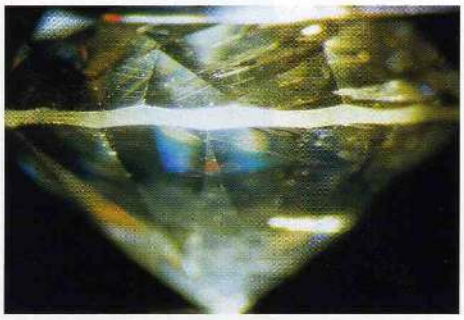
Dr. Lore Kiefert, Dr. Karl Schmetzer und Professor Henry A. Hänni

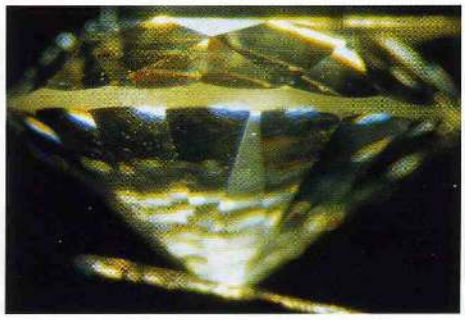
Synthetischer Moissanit aus Russland

Zusammenfassung
Fünf facettierte gelbe, grüne, blaugrüne und blaubraune synthetische Moissanite aus russischer Produktion werden beschrieben. Die vorliegenden Polytypen von Siliziumkarbid wurden mittels Ramanspektroskopie bestimmt. Gemmologische Merkmale sowie chemische und spektroskopische Eigenschaften im ultravioletten und sichtbaren Spektralbereich werden angegeben. Bei den Proben handelt es sich sowohl um 6H- als auch 4H-SiC-Einkristalle, die verschiedenen Farben sind auf unterschiedliche Mengen von Stickstoff im Kristallgitter der synthetischen Moissanite zurückzuführen. Die Kriterien zur Unterscheidung von farblosem synthetischen Moissanit aus den USA und Diamant, die schon hinlänglich beschrieben sind, treffen generell auch auf die mikroskopischen Eigenschaften der russischen Proben zu. Sie können verwendet werden, um diese synthetischem Diamantimitationen von Farbdiamanten zu unterscheiden.

(Abb. 1) Facettierte synthetische Moissanite von St. Petersburg, Russland. Die Proben wiegen zwischen 0,38 und 0,60 ct, Durchmesser zwischen 4,6 und 5,7 mm.



(Abb. 2) Pleochroismus eines blaubraunen, synthetischen Moissanits, grünlich blaue Richtung



(Abb. 3) Braune Richtung. Durchmesser des Steins: 5,4 mm.

Einführung
Siliziumkarbid – als Mineral Moissanit – wurde schon seit den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts für technische Zwecke verwendet. Die Züchtung großer Kristalle von synthetischem Moissanit durch Sublimation aus der Gasphase wurde zuerst von Lely (1955) beschrieben und durch die Verwendung von orientierten Kristallkeimen eines ausgewählten Polytyps von Siliziumkarbid, d. h. von Keimkristallen, die nur aus einer einzigen der vielen möglichen strukturellen Varianten von Siliziumkarbid bestehen, verbessert (Tairov und Tsvetkov, 1978, 1981). Diese Methode wird in der Literatur als modifizierte Lely-Technik bezeichnet. Die Kristallzüchtung von Siliziumkarbid mittels dieser Methode durch Sublimation aus der Gasphase ermöglicht die Herstellung von großen Einkristallen, die nur aus einem Polytyp bestehen. Die verschiedenen Strukturvarianten von Siliziumkarbid werden durch eine Maßzahl für die Größe der kristallographischen Baueinheit und durch die Symmetrie (K = kubisch, H = hexagonal, R = rhomboedrisch) beschrieben, z. B. 6H-SiC, 4H-SiC, 15R-SiC.

Die modifizierte Lely-Technik wird auch zur Produktion von farblosen synthetischen Moissaniten als Diamantsubstitut (Diamantersatz) verwendet (Nassau et al., 1997; Nassau, 1999). Die farblosen synthetischen Moissanite, die in den Vereinigten Staaten für Schmuckzwecke von Cree Inc., Durham, Nordcarolina, gezüchtet und von Charles & Colvard (ehemals C3 Inc.), Morrisville, Nordcarolina, vertrieben werden, bestehen aus Einkristallen eines schon länger bekannten hexagonalen Siliziumkarbid-Polytyps, genauer gesagt aus 6H-SiC. Es ist jedoch auch möglich, andere Polytypen und/oder andersfarbige synthetische Moissanite für Schmuckzwecke zu züchten, z. B. durch eine gezielte Dotierung mit Spuren von Stickstoff oder Aluminium.

Aufgrund seiner gemmologischen Eigenschaften ist hexagonal kristallisierender, synthetischer Moissanit, 6H-SiC, eine ideale Diamant-Imitation mit Brechungsindizes von 2,648 und 2,691 und einer Härte von $9^1/_4$ auf der Mohs'schen Härteskala. Obwohl stark anisotrop, ist die Wärmeleitfähigkeit derjenigen von Diamant so ähnlich, dass die üblichen Wärmeleitfähigkeits-Testgeräte auf synthetischen Moissanit und Diamant gleich reagieren (Chalain & Krzemnicki, 1999).

Seitdem im Jahr 1997 synthetischer Moissanit als Diamant-Ersatz eingeführt worden ist, wird das Material weitläufig vertrieben. Facettierte Steine sind auf der ganzen Welt in gemmologischen Labors als „Diamant" zur Untersuchung eingeliefert worden, gelegentlich sogar in antikem Schmuck gefasst. Kleinere Mengen von synthetischem Moissanit werden auch in St. Petersburg, Russland, hergestellt (Balitsky, 2000), wobei erste Proben dieses Materials auch schon im Edelsteinhandel aufgetaucht sind.

Erst kürzlich wurden schwarz gefärbte, facettierte synthetische Moissanite von mehr als 100 ct Gewicht aus russischer Produktion als natürliche Diamanten zur Ausstellung von Befundberichten und Zertifikaten an verschiedene gemmologische Labors in Europa eingesandt.

Von Frau B. Schaeffer, einer Gemmologin und Mineralienhändlerin aus Detmold, wurden den Autoren einige synthetische Moissanite russischer Herkunft zur Untersuchung zur Verfügung gestellt. Die gemmologischen, mikroskopischen, chemischen und spektroskopischen Eigenschaften dieser facettierten Diamantimitationen werden in dieser Arbeit vorgestellt. Das Untersuchungsmaterial bestand aus fünf synthetischen Moissaniten mit Brillantschliff, die in der Farbe von gelb über grün und blaugrün nach blaubraun reichten (Abb. 1).

Das Gewicht der Steine betrug zwischen 0,38 und 0,60 ct. Nach Angaben des Lieferanten waren alle Proben in St. Petersburg – zumindest im Prinzip – nach der Methode gezüchtet worden, die bereits von Tairov & Tsvetkov (1978, 1981) beschrieben wurde.

Goldschmiede Zeitung Vol. 99 No. 10 2001

Bestimmung der vorliegenden Moissanit-Polytypen (Strukturvarianten)

Es können verschiedene Methoden, wie z. B. die Röntgenkristallographie, angewendet werden, um die Polytypen von Siliziumkarbidproben zu bestimmen.

Die Ramanspektroskopie ist eine zerstörungsfreie Methode, die ohne spezielle Probenvorbereitung an geschliffenen Edelsteinen ausgeführt werden kann. Mit einem Ramanspektrometer, wie es heutzutage in den wichtigsten gemmologischen Labors anzutreffen ist, ist es auch möglich, Proben in Bezug auf ihre Homogenität in verschiedenen Bereichen zu untersuchen.

Zur Bestimmung der bei den uns zur Verfügung stehenden fünf geschliffenen Steinen vorliegenden Moissanit-Polytypen wurden Ramanspektren im Bereich von 100–1800 cm^{-1} mit einem Renishaw-Raman-System-1000-Spektrometer aufgenommen. Das Spektrometer ist mit einem CCD-Peltier-Detektor und einem Argon-Ionenlaser (514 nm) mit einer Leistung von 25 mW ausgerüstet.

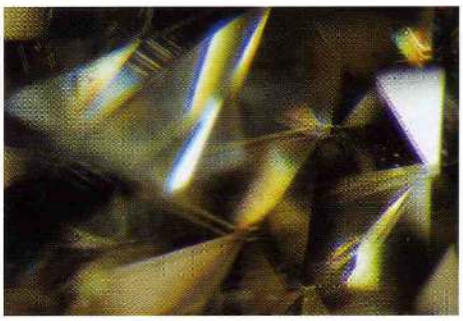
Bei den untersuchten Steinen befanden sich die stärksten Raman-Banden bei Wellenzahlen von über 700 cm^{-1}, eine Reihe schwächerer Raman-Banden lag unter 700 cm^{-1}. Ein Vergleich mit zahlreichen Publikationen, die Ramandaten bestimmter Siliziumkarbid-Polytypen beschreiben (vgl. z. B. Nakashima and Harima, 1997), ermöglichten die Bestimmung der fünf aus Russland stammenden Steine. Demnach waren vier unserer Proben dem SiC Polytyp 6H zuzuordnen, während der fünfte facettierte synthetische Moissanit der Strukturvariante 4H-SiC zuzurechnen war (vgl. Tabelle 1).

Die farblosen synthetischen Moissanite, die in den USA zu Schmuckzwecken gezüchtet werden und kommerziell in den Handel gelangen, wurden bislang als der Polytyp 6H von Moissanit beschrieben (Nassau et al., 1997; Nassau, 1999).

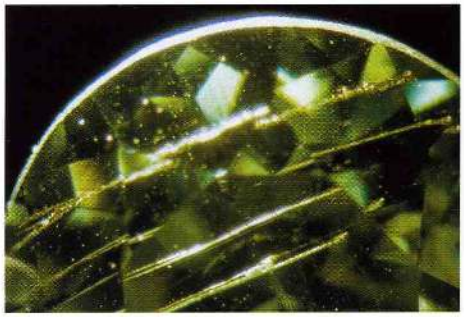
Gemmologische Eigenschaften

Das relative Reflexionsvermögen der Proben wurde mit einem Presidio-Duotester gemessen, wobei der Wert von 100 als Reflexionsvermögen von Diamant gesetzt wird. Innere Merkmale aller Proben wurden mit einem üblichen gemmologischen Mikroskop in Verbindung mit Hellfeld-, Dunkelfeld- und Faserlicht-Beleuchtung untersucht. Die verschiedenen Einschlüsse wurden mittels Ramanspektroskopie mit dem oben genannten Gerät identifiziert.

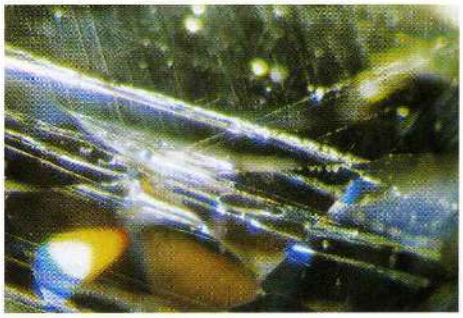
Die gemmologischen Eigenschaften der fünf untersuchten Proben sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Brechungsindizes unserer synthetischen Moissanite konnten nicht bestimmt werden. Sie werden in der Literatur mit 2,648 bis 2,691 angegeben (Nassau et al., 1997) und liegen damit höher als der Messbereich von kommerziell erhältlichen Refraktometern. Das durchschnittliche relative Reflektionsvermögen liegt mit einem Wert von 120 deutlich über demjenigen von Diamant. Das spezifische Gewicht der Proben wurde zwischen 3,20 und 3,25 g/cm^3 bestimmt. Diese Werte stimmen mit den Daten von in den USA gezüchteten synthetischen Moissaniten überein.



(Abb. 4) Verdoppelung der Facettenkanten in einem russischen synthetischen Moissanit; diese auf der Doppelbrechung des hexagonalen Moissanits beruhende Eigenschaft ist die am einfachsten zu beobachtende Unterscheidungsmöglichkeit von Diamant. Vergrößerung: 40 x.



(Abb. 5) Längliche Röhren und unregelmäßige Hohlräume in einem russischen synthetischen Moissanit, unregelmäßige Blasen und/oder kleine Kristalle; in diesem Stein sind außerdem Wachstumsebenen senkrecht zu den Röhren zu beobachten. Vergrößerung: 20 x.



(Abb. 6) Längliche Röhren und unregelmäßige Hohlräume in einem russischen synthetischen Moissanit, unregelmäßige Blasen und/oder kleine Kristalle. Vergrößerung: 40 x.

Mit bloßem Auge zeigte nur eine der Proben unterschiedliche Farben (blau und braun) bei verschiedenen Blickrichtungen relativ zu dem facettiert geschliffenen Stein. Mit einem Dichroskop wurden die Farben dieses Steins als grünlich blau und braun beobachtet (Abb. 2 und 3). In den restlichen vier Steinen wurden mit bloßem Auge bei verschiedenen Orientierungen der geschliffenen Steine relativ zum Betrachter keine Farbveränderungen beobachtet, mit dem Dichroskop war dagegen ein variabler Pleochroismus von extrem schwach (in der gelben Probe), schwach (grüne Steine) oder mittel (blaugrüner Moissanit) zu beobachten (Tabelle 1). Die optische Achse der Moissanitkristalle war bei keiner der Proben senkrecht zur Tafel der Steine orientiert, sodass kein einachsiges Interferenzbild (bei Blickrichtung senkrecht zur Tafel) beobachtet werden konnte. Alle fünf Steine waren unter kurz- und langwelligem UV-Licht inert.

Das Material von Cree Inc., das momentan auf dem Markt ist, ist derart geschliffen, dass die Tafeln mehr oder weniger senkrecht zu den optischen Achsen der hexagonalen Kristalle verlaufen. Obwohl sich die kommerzielle Produktion von Cree Inc. in den ersten Jahren hauptsächlich auf farblose und fast farblose Steine konzentrierte, besitzt das normalerweise in den USA produzierte Material eine Farbskala von farblos über hellgelb oder leicht gräulich gelb nach bräunlich gelb, grau oder grünlich (Nassau et al., 1997). Ferner werden seit kurzem auch grünlich, bläulich grün und grau gefärbte synthetische Moissanite in den USA kommerziell hergestellt und als facettierte Steine im Handel angeboten (Sluis, 2001).

Farblose und graue Proben wurden unter den Steinen der uns vorliegenden russischen Produktion nicht angetroffen. Die grün und blaugrün gefärbten synthetischen Moissanite aus Russland ähneln farblich dem neuerdings aus den USA angebotenen Material.

Mikroskopische Merkmale

Ebenso wie die synthetischen Moissanite aus amerikanischer Produktion zeigen die russischen Steine eine typische Verdoppelung der Facettenkanten (Abb. 4), wie sie schon ausführlich besprochen wurde →

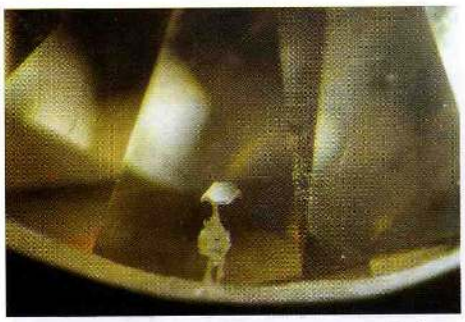
(Nassau et al., 1997; Chalain and Krzemnicki, 1999; Chalain, 2000; Shigley et al., 2000). Das Auftreten länglicher Röhren ist eine typische Eigenschaft synthetischer Moissanite, die durch Sublimation aus der Gasphase gezüchtet wurden. Unter den von uns untersuchten synthetischen Moissaniten russischer Herkunft befand sich nur eine mehr oder weniger einschlussfreie Probe (Tabelle 1). Vier der fünf Steine zeigten längliche, dünne Röhren oder unregelmäßige Hohlräume (Abb. 5 und 6). Im Vergleich zu synthetischen Moissaniten amerikanischer Herstellung, die bisher im SSEF untersucht werden konnten, und den in der Literatur beschrieben Proben erschienen die meisten Röhren in den in Russland gezüchteten synthetischen Moissaniten etwas dicker. Sie zeigten ferner eine Orientierung parallel oder leicht zur Tafel geneigt (Proben 2, 3 und 5), oder eine solche im Winkel von 45° zur Tafel (Probe 1).

Die amerikanischen Steine haben normalerweise dünnere Röhren, die senkrecht zur Tafel und damit parallel zur c-Achse verlaufen. Diese Orientierung ruft ein Einschlussbild hervor, das aussieht, als ob die Röhren strahlenförmig vom Zentrum des Steins wegführen würden (Abb. 7, vgl. auch Chalain, 2000). Dieses unterschiedliche Erscheinungsbild in den Steinen der verschiedenen Hersteller wird durch die unterschiedlichen Orientierungen der optischen Achsen in facettierten Steinen hervorgerufen, die bei den synthetischen Moissaniten von Cree in der Regel senkrecht zur Tafel verlaufen. Bei den in Russland gezüchteten synthetischen Moissaniten lagen Orientierungen der dünnen Röhren und damit der c-Achsen der Kristalle entweder mehr oder weniger parallel zur Tafel oder in einem Winkel von etwa 45° zur Tafel vor (siehe Tabelle 1).

Kleine Kristalle oder Blasen waren in vier der fünf Steine anzutreffen (Abb. 5 und 6). Ein Stein (Probe 2) zeigte Wachstumslinien, die senkrecht zu den Röhren verliefen (Abb. 5), und einer der synthetischen Moissanite (Probe 1) enthielt einen hexagonalen Kristall oder Negativkristall, von dem eine Röhre ausging (Abb. 8).

Ähnliche Defekte in synthetischen Moissaniten wurden bereits in der Literatur beschrieben. Raman-spektroskopische Untersuchungen der länglichen Röhren, der kleinen Kristalle oder Blasen und des oben erwähnten hexagonalen Kristalls ergaben nur die gewöhnlichen Spektren der Moissanit-Wirtskristalle. Deshalb ist anzunehmen, dass es sich bei den beschriebenen Einschlüssen entweder um Hohlräume handelt

(Abb. 7) Typische Einschlüsse in einem synthetischen Moissanit aus den USA; die dünnen parallelen Röhren verlaufen senkrecht zur Tafel des Steins und parallel zur optischen Achse. Vergrößerung: 10 x.



(Abb. 8) Kleiner hexagonaler Moissanitkristall oder Negativkristall mit einem anschließenden röhrenförmigen Hohlraum in einem gelben synthetischen Moissanit aus Russland. Vergrößerung: 30 x.

oder um Moissaniteinschlüsse in einer Orientierung, die sich von der des Wirtskristalls unterscheidet.

Es ist jedoch auch möglich, dass diese Einschlüsse Phasen, z. B. Glasphasen sind, welche nur ein schwaches oder kein Ramansignal abgeben. Obwohl die hier beschriebenen dicken Röhren, die hexagonalen Kristalle oder die Wachstumsstrukturen für gewöhnlich nicht in den handelsüblichen synthetischen Moissaniten von Cree vorkommen, wurden sie von Groenenboom (2000) auch in amerikanischen Proben beobachtet. Sie sind deshalb nicht als charakteristisch nur für synthetische Moissanite aus Russland anzusehen.

Chemische Eigenschaften

Qualitative chemische Analysen wurden mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenz (EDXRF) mit einem Tracor-Spectrace-5000-Spektrometer ausgeführt. Nach Lely & Kröger (1958) verdanken hexagonale Siliziumkarbid-Kristalle ihre Färbung verschiedenen Verunreinigungen wie Stickstoff oder Phosphor (grün) oder auch solchen von Aluminium oder Bor (blau). Stickstoff und Aluminium sind die am häufigsten verwendeten Beimengungen bei der Züchtung von Siliziumkarbidkristallen von Edelsteinqualität in verschiedenen Farben (Hunter & Verbiest, 1998 a, b).

Das für die Analysen benutzte Röntgenfluoreszenz-Spektrometer kann chemische Elemente mit einer Ordnungszahl höher als 10 (11 = Natrium) bestimmen.

Semi-quantitative chemische Analysen der fünf untersuchten Steine zeigten außer Silizium kein anderes Element. Das heißt, dass weder Phosphor noch Aluminium in den Proben nachweisbar waren. Dies lässt die Vermutung zu, dass diese Elemente, falls überhaupt vorhanden, nur in sehr geringen Spuren unterhalb der Nachweisgrenze des Geräts vorkommen. Die Anwesenheit von Bor und besonders Stickstoff kann dagegen mit dem hier benutzten Röntgenfluoreszenz-Spektrometer nicht nachgewiesen werden.

Spektroskopische Eigenschaften im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich

Zur Ermittlung der Farben und Farbursachen wurden Spektren aller Proben im ultravioletten und sichtbaren Spektralbereich zwischen 300 und 800 nm mit einem Varian-Cary-500-Spektralphotometer aufgenommen.

Aufgrund der durch den hohen Brechungsindex von Moissanit erzeugten inneren Reflexionen und wegen der schräg orientierten optischen Achsen der facettierten Proben war es uns nicht möglich, die russischen Moissanite exakt parallel und senkrecht zur optischen Achse zu orientieren, um so polarisierte Spektren zu erhalten.

Die Absorptionsspektren von gelben und grünen synthetischen russischen Moissaniten (Proben 1, 2 und 3) zeigten eine leicht zunehmende Absorption ab 600 nm zum violetten Bereich hin. Die Absorptionskante lag im Bereich von 410 nm. Die zwei grünen Proben besaßen zusätzlich eine schwache Absorptionsbande mit einem Maximum bei 635 nm. In dem blaugrünen Stein zeigen sowohl die Absorptionskante im blauen bis violetten Bereich als auch die Absorptionsbande bei 635 nm eine deutlich höhere Intensität. Eine schwache Schulter bei 435 nm war zusätzlich messbar. Spektren ähnlich denjenigen unser russischen Proben 1 bis 4 wurden schon von Lely und Kröger (1958) veröffentlicht.

Es handelte sich dabei um synthetische Moissanite, die unter unterschiedlich stickstoffreichen Argon-Atmosphären gezüchtet wurden. Das Spektrum unserer gelben Probe (Nr. 1) entspricht dabei einer Probe, die unter 0,01 % N_2 gezüchtet wurde. Das Spek-

trum der blaugrünen Probe Nr. 4 ist ähnlich dem einer Probe, die unter 10 % N_2 gezüchtet wurde. Daraus lässt sich schließen, dass die Farben unserer gelben, grünen und blaugrünen synthetischen Moissanite auf unterschiedliche Konzentration von Stickstoff in diesen 6H-SiC-Polytypen beruhen.

Für die Untersuchung des starken grünlich blauen und braunen Pleochroismus unserer Probe 5 wurden unpolarisierte Spektren in Richtung der beiden unterschiedlichen Farben aufgenommen. Beide Spektren zeigten eine Absorptionskante im UV bei ungefähr 370 nm. Das Spektrum in der grünlich blauen Richtung besaß außerdem zwei starke Absorptionsmaxima bei 566 nm (mit einer Schulter bei 646 nm) und bei 465 nm, das Spektrum in Richtung der braunen Färbung zeigte zwei deutliche Absorptionsmaxima bei 553 und 457 nm.

Diese Daten stimmen mit Referenzdaten für Stickstoff-haltigen synthetischen 4H-SiC überein (vgl. z. B. Biedermann, 1965). Demzufolge ist die Farbe und der Pleochroismus des blaubraunen synthetischen Moissanits ebenfalls auf Spuren von Stickstoff in dem vorliegenden Polytyp von 4H-SiC zurückzuführen.

Tabelle 1. Gemmologische Daten synthetischer Moissanite aus Russland

Probe	Gewicht (ct)	Polytyp	Farbe	Dichte (g/cm^{-1})	Relatives Reflexionsvermögen	Orientierung von Röhren relativ zur Tafelfacette	Pleochroismus*
1	0,44	6H	gelb	3,25	118	etwa um 45° geneigt	sehr schwach
2	0,56	6H	grün	3,21	122	parallel	schwach: gelblich grün/ grün
3	0,60	6H	grün	3,23	121	parallel	schwach: gelblich grün/ grün
4	0,38	6H	blaugrün	3,20	120	keine Röhren beobachtet	mittel: gelblich grün/ blaugrün
5	0,54	4H	blaubraun	3,21	120	etwa um 5° geneigt	deutlich: grünlich blau/braun

* Beobachtung mithilfe des Dichroskops

Dr. Lore Kiefert, Professor Henry A. Hänni, SSEF Schweizerisches Gemmologisches Institut, Falknerstrasse 9, CH-4001 Basel, Schweiz
Dr. Karl Schmetzer, Taubenweg 16, D-85238 Petershausen, Deutschland

Schlussfolgerungen

Einkristalle von hexagonalem Siliziumkarbid der Polytypen 6H und 4H wurden in St. Petersburg, Russland, mit der modifizierten Lely-Technik durch Sublimation aus der Gasphase gezüchtet. Gelbe, grüne und blaugrüne facettierte Steine wurden als synthetische Moissanite vom Polytyp 6H identifiziert, wobei die verschiedenen Farben durch unterschiedliche Stickstoffgehalte hervorgerufen werden. Ähnlich wie bei farblosen synthetischen Moissaniten besteht auch hier die Verwechslungsgefahr mit Farbdiamanten. Ein blaubrauner Stein mit deutlichem Pleochroismus wurde als stickstoffhaltiger Kristall vom Polytyp 4H identifiziert.

Die physikalischen Eigenschaften der Moissanite beider Polytypen liegen im Bereich der derjenigen von farblosen 6H-SiC-Moissaniten, die in den USA für Schmuckzwecke gezüchtet werden. Verdoppelte Facettenkanten sind in allen Proben sichtbar. In den meisten der Steine findet man mit dem Mikroskop längliche Röhren oder etwas unregelmäßige Hohlräume, die jedoch im Unterschied zu den amerikanischen synthetischen Moissaniten des Handels unterschiedlich orientiert sind.

Danksagung: Die Autoren möchten sich bei Frau B. Schaeffer, Detmold, für die Überlassung der fünf hier beschriebenen synthetischen Moissanite aus russischer Produktion bedanken.

Literatur

Balitsky, V.S., 2000. Present Russian synthetic and enhanced gemstones. Austral. Gemmol., 20 (11), 458–466
Biedermann, E., 1965. The optical absorption bands and their anisotropy in the various modifications of SiC. Solid State Communications 3, 343–346
Chalain, J.P., 2000. Update on Moissanite Identification. J. Gemmol. Ass. Hong Kong, 21, 12–15
Chalain, J.-P., and Krzemnicki, M.S., 1999. Synthetischer Moissanit und Diamant: Sichere Unterscheidung mithilfe des Reflektometers. Gemmologie. Z. Dt. Gemmol. Ges., 48 (2), 77–84
Groenenboom, P., 2000. Pers. Mitteilung
Hunter, C.E., and Verbiest, D., 1998a. Silicon carbide gemstones. US-Patent 5,723,391, March 3, 1998
Hunter, C.E., and Verbiest, D., 1998b. Silicon carbide gemstones. US-Patent 5,762,896, June 9, 1998
Lely, J.A., 1955. Darstellung von Einkristallen von Siliciumcarbid und Beherrschung von Art und Menge der eingebauten Verunreinigungen. Ber. Dt. Keram. Ges., 32 (8) 229–250
Lely, J.A., and Kröger, F.A., 1958. Optical Properties of Pure and Doped SiC. Semicond. Phosphors., Proc. Intern. Colloq., Garmisch-Partenkirchen 1956, publ. Interscience, New York (1958), pp. 514–524
Nakashima, S., and Harima, H., 1997. Raman Investigation of SiC Polytypes. Physica Status Solidi (a) 162, 39–64
Nassau, K., 1999. Moissanite: a new synthetic gemstone material. J. Gemm., 26 (7) 425–438
Nassau, K., McClure, S.F., Elen, S., and Shigley, J.E., 1997. Synthetic Moissanite: a new Diamond Substitute. Gems & Gemology, 33 (4), 260–275
Shigley, J.E., Koivula, J.I., York, P., and Flora, D., 2000. A Guide for the Separation of "Colorless" Diamond, Cubic Zirkonia and Synthetic Moissanite.The Loupe, 9 (3), 8–10
Sluis, J.J., 2001. Pers. Mitteilung
Tairov, Yu.M., and Tsvetkov, V.F., 1978. Investigation of growth processes of ingots of silicon carbide single crystals. Journal of Crystal Growth, 43, 209–212
Tairov, Yu.M., and Tsvetkov, V.F., 1981. General principles of growing large-size single crystals of various silicon carbide polytypes. Journal of Crystal Growth, 52, 146–150