinem Werk in Yverdon (Schweiz), wo das Know-how und ein umfangreicher Maschinenpark, etwa für das Magnetron- und Ion-Beam-Sputtering, zur Verfügung stehen. Die aufwendige Berechnung der Schichtabfolgen erfolgt am Computer, dann ist das Wissen der Experten gefragt, welche die diversen möglichen Schichtaufbauten in technisch umsetzbare Lösungen übersetzen.

Um die sehr anspruchsvollen Spezifikationen, die die CEFCO-Wissenschaftler stellten, garantieren und nachprüfen zu können, musste SCHOTT sogar eine eigene Messtechnik entwickeln. So durfte die Wellenfrontabweichung über die gesamte Filterfläche von immerhin 106 mal 106 Millimeter höchstens $\lambda/2$ betragen (erreicht wurde sogar besser als $\lambda/4$). Für die Überprüfung wurde für SCHOTT ein spezieller Breitband-Shack-Hartmann-Wellenfront-Sensor entwickelt, denn Standard-Wellenfront-Sensoren messen bei 633 Nanometer, also dort, wo die Astrofilter das Licht blockieren.

Weil die acht Millimeter dicken Filter im Strahlengang des Teleskops liegen, beeinflussen sie seine Abbildungseigenschaften. Die CEFCO-Wissenschaftler mussten daher den Brechungsindex der Filtergläser kennen. „Doch bei den Wellenlängen, bei denen typischerweise der Brechungsindex eines Glases gemessen wird, waren unsere Filter in der Regel undurchsichtig“, erklärt Dr.-Ing. Ralf Biertümpfel, Produktmanager Filter bei SCHOTT Advanced Optics. „Wir benötigten deshalb eine Messvorrichtung, mit der wir

ZERODUR® glass-ceramic mirror substrate that is 250 cm in diameter. In fact, the experts even developed 70 different astronomical filters for this telescope. Only two filters, known for their excellent optical and mechanical properties, were manufactured in each of these designs.

Metrology developed specifically for optical filters

What is so unique about these steep-edge and narrow-band filters is that they allow incident light to pass through, but only in a 10- to 20-nanometer wide wavelength range with a variation in transmittance of only 0.06 %, and yet block all higher and lower wavelengths from the near IR to UV ($T < 10^{-5}$). This was achieved by using a combination of a color filter glass for blocking all wavelengths above a certain threshold and an interference filter.

SCHOTT has been manufacturing interference filters since the 1940s and does so today mainly at its plant in Yverdon (Switzerland), where the know-how and an extensive range of instrumentation, for example for magnetron and ion beam sputtering, is available. The laborious calculation of the layer sequences is done using the computer. Then the experts' knowledge is needed to determine which of the various layer structures that are possible can be converted into technically feasible solutions.

SCHOTT even had to develop its own metrology to be able to guarantee and verify the very demanding specifications that the CEFA scientists had set. For example, the wavefront aberration across the entire filter surface of 106 times 106 millimeters had to be no greater than $\lambda/2$ (better than $\lambda/4$ was even achieved). To verify this, a special broadband Shack-Hartmann wavefront sensor was developed for SCHOTT because standard wavefront sensors measure at 633 nanometers, i. e. where the astro filters block the light.

Because the eight-millimeter thick filters are located directly in the optical path of the telescope, they also affect its imaging properties. For this reason, the researchers at CEFA had to know the refractive index of the glass filters. "But our filters were usually opaque at the wavelengths in which the refractive index of glass is usually measured," explains Dr.-Ing. Ralf Biertümpfel, Product Manager at SCHOTT Advanced Optics. "This is why we needed a measuring device that would allow us to determine the reflective properties of the glass." SCHOTT also developed this measuring apparatus on its own.

Through this project, the company has achieved a technological advantage that will open up new markets by combining materials, material characterization, manufacturing, coating expertise and available measurement technology. After all, narrow-band bandpass filters can be used for other purposes besides astronomical telescopes. Cemented elements in which multiple bandpass filters can be mounted onto a single substrate are used in satellites to observe the earth in narrow spectral ranges. Nevertheless, due to the experience gained, these filters can also be used in spectroscopy and can now be custom developed and manufactured very quickly for our customers. <

david.schimmel@us.schott.com



12 different optical filter glasses are used in the JAST/T80 Telescope (above). 70 different steep-edge and narrow-band filters are even used in the larger JAST/T250. Due to the very demanding specifications, SCHOTT developed a special measurement technology for this astronomy project.

Im JAST/T80-Teleskop (oben) kommen 12 unterschiedliche optische Filtergläser zum Einsatz, im größeren JAST/T250 sogar 70 verschiedene steilkantige und schmalbandige Filter. Aufgrund der sehr anspruchsvollen Spezifikationen entwickelte SCHOTT für das Astroprojekt eine spezielle Messtechnik.

ihn über das Reflexionsverhalten des Glases bestimmen konnten.“ Auch diese Messapparatur hat SCHOTT selbst entwickelt.

SCHOTT erzielte durch dieses Projekt mit der Verbindung von Werkstoff, Werkstoffcharakterisierung, Herstellung, Beschichtungs-Know-how und verfügbarer Messtechnik einen technologischen Vorsprung, der neue Märkte eröffnen wird. Denn engbandige Bandpassfilter werden nicht nur in astronomischen Teleskopen genutzt. In Satelliten werden Kitelemente, bei denen mehrere Bandpassfilter auf ein einziges Substrat aufgebracht sind, eingesetzt, um die Erde in engen Spektralbereichen zu beobachten. Aber auch für die Spektroskopie sind die Filter einsetzbar und können nun aufgrund der gemachten Erfahrungen rasch individuell für Kunden entwickelt und hergestellt werden. <

david.schimmel@us.schott.com