

CPV (Concentrated Photovoltaics) - Vývoj fotovoltaických panelů nové generace v Elceram a TTS

Ing. Jan Johan, Ing. Vratislav Gábrt - ELCERAM a.s., Okružní 1144, Hradec Králové
jan.johan@email.cz, vyzkum@elceram.cz

RNDr. Jaroslav Merta, CSc. – TTS s.r.o. , Novodvorská 997, Praha 4
merta@tts-co.eu

Prezentace 2. ročníku odborné konference: Výsledky výzkumu a vývoje pro obnovitelné zdroje - OZE 2011, Kouty nad Desnou, 13 – 14.4.2011

Tento projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím ministerstva průmyslu a obchodu

Úvod

Velkým problémem u solárních panelů, vyrobených ať už z monokrystalického, polykrystalického či amorfního křemíku, je jejich malá účinnost a velký pokles této účinnosti s rostoucí teplotou. Z toho také plynou nejvíce vhodná geografická místa pro umístění fotovoltaické křemíkové elektrárny, kterými jsou zejména oblasti, kde je nízká okolní teplota a velké množství slunečných dnů. Naopak oblasti kolem rovníku, kde je přes den vysoká okolní teplota, se pro křemíkové elektrárny jeví jako nevhodné. Maximální účinnost, které bylo v laboratorních podmínkách u křemíkové technologie dosaženo je cca 21% (Sanyo), přičemž v reálných podmínkách je právě kvůli tepelné závislosti nutno počítat s účinností až o třetinu menší. Další nevýhodou křemíkových solárních panelů je, že pro výrobu kvalitního panelu s vysokou účinností je třeba velké množství vysoce čistého křemíku. Výroba je tedy energeticky velmi náročná a nehospodárná.

Zejména z výše uvedených důvodů se dostává do popředí fotovoltaika koncentrovaná, neboli CPV (Concentrated Photovoltaics), kde hlavní myšlenka spočívá v koncentraci sluneční energie do malého bodu pomocí optického koncentrátoru. Do ohniska soustavy je umístěn malý fotovoltaický čip na bázi sloučenin GaAs vyrobený epitaxní technologií MOVPE¹. Průměr bodu, do kterého jsou sluneční paprsky koncentrovány se typicky pohybuje od 2 do 10 mm. Optický koncentrátor je zpravidla řešen buď spojnou čočkou nebo zrcadlem. Hodnota optické koncentrace je dána poměrem plochy čočky a plochy čipu, přičemž typické hodnoty se pohybují v rozmezí 200 – 1000 x. Tento koncentrační poměr je také označován jako počet sluncí, kdy hodnota 500 znamená, že plocha čočky je 500 x větší než plocha fotovoltaického čipu. Účinnost solárních článků na bázi GaAs v laboratorních podmínkách dosahuje přibližně dvojnásobku účinnosti křemíkových článků, tedy cca 42 %. Pokles účinnosti v porovnání s křemíkovými články je přibližně poloviční.

Koncentrovaná fotovoltaika je tedy vhodná zejména tam, kde nelze použít křemíkovou fotovoltaiku z důvodů vysoké okolní teploty, tedy oblastech ležících v subtropickém a tropickém pásu.

¹ MOVPE (Metalorganic vapour phase epitaxy) - Touto technologií jsou vyráběny solární články pro kosmické účely, využívají se zejména sloučeniny na bázi GaAs pro svou vysokou účinnost a vynikající odolnost vůči kosmickému záření. Tento materiál tedy tvoří základ pro solární články umístěné na družicích, či ISS.

Porovnání CPV a Si technologie

Základní srovnání obou technologií je uvedeno v Tab. 1. Z tabulky plyne, že u parametrů jako je účinnost přeměny energie a teplotní koeficient poklesu výkonu v závislosti na teplotě, technologie CPV dává přibližně dvojnásobně lepší výsledky než technologie Si. Relativní nevýhodou technologie CPV je potřeba přímého slunečního záření, neboť koncentrátor nedokáže soustředit rozptýlené (difúzní) světlo na povrch čipu. V praxi pak dochází ke značným výkyvům generovaného výkonu v závislosti na přechodu oblačnosti přes sluneční disk. Předpokladem tedy je použití této technologie v oblastech subtropického a tropického pásu, kde je velký počet slunečných dnů v roce.

Z principu optické soustavy vyplývá, že je u CPV nutné rovinu solárního panelu (a tedy i rovinu čipu) neustále udržovat kolmo k přicházejícím slunečním paprskům, jinak dochází k znatelným optickým ztrátám a poklesu účinnosti přeměny energie. Nevýhodou CPV je tedy potřeba přesného natáčecího systému, který musí být cenově přijatelný a hlavně spolehlivý v dlouhém časovém horizontu.

Velmi důležité také je, že množství potřebného polovodičového materiálu, které je třeba k výrobě čipů o stejném výkonu, je u CPV 1000 x menší než u křemíku. Je to dáno právě koncentrací sluneční energie, kdy „chybějící“ plochu čipu CPV nahrazuje plocha čočky.

Tab. 1– Porovnání koncentrované a křemíkové fotovoltaiky

CPV	Křemíková technologie
Účinnost – 42 %	Účinnost – 23 %
Teplotní koeficient poklesu maximálního výkonu - 0,106 % / K	Teplotní koeficient poklesu maximálního výkonu - 0,35 % / K
Potřeba natáčecího systému	Není třeba natáčecí systém
Malé množství polovodičového materiálu	Je třeba cca 1000 x krát větší množství polovodičového materiálu než u CPV
Velikost potřebné plochy panelů pro 1 kW – cca 5 m ²	Velikost potřebné plochy panelů pro 1 kW – cca 10 m ²
Vyžaduje přímé sluneční záření	Nevyžaduje přímé sluneční záření

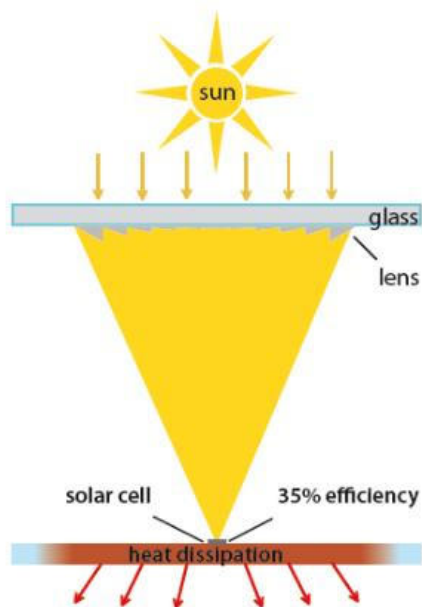
Celkově lze konstatovat, že obě technologie mají své místo a nejsou určeny k tomu, aby jedna vytlačila tu druhou. CPV technologie je zkrátka vhodná tam, kde je nevhodné použití křemíkové technologie a naopak.

Princip optického koncentrátoru

Hlavní důvod, proč se snažíme zvýšit koncentraci (hustotu) záření je snaha ušetřit polovodičový materiál, který je drahý. Plochu ušetřeného polovodičového materiálu lze v principu nahradit plochou čočky, jejíž cena vychází mnohem příznivěji.

Zvýšit hustotu záření resp. provést jeho koncentraci lze např. pomocí Fresnelovy čočky. Optimální volba sluneční koncentrace se pohybuje v rozmezí 200 x – 1000 x a její přesná hodnota je kompromisem mezi účinností čipu, velikostí čipu a schopností čipu uchládit.

Fresnelova čočka spolu s čipem jsou znázorněny na Obr. 1. Fresnelova čočka soustřeďuje sluneční záření do svého ohniska, kde je umístěn solární čip vyrobený ze sloučenin GaAs. Vzhledem k spektrální citlivosti čipu, která je v rozmezí cca 300 – 1800 nm je nutné, aby se spektrální charakteristika materiálu, ze kterého je čočka vyrobena, překrývala se spektrální charakteristikou solárního čipu. To samé přirozeně platí pro všechny další materiály, které vstupují do cesty slunečnímu záření, např. různé hermetizační hmoty, sekundární koncentrátory, atp.



Obr. 1 - Znázornění principu koncentrace slunečního záření pomocí Fresnelovy čočky
(zdroj: <http://www.solartec-ag.com>)

Z principu je zřejmé, že musí být splněna celá řada opatření k dlouhodobé spolehlivosti celého systému, neboť v prostoru čipu pracujeme s vysokými hustotami výkonu. Uvědomme si, že hustota záření na povrchu čipu při koncentraci 500x a intenzitě slunečního záření $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ je $50 \text{ W} / \text{cm}^2$. Čip je tedy třeba odpovídajícím způsobem chládit.

Pokud vložíme soustavu čipů a čoček do solárního panelu, vznikne sestava uvedená na Obr. 2. Tento solární panel obsahuje 100 solárních čipů a stejný počet Fresnelových čoček. Jeho rozměry jsou 560 x 560 mm, aktivní plocha $0,25 \text{ m}^2$ a maximální výstupní výkon cca 55 W při intenzitě záření $1000 \text{ W} / \text{m}^2$.

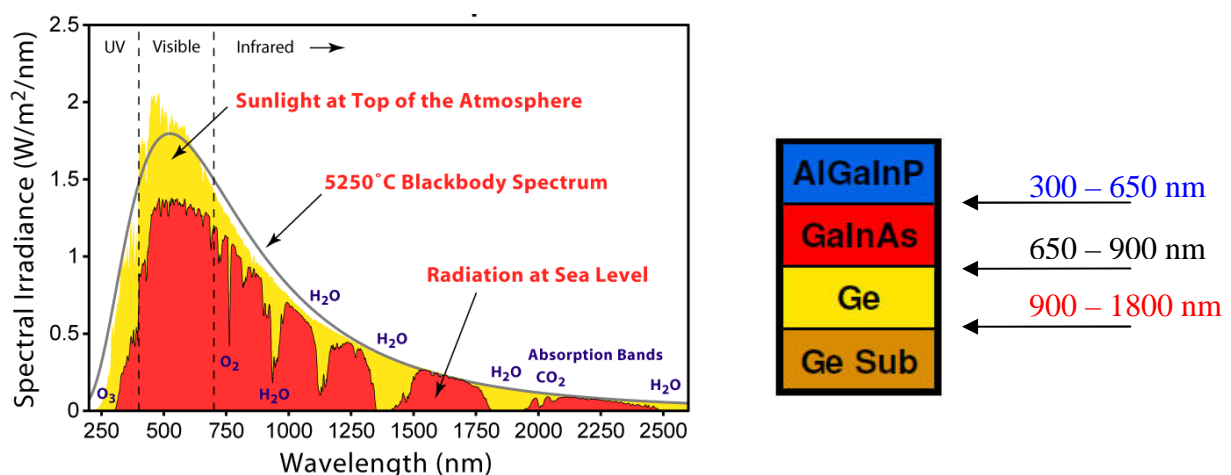


Obr. 2 – Solární panel s celkovou plochou 0,25m² vyvinutý v Elceram

Solární články vyvinuté v Elceram a TTS

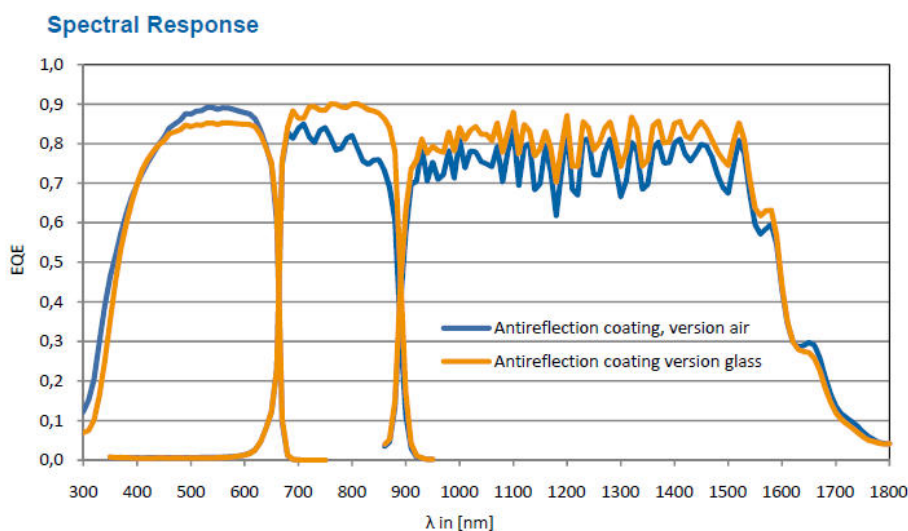
Důvod, proč je účinnost solárních čipů na bázi GaAs téměř dvojnásobná v porovnání s křemíkovými čipy, spočívá v lepším využití energetického slunečního spektra AM1.5 (označeno červeně), viz. Obr. 3 – vlevo.

Toho je dosaženo pomocí vícevrstvé polovodičové struktury čipu, která je schematicky znázorněna na Obr. 3 vpravo. V principu se jedná o tři PN přechody propojené do série, kde každý přechod je citlivý jen v určité části spektra. Jedná se tedy o polovodičovou heterogenní strukturu podobně jako u LED diod a polovodičových laserů, přičemž tloušťky jednotlivých polovodičových vrstev dosahují pouze desítek nanometrů.



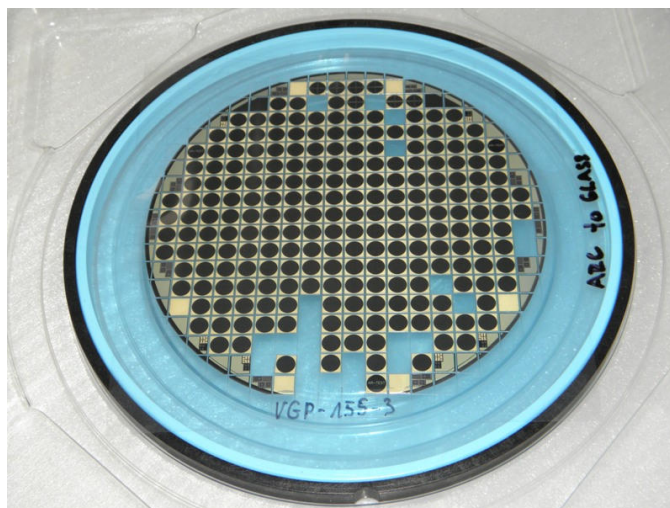
Obr. 3 Sluneční spektrum AM1.5 (červená plocha) – na obrázku vlevo, Schematické znázornění polovodičových přechodů – na obrázku vpravo
Zdroj: <http://org.ntnu.no>, www.azurspace.de

Spektrální charakteristika solárních čipů, které Elceram používá, je uvedena na Obr. 4. Spektrální charakteristika má tři části, kde každá odpovídá spektrální charakteristice jednoho ze tří přechodů uvedených na Obr. 3 vpravo. Pokud bychom porovnali tuto charakteristiku s charakteristikou křemíkového čipu zjistíme, že křemík přestává absorbovat vlnové délky záření, které jsou větší než cca 1200 nm. Toto je jeden z důvodů, proč se u technologie CPV dosahuje vyšších účinností. Poznamenejme, že solární čipy byly zákaznickým způsobem vyvinuty ve spolupráci s německým výrobcem solárních čipů AZUR SPACE Solar Power GmbH.



Obr. 4 - Spektrální charakteristika solárních čipů Elceram

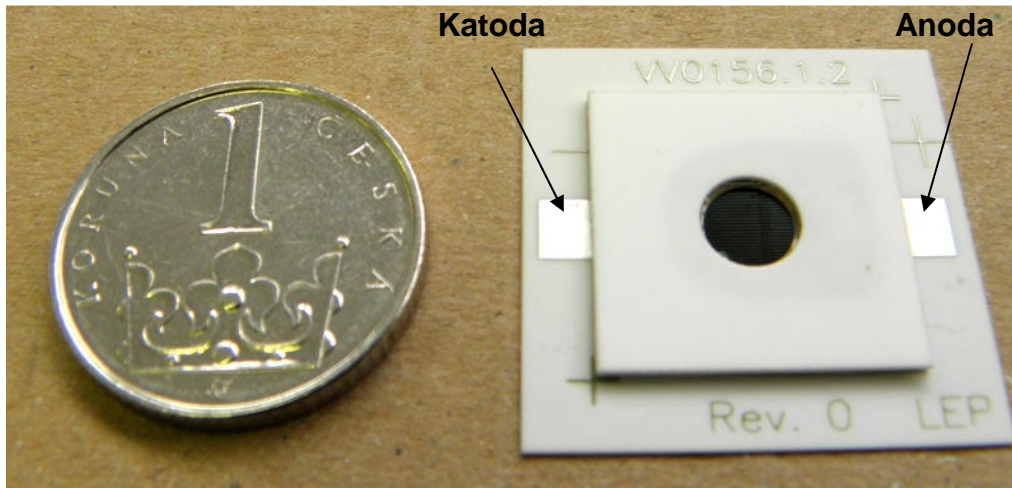
Samotné solární čipy, připravené k montáži na keramický substrát, jsou uvedeny na Obr. 5. Tyto čipy tvoří základ solárních článků vyvinutých v Elceram.



Obr. 5 – Wafer vyrobený technologií MOVPE v AZUR SPACE Solar Power GmbH v Německu.

Na Obr. 6 je fotografie poslední verze solárního článku Elceram, který je připraven pro montáž do solárního panelu. Základem solárního článku je pokovená keramická destička na níž je nakontaktován solární čip. Uvnitř keramického pouzdra je přemostovací dioda, která plní ochrannou funkci v případě poruchy či zastínění čipu. Tento článek dosahuje nejvyšší

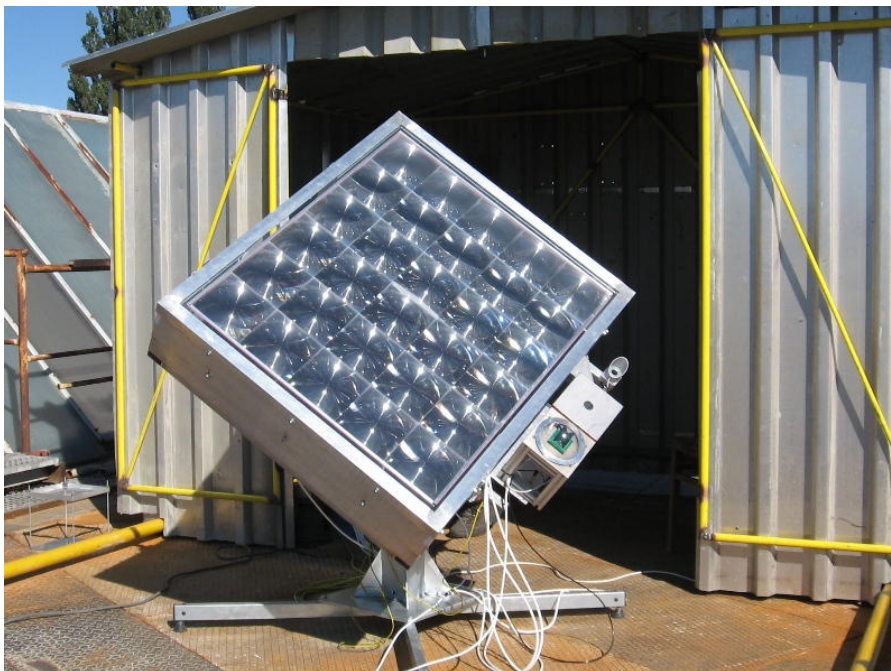
účinnosti 38 % při koncentraci 500 x. Při této koncentraci čip generuje maximální výkon cca 3,5 W. Je třeba doplnit, že tato účinnost platí pouze pro ideální optický koncentrátor. Při praktických měřeních, kdy není zanedbávána účinnost optického koncentrátoru, se celková účinnost článku pohybuje max. do 33 %.



Obr. 6 – Solární článek Elceram na keramickém substrátu.

Měřicí pracoviště v ELCERAM a TTS

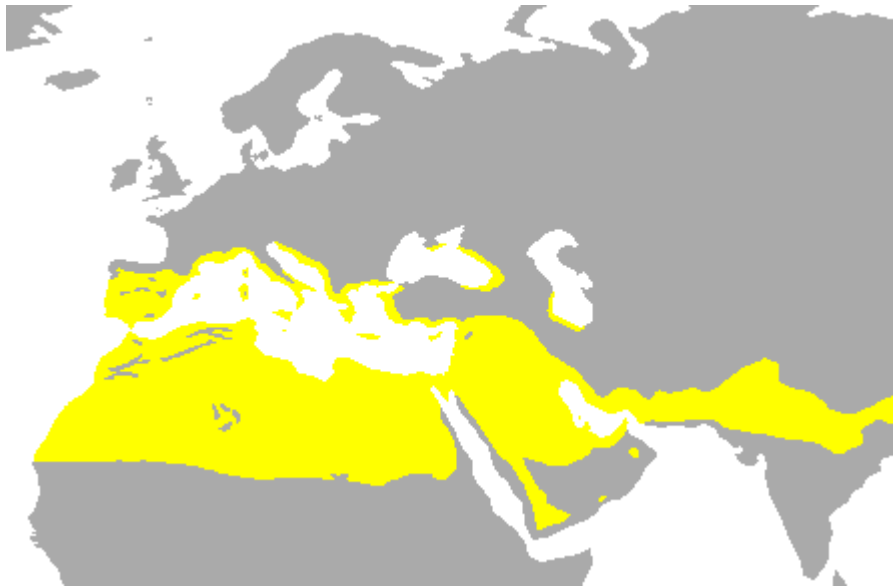
Pro solidní měření komponentů vyrobených technologií CPV je třeba disponovat zařízením, které dokáže měřit intenzitu slunečního svitu. K tomuto účelu využíváme pyrliometr, který měří intenzitu záření v celém slunečním spektru. Tato informace se využívá ke stanovení účinnosti měřené soustavy. Další nezbytnou součástí je sluneční navigace, která má za úkol měnit natočení panelu tak, aby byl panel po celý slunečný den svou rovinou kolmo na přicházející paprsky. Obě zařízení jsou umístěna na pravé straně solárního panelu, viz. Obr. 7.



Obr. 7 - Solární panel včetně navigační jednotky a měřiče intenzity oslunění - pyrliometru

Geografické oblasti uplatnění

Poměrně velká elektrárna koncentrátorového typu je již testována ve Španělsku a je provozována německou společností Concentrix. Elektrárna má asi 100 MW instalovaného výkonu ve zkušebním provozu. Dále existuje celá řada společností, zejména v USA, které mají několik MW či kW opět v testovacích provozech. Na Obr. 8 je žlutou barvou vyznačen subtropický pás, který zhruba odpovídá oblastem, které jsou v Evropě a jejím okolí vhodné pro tuto technologii. Je třeba mít napaměti, že nejvíce vhodná místa jsou ta, která neleží přímo u moře, neboť vysoký obsah vodní páry má negativní účinek na účinnost elektrárny.



Obr. 8 - Oblasti uplatnění otovoltických elektráren– vyznačeno žlutě
Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Subtropical.png>

Závěr

Jak již bylo řečeno, technologie CPV je vhodná zejména pro geografické polohy, kde nelze použít klasickou křemíkovou technologii. Jedná se přitom o velmi rozsáhlé neúrodné oblasti, kde je vysoký počet slunečných dnů v roce a kde by křemíkové elektrárny, díky své malé účinnosti při vysoké teplotě, pracovaly s velmi nízkou účinností. Při umístění panelů typu CPV na poušť, je však třeba řešit nelehkou otázku dopravy energie na velké vzdálenosti a z tohoto pohledu se jeví jako vhodná alternativa stavět tyto elektrárny blízko „spotřebiče“. Takových míst, kde je třeba energie, jsou tam vysoké teploty a slunečno, je na světě víc než dost.

Projekt

Název projektu: Fotovoltaické solární panely s GaAs čipy a optickým koncentrátorem.
Tento projekt je spolufinancován z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO.

Literatura

- [1] RNDr. Jaroslav Merta, CSc, Ing. Jan Johan, Ing. Vratislav Gábrt, Ing. Jan Hömig: *Fotovoltaické solární panely s GaAs čipy a optickým koncentrátorem, vývojové zprávy, rok 2009, 2010*
- [2] Roger A. Messenger, Jerry Ventre: *Photovoltaic Systems Engineering*, 2004
- [3] R. Leutz, A. Suzuki: *Nonimaging Fresnel Lenses*, 2001
- [4] Mary D. Archer, Robert Hill: *Clean electricity from photovoltaics*, 1999
- [5] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Subtropical.png>
- [6] <http://org.ntnu.no>
- [7] <http://www.solartec-ag.com>
- [8] <http://www.azurspace.com/>