

Calomel – krystalová polarizační optika a akustooptika

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Společnost BBT-Materials Processing se zabývá výzkumem a vývojem v oblasti materiálových věd se zaměřením na speciální vnitropodnikově vyráběnou infračervenou krystalovou optiku, orientovanou na pozemské i vesmírné aplikace. Společnost je světovým lídrem v oblasti růstu krystalů a zpracování vysoce čistých krystalů rtuťných halogenidů, zejména Calomelu (česky kalomel – chlorid rtuťný), aplikovaných ve střední a tepelné infračervené optice. Společnost BBT je kvalifikovaným a zkušeným partnerem v oblasti základního a aplikovaného výzkumu v kosmu a podmínkách mikrogravitace, založených na využití unikátního optického materiálu – kalomelu.

BBT-Materials Processing s. r. o (dále jen BBT) je soukromá technologická společnost, zabývající se vývojem a výrobou vysoce výkonné mid-IR (střední infračervené) a TIR (termální infračervené) polarizační dvojlomné optiky (až do 17 mikrometrů) a akustooptických komponent pro širokou škálu aplikací¹. Společnost BBT je jedinou firmou na světě, která vyvinula technologii přípravy monokrystalů halogenidů rtuť na takové úrovni, že je schopna vyrábět a dodávat tyto optické komponenty na světový trh. Největšího pokroku dosáhla v oblasti monokrystalů chloridu rtuťného a jeho funkčních prvků.

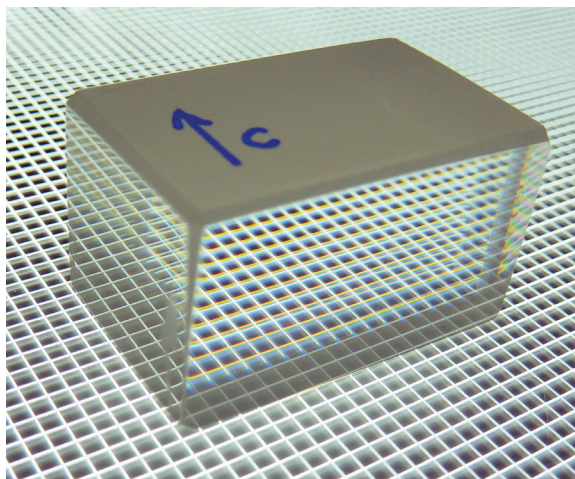
V roce 1969 byl vyroben první monokrystal kalomelu. U jeho zrodu stál Čestmír Barta senior, který svého času představil materiál takto: „Kalomel (chlorid rtuťný) je tetragonální krystalický materiál průhledný od viditelné (0,38 μm) až do tepelné oblasti (17 μm) a vykazuje velmi silný dvojlom ($\Delta n = +0,683$). Tyto dva parametry z něj dělají skvělého kandidáta pro infračervenou

optiku. Uplatnění tak mohou najít jako polarizátory, polarizační rozdělovače paprsků, Savartovy destičky, akustooptické komponenty a další podobné materiály. IR komponenty na bázi kalomelu proto mohou najít své místo v každé aplikaci, která vyžaduje vysoký stupeň polarizace – jako je spektroskopie, astronomie, optické laboratoře, R&D instituce nebo chemický průmysl. Hg_2Cl_2 neboli chlorid rtuťný má velký potenciál pro využití také jako akustooptický filtr, modulátor nebo deflektor. Vysoká hodnota jeho koeficientu akustooptické interakce a extrémně nízká rychlost šíření akustických vln jsou klíčové parametry pro akustooptický laditelný filtr² a akustooptický modulátor³. V současnosti používané akustooptické součástky na trhu jsou omezeny průhledností použitého materiálu do hranice 5 μm . Kalomel je jako materiál transparentní až do 17 μm , čímž přináší novou příležitost pro akustooptické frekvenčně modulované filtry, zacílené zejména na požadovanou a zároveň zajímavou spektrální oblast kolem 10 μm .“

1 Č. Barta sen, Č. Barta jun.: Český materiálový výzkum v kosmu. Čs. čas. fyz. 52, 228–239 (2002).

2 AOTF – acousto-optical tuneable filter.

3 AOM – acousto-optical modulator.



Obr. 1 Monokrystal kalomelu v růstových ampulích a finální kalomelový výbrus.



Obr. 2 Vesmírný krystalizátor CSK-1C při tréninku s astronauty Ulfem Merboldem (Německo) a Pedrem Duquem (Španělsko). Foto: E SB

Výzkum různých materiálů pro použití v kosmu má v České republice již dlouholetou tradici. V roce 1978 (na 16. zasedání čs. komise Interkosmos) byla z rozhodnutí prezidia ČSAV ustavena samostatná pracovní skupina, určená právě pro výzkum v oblasti kosmických technologií. Úkolem tohoto seskupení byl výzkum nových materiálů v podmínkách beztlásky a vývoj k tomu potřebných zařízení. Příslušnými aktivitami bylo pověřeno oddělení materiálového výzkumu Fyzikálního ústavu ČSAV.

Od roku 1976 tak probíhaly materiálové experimenty v podmínkách mikrogravitace, a to nejprve na palubě vesmírné lodi Saljut 6–Sojuz a později také na orbitální stanici Mir. Když 10. března 1978 zahájil svoji vesmírnou misi první český kosmonaut Vladimír Remek⁴, podílel se taktéž na těchto experimentech – konkrétně například souboru experimentů Morava.

Tyto experimenty byly připraveny a následně také vyhodnoceny pracovníky Fyzikálního ústavu pod vedením Čestmíra Barty staršího. Byly zaměřeny na studium procesů nerovnovážného tuhnutí vícesložkových eutektických slitin soustavy halogenidů olova, stříbra, mědi a rtuti. Jejich hlavním přínosem byl poznatek o výrazně nerovnovážném tuhnutí tavenin v podmín-

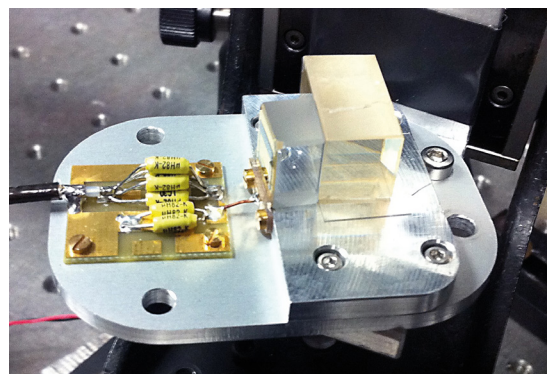
4 J. Žďárská: Pod námi planeta Země. Čs. čas. fyz. 73, 490–497 (2023).



Obr. 3 Vesmírná aparatura TITUS na palubě orbitální stanice Mir během experimentu, který provádí francouzský astronaut Jean-Pierre Haigener (projekt MIR '99 – Perseus). Foto: CNES

kách mikrogravitace. To nabízelo možnost využití pro přípravu materiálů odlišné struktury (mikrotextury) a složení, než jaká je za stejných podmínek dosažitelná na Zemi. Ukázalo se, že se jedná o důležitý základní výzkum, ve kterém je třeba pokračovat. „Krátce po sametové revoluci 1989 byly však tyto aktivity ve Fyzikálním ústavu ukončeny, ale nám se podařilo založit soukromou firmu BBT (zpočátku OSVČ, později s.r.o.), která v těchto aktivitách dále pokračovala a rozvíjela je, což trvá dodnes,“ podotýká Čestmír Barta jr.

Od roku 1992 tak firma BBT iniciovala další materiálové experimenty, probíhající v kosmu. Jednalo se o stovky experimentů v oblasti tuhnutí hliníkových vícesložkových slitin a růstu krystalů z taveniny a z plynné fáze, probíhající například na palubě ruské vesmírné stanice Mir, s využitím modernizované pece CSK-1C, která zde bezchybně fungovala nepřetržitě plných 17 let. Kromě vlastních experimentů BBT připravovala a realizovala také desítky experimentů na zakázku několika různých evropských institu-



Obr. 4 Experimentální kalomelová akustooptická jednotka při testování v laboratoři BBT.

cí. V roce 1993 pak BBT zřídila *International User's Support Center*, tedy Centrum pro podporu a záchvát uživatelů kosmických zařízení vyvinutých společností BBT. Toto centrum sloužilo i pro přípravu a vyhodnocení kosmických experimentů.

Další materiálové experimenty, probíhající v podmínkách mikrogravitace, byly prováděny taktéž na palubě Miru, ale tentokrát s využitím zcela nového zařízení TITUS⁵, které pro ESA⁶ vyvinula a postavila firma BBT ve spolupráci s DLR MUSC, DARA, Kayser-Threde a Humboldt University. „TITUS nebyl pouze krystalizátor, ale komplexní materiálová laboratoř, určená pro růst krystalů, nerovnovážné tuhnutí slitin, difuzi, diferenční termickou analýzu, kalorimetrii a měření mikrogravitace ve třech osách. Na stanici MIR fungoval 6 let. Poprvé byl TITUS využit v rámci mise EuroMIR '95⁷. Posledními velkými misemi pak byly German MIR 97 a MIR '99 – PERSEUS⁸. Všechny tyto mise byly zaměřené na materiálové experimenty v podmínkách mikrogravitace,“ připomíná Čestmír Barta jr.

Když v roce 2001 ukončila stanice MIR svoji činnost, začal probíhat vývoj víceúčelové platformy Advanced TITUS MPP⁹ pro mezinárodní vesmírnou stanici ISS.

5 Tubular Furnace with Integrated Thermal Analysis.

6 European Space Agency.

7 1995–1996, ve spolupráci s DLR-MUSC, ESA, DARA, Humboldt University, Kayser-Threde, Energija/MIR.

8 Ve spolupráci s DLR-MUSC, ESA, CNES (Francouzská vesmírná agentura).

9 Multi-Purpose Platform.

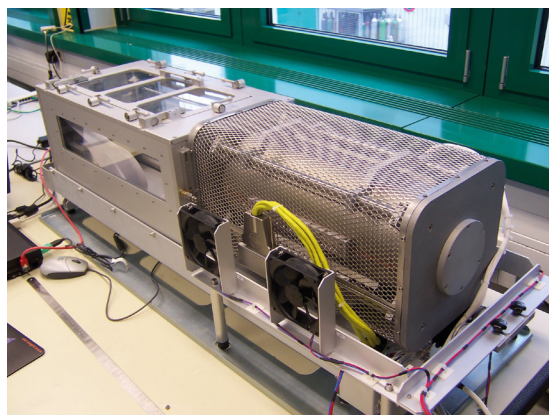
Na základě dosavadních výborných výzkumných výsledků došlo v roce 2008 k zahájení nepřetržité spolupráce s kosmickou agenturou ESA v oblasti infračervené polarizační optiky a akustooptiky a v roce 2012 byly optické komponenty na bázi kalomelu kvalifikovány pro použití ve vesmírných aplikacích.

V roce 2014 byl testován první kalomelový polarizátor Calomel¹⁰ a v témže roce se také podařilo vypěstovat velký krystal kalomelu o průměru 35 mm. V roce 2016 byl pak ve spolupráci s ESA zahájen významný výzkumný projekt, věnovaný vývoji akustooptického laditelného filtru na bázi kalomelu, a později byly též vyvinuty komerční verze polarizátorů Glan-Foucault a Wollaston pro MWIR až TIR spektrální oblast.

Od roku 2020 se společnost BBT zabývá také výzkumem dalších komponent pro polarizační infračervenou optiku a spektroskopii. Co se týče kalomelové polarizační optiky, jedná se zejména o již výše zmíněné vysokokontrastní širokopásmové polarizační filtry typu Glan-Foucault, Wollaston či Rochon, které pracují v širokém spektrálním rozsahu od viditelného až po tepelný (17 μm). Navíc vynikají vysokou odolností vůči vysokoenergetickým laserům.

Společnost BBT též úzce spolupracuje s italskými kolegy na vývoji kompaktní a odolné hyperspektrální kamery pro dálkový průzkum v tepelné infračervené oblasti, založené na spektrometrii s Fourierovou transformací. Cílem je mimo jiné i její nasazení do vesmírné mise ESA.

10 Pro oblast MIR a LWIR.



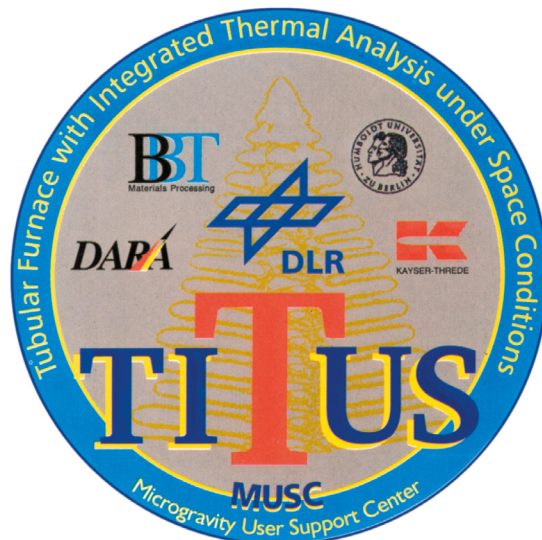
Obr. 5 Víceúčelová platforma Advanced TITUS MPP (Multi-Purpose Platform) pro vesmírnou stanici ISS. Foto: DLR MUSC

Kromě infračervené optiky je BBT aktivní také v oblasti vývoje akustooptických prvků, využitelných např. pro hyperspektrální zobrazovací či laserové systémy. Díky výjimečně vysoké hodnotě koeficientu akustooptické interakce M_2 a extrémně nízké rychlosti šíření akustických vln je tento materiál vhodný pro výrobu akustooptických jednotek se zaměřením zejména na spektrální oblast MWIR a LWIR, kde není k dispozici žádný jiný konkurenční materiál. „Naše skupina je první na světě, která vyvinula technologii přípravy monokrystalů halogenidů rtuti. Největšího pokroku jsme dosáhli v oblasti monokrystalů chloridu rtuťného – kalomelu Hg_2Cl_2 – a jeho funkčních prvků. Za dlouhou dobu tohoto výzkumu jsme získali cenné zkušenosti s výrobou a zpracováním jmenovaného materiálu. Monokrystal chloridu rtuťného



Obr. 6 Kalomelové polarizátory typu Glan-Foucault.

se jeví také jako velmi slibný materiál pro THz optiku – především pro retardační desky či polarizátory, protože tento materiál je transparentní i v THz spektrální oblasti,“ doplňuje Čestmír Barta jr. a dodává: „Náš tým navázal na poznatky a zkušenosti získané ještě před sametovou revolucí na půdě, Fyzikálního ústavu a Vysoké školy chemicko-technologické. Podařilo se nám nejen všechny poznatky uchovat, ale také je nadále i podstatně rozvíjet. Velmi nám k tomu pomohla a pomáhá dlouhodobá spolupráce s ESA a s dalšími vesmírnými agenturami a také pochopení a podpora ze strany Ministerstva průmyslu a zejména dopravy. Velmi si toho vážíme. V současné době jsme v pokročilé fázi vývoje nové krystalové optiky, která bude mít dokonce ještě lepší polarizační a akustooptické parametry, než již tak unikátní kalomel. V nejbližší době se také chystáme s našimi italskými kolegy patentovat kompaktní hyperspektrální kameru pro dálkový průzkum Země a jiných vesmírných těles v tepelné infračervené oblasti, založenou na spektrometrii s Fourierovou transformací.“



Obr. 7 Logo vesmírné mise s krystalizátorem TITUS.



Ing. Čestmír Barta, CSc., (*1954), absolvoval VŠCHT Praha (1979, titul Ing., speciální anorganické materiály, mineralogie a krystalová chemie). Od roku 1979 pracoval ve Fyzikálním ústavu ČSAV – růst krystalů a krystalová chemie, materiálový výzkum – a na Společném pracovišti FzÚ ČSAV a VÚPJT, kde byl vedoucím oddělení růstu monokrystalů a materiálového výzkumu. Roku 1990 obhájil titul CSc. v oboru růstu krystalů a materiálového výzkumu. Absolvoval studijní pobyty na Tufts University, Dept. of Physics (Boston, USA) a Rensselaer Polytechnic Institute (Troy, USA). V roce 1991 založil a vedl firmu *Čestmír Barta – BBT-Materials Processing* se zaměřením na vývoj a výrobu speciálních zařízení pro materiálový výzkum v kosmu a na pozemní přípravu vlastních i mezinárodních kosmických experimentů a jejich realizaci s využitím vlastních aparatur CSK-1C a TITUS – např. mise EMIR94, EuroMIR95, MIR96, GermanMIR97, MIR99-Perseus aj. Roku 1998 založil společnost RC Technologies a.s. (kde působil jako technický ředitel a místopředseda správní rady), zabývající se vývojem a výrobou monokrystalů safíru a rubínu metodou horizontálního směrového tuhnutí pro aplikace v optice, elektronice, přístrojové a detekční technice, šperkařství aj. Od r. 2005 do současnosti působí v BBT-Materials Processing, s.r.o., jako jednatel a vědecký pracovník (infračervená polarizační optika a akustooptika).



Pracoviště opracování monokrystalů na funkční optické komponenty.



Ing. Čestmír Barta, CSc., (1926–2019), absolvent VŠCHT Praha. Narodil se v rodině s vědeckou a podnikatelskou tradicí v oboru chemie a elektrotechniky. Jeho otec byl vysokoškolský profesor a dědeček byl vynálezce a průmyslník František Křížík. Během války byl jeho otec vězněn v koncentračních táborech Terezín a Osvětim. V roce 1945 se Čestmír jako 19letý aktivně zapojil do osvobozovacích akcí v povstaleckých jednotkách gen. Kutlvašra až do 8. května 1945, kdy gen. Kutlvašr odpoledne dojednal kapitulaci německých jednotek v Praze. Po válce vystudoval VŠCHT v Praze, kde ho zaujala chemie krystalů a mineralogie. Chtěl zůstat na škole, ale z kádrově-politických důvodů musel v roce 1950 nastoupit v chemičce v Ústí nad Labem, kde se zabýval výrobou syntetických drahokamů. Do Prahy se mohl s rodinou vrátit až po 13 letech a začal pracovat v ČSAV, naposledy ve Fyzikálním ústavu AV ČR. Zde se zabýval výzkumem růstu krystalů nejen v pozemské laboratoři, ale i v kosmu na orbitálních stanicích Saljut 6 a 7.

Po listopadu 1989 pokračoval v práci jako vědecký poradce ve firmě svého syna BBT-Materials Processing. Tehdy to byla první soukromá vědecká laboratoř základního výzkumu v naší republice. Podílel se na vývoji přístrojů pro orbitální stanice MIR a ISS. Během 93 let svého života měl příležitost prožít diametrálně odlišné politické režimy: Prvních 13 let života to bylo v demokratických podmínkách první republiky 1926–1939. Následovalo šest válečných let nacistické okupace 1939–1945. Dále tři poválečné roky v relativní svobodě 1945–1948. Pak přišlo 41 let komunistické totality 1948–1989. Konečně se ve svých 63 letech dočkal obnovení demokracie a prožil v ní zbylých 30 let.

Jako dlouhodobý účastník několika desítek různých výzkumných a vývojových vesmírných aktivit představuje BBT-Materials Processing s. r. o. kvalifikovaného a zkušeného partnera v oblasti primárního a aplikovaného výzkumu, v oblasti polarizační infračervené optiky a akustooptiky a ve vesmírných projektech ESA. A je velmi potěšující, že jedinou firmou na světě, která vyvinula technologii přípravy monokrystalů halogenidů rtuti na takové úrovni, že je schopna vyrábět a dodávat tyto optické komponenty na světový trh, je česká firma. Více podrobností naleznete na: <https://www.calomel.cz/>.