



## DESCRIPTION

$\beta$ -BBO-Kristall – ein weit verbreiteter nichtlinearer Kristall zur Frequenzumwandlung im ultravioletten, sichtbaren und nahen Infrarot

Der BBO-Kristall ist einer der wichtigsten nichtlinearen optischen Kristalle. Beta-Bariumborat ( $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,  $\beta$ -BBO) kombiniert viele herausragende Merkmale wie hohe nichtlineare optische Koeffizienten, geringe Gruppengeschwindigkeitsdispersion und einen breiten Transparenzbereich (189–3500 nm) und hohe Schadensschwelle. Diese einzigartige Kombination stellt sicher, dass  $\beta$ -BBO-Kristall ein vielversprechender Kandidat für eine Vielzahl nichtlinearer optischer Anwendungen wie Frequenzumrichter und optisch parametrische Oszillatoren sind. Im Bereich der Quantenoptik kann der  $\beta$ -BBO-Kristall verwendet werden, um verschränkte Photonenpaare und eine Zehn-Photonen-Verschränkung zu erzeugen.

Der nichtlineare BBO-Kristall ist ein negativer einachsiger Kristall, der eine Phasenanpassung für verschiedene Wechselwirkungen zweiter Ordnung fast über seinen gesamten Transparenzbereich (von 185 nm bis 3,3  $\mu$ m, wie aus den Transmissionsmessungen unter Verwendung von Kristallproben mit einer Dicke von mehreren mm abgeleitet), was es zu einem weit verbreiteten Kristall für die nichtlineare Frequenzumwandlung im ultravioletten, sichtbaren und Nah-Infrarot macht. In dieser Hinsicht ist der BBO-Kristall der wichtigste nichtlineare Kristall für optisch parametrisch geschirpte Impulsverstärker im nahen Infrarot, die derzeit nur wenige optische Zyklusimpulse mit hohen durchschnittlichen und ultrahohen Spitzenleistungen liefern.



## PARAMETER

### PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Eigenschaft	Wert
Chemische Formel	BaB <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Kristall Struktur	trigonal, 3m
Gitter Parameter	a=b=12.532Å, c=12.717Å, Z=6
Massen Dichte	3.85 g/cm <sup>3</sup>
Härte (Mohs)	4
Schmelz Punkt	quasi 1095°C
Wärme Leitfähigkeit	1.2 W/m/K (⊥c); 1.6 W/m/K (//c)
Wärme Ausdehnungs Koeffizient	α, 4×10 <sup>-6</sup> /K; c, 36×10 <sup>-6</sup> /K
Doppelbrechung	negativ einachsig

### LINEARE OPTISCHE EIGENSCHAFTEN

Eigenschaft	Wert
Transparenzbe Reich	189 – 3500 nm
Absorptions Koeffizient	α<0.1%/cm @1064nm
Brechungs Indizes	
bei 1.0642 μm	n <sub>e</sub> = 1.5425, n <sub>o</sub> = 1.6551
bei 0.5321 μm	n <sub>e</sub> = 1.5555, n <sub>o</sub> = 1.6749
bei 0.2660 μm	n <sub>e</sub> = 1.6146, n <sub>o</sub> = 1.7571
Sellmeier-Gleichungen (λ in μm)	$n_o^2(\lambda) = 2.7359 + 0.01878 / (\lambda^2 - 0.01822) - 0.01354 \lambda^2$ $n_e^2(\lambda) = 2.3753 + 0.01224 / (\lambda^2 - 0.01667) - 0.01516 \lambda^2$



## NICHTLINEARE OPTISCHE EIGENSCHAFTEN

Eigenschaft	Wert
SHG-Phase Nanpassungsbe reich	409.6 $\times$ 3500nm (Typ I); 525 $\times$ 3500nm (Typ II)
NLO-Koeffizienten	d11= 5.8 x d36(KDP); d31 = 0.05 x d11; d22< 0.05 x d11 deff(I)=d31sin $\theta$ + (d11cos3 $\varphi$ – d22sin3 $\varphi$ )cos $\theta$ deff(II)=(d11sin3 $\varphi$ + d22cos3 $\theta$ )cos2 $\theta$
Thermooptische Koeffizienten	dno/dT = – 9.3 x 10-6/°C dne/dT = -16.6 x 10-6/°C
Elektro-optische Koeffizienten	g11= 2.7 pm/V, g22, g31< 0.1 g11
Halb Wellen Spannung	48 KV (bei 1064 nm)
Schaden Sschwelle	
Bei 1.064 $\mu$ m	5 GW/cm2 (10 ns); 10 GW/cm2 (1.3 ns)
Bei 0.532 $\mu$ m	1 GW/cm2 (10 ns); 7 GW/cm2 (250 ps)

## LINEARER ABSORPTIONS KOEFFIZIENT

$\lambda$ [ $\mu$ m]	$\alpha$ [cm <sup>-1</sup> ]	Hinweis
0.1934	1.39	T =295K
	0.29	T =91K
0.213	<0.21	beste Kristalle
	0.04 $\pm$ 0.01	c
0.264	0.06 $\pm$ 0.003	$\perp$ c, o-Welle
	0.10 $\pm$ 0.003	$\perp$ c, e-Welle
0.2661	<0.17	beste Kristalle
	0.04–0.15	
0.5321	0.01	
	<0.01	
1	0.001–0.002	
1.0642	<0.001	
2.09	0.0085	e-Welle
	0.07	o-Welle
2.55	0.5	



## ZWEI PHOTONEN ABSORPTIONS KOEFFIZIENT

$\lambda[\mu\text{m}]$	$\tau_p$ [ns]	$\beta \times 10^{11} [\text{cm/W}]$	Hinweis
0.211	0.0009	243±85	$\theta = 30^\circ, \varphi = 0^\circ$
	0.0008	93±33	$\theta = 30^\circ, \varphi = 0^\circ$
0.264	0.00022	68±6	c
		66±7	⊥c, o-Welle
		47±5	⊥c, e-Welle
	0.0002	61	$\theta = 48^\circ$
0.2661	0.015	90±10	c
0.3547	0.017	1.0±0.2	c

## EXPERIMENTELLE WERTE VON BRECHUNGS INDIZES

$\lambda[\mu\text{m}]$	$n_o$	$n_e$
0.40466	1.69267	1.56796
0.43583	1.68679	1.56376
0.46782	1.68198	1.56024
0.47999	1.68044	1.55914
0.50858	1.67722	1.55691
0.54607	1.67376	1.55465
0.57907	1.67131	1.55298
0.5893	1.67049	1.55247
0.64385	1.66736	1.55012
0.8189	1.66066	1.54589
0.85212	1.65969	1.54542
0.89435	1.65862	1.54469
1.014	1.65608	1.54333

## NICHTLINEARER BRECHUNGS INDEX

$\lambda[\mu\text{m}]$	$\gamma \times 10^{15} [\text{cm}^2/\text{W}]$	Hinweis
0.2661	0.025±0.008	c
0.3547	0.36±0.08	c
0.5321	0.55±0.10	c
0.78	0.40±0.05	[100] Richtung
	0.32±0.05	[010] Richtung
0.85	0.37 ±0.06	$\theta = 29.2^\circ$ , $\varphi = 0^\circ$
1.0642	0.29 ±0.05	c

## EXPERIMENTELLE WERTE DES PHASE ANPASSUNGS WINKELS (T = 293K)

Wechselwirkende Wellenlängen [ $\mu\text{m}$ ]	$\theta_{\text{exp}}$ [deg]
SHG, o+o $\Rightarrow$ e	
0.4096 $\Rightarrow$ 0.2048	90
0.41 $\Rightarrow$ 0.20	90
0.41152 $\Rightarrow$ 0.20576	82.8
0.41546 $\Rightarrow$ 0.20773	79.2
0.418 $\Rightarrow$ 0.209	77.3
0.429 $\Rightarrow$ 0.2145	71
0.4765 $\Rightarrow$ 0.23825	57
0.488 $\Rightarrow$ 0.244	54.5
0.4965 $\Rightarrow$ 0.24825	52.5
0.5106 $\Rightarrow$ 0.2553	50/50.6
0.5145 $\Rightarrow$ 0.25725	49.5
0.5321 $\Rightarrow$ 0.26605	47.3/47.5/47.6/48
0.589 $\Rightarrow$ 0.2945	41.5
0.604 $\Rightarrow$ 0.302	40
0.6156 $\Rightarrow$ 0.3078	39
0.616 $\Rightarrow$ 0.308	38
0.70946 $\Rightarrow$ 0.35473	32.9/33/33.1/33.3/33.7
0.78 $\Rightarrow$ 0.39	31/30
0.8 $\Rightarrow$ 0.4	26.5
0.946 $\Rightarrow$ 0.473	24.9

1.0642⇒0.5321	22.7/22.8
SFG, o+o ⇒e	
0.73865+0.25725⇒0.1908	81.7
0.72747+0.26325⇒0.1933	76
0.5922+0.2961⇒0.1974	88
0.5964+0.2982⇒0.1988	82.5
0.5991+0.29955⇒0.1997	80
0.60465+0.30233⇒0.20155	76.2
0.5321+0.32561⇒0.202	83.9
0.6099+0.30495⇒0.2033	73.5
0.5321+0.34691⇒0.21	71.9
0.7736+0.25787⇒0.1934	70.7
0.5321+0.35473⇒0.21284	70
0.51567+0.38675⇒0.221	64.7
0.804+0.268⇒0.201	64
0.75+0.375⇒0.25	61.7
1.0642+0.26605⇒0.21284	51.1
0.78+0.373⇒0.2523	47.4
1.0642+0.298⇒0.23281	46.1
0.5782+0.5106⇒0.27115	46
0.59099+0.5321⇒0.28	44.7
0.78+0.43⇒0.2772	43.4
1.0642+0.35473⇒0.26605	40.2
1.0641+0.53205⇒0.3547	31.3
1.0642+0.5321⇒0.35473	31.1/31.3/31.4
2.68823+0.5712⇒0.4711	21.8
1.41831+1.0642⇒0.608	21
SHG, e+o ⇒e	
0.5321⇒0.26605	81
0.70946⇒0.35473	48/48.1
1.0642⇒0.5321	31.6/32.4/32.7/32.9
SFG, e+o ⇒e	
1.0642+0.35473⇒0.26605	46.6
1.0642+0.5321⇒0.35473	38.4/38.5
SFG, o+e ⇒e	
1.0642+0.5321⇒0.35473	59.8



## BERECHNETE WERTE DER INVERSEN GRUPP ENGESCHWINDIGKEITSFEHLANPASSUNG FÜR DEN SHG-PROZESS IN BBO

Wechselwirkende Wellenlängen [ $\mu\text{m}$ ]	$\theta_{\text{pm}}[\text{deg}]$	$\beta[\text{fs/mm}]$
SHG, o+o $\Rightarrow$ e		
1.2 $\Rightarrow$ 0.6	21.18	54
1.1 $\Rightarrow$ 0.55	22.28	76
1.0 $\Rightarrow$ 0.5	23.85	104
0.9 $\Rightarrow$ 0.45	26.07	141
0.8 $\Rightarrow$ 0.4	29.18	194
0.7 $\Rightarrow$ 0.35	33.65	275
0.6 $\Rightarrow$ 0.3	40.47	415
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	38.4	0.0015
SHG, e+o $\Rightarrow$ e		
1.2 $\Rightarrow$ 0.6	29.91	103
1.1 $\Rightarrow$ 0.55	31.46	130
1.0 $\Rightarrow$ 0.5	33.73	164
0.9 $\Rightarrow$ 0.45	36.98	210
0.8 $\Rightarrow$ 0.4	41.67	276
0.7 $\Rightarrow$ 0.35	48.74	373
0.6 $\Rightarrow$ 0.3	60.91	531

## LASER INDUZIERTE SCHWELLE FÜR OBERFLÄCHENSCHÄDEN

$\lambda[\mu\text{m}]$	$\tau_p[\text{ns}]$	$I_{\text{thr}}[\text{GW/cm}^2]$	Hinweis
0.266	10	0.15	10Hz
0.355	10	0.5	10Hz
0.51–0.58	20	1	4–14kHz
0.532	10	1.3	10Hz
1.064	10	2.6	10Hz

## LASER INDUZIERTE SCHWELLE FÜR MASSENSCHÄDEN

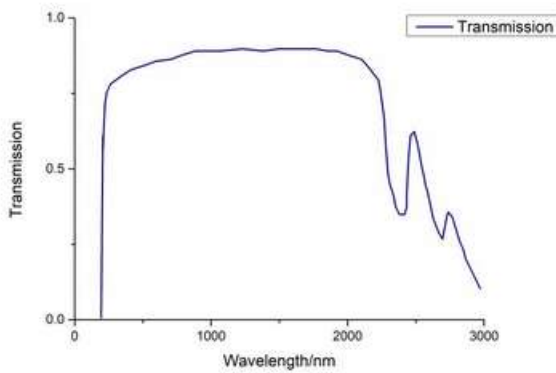
$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\tau_p$ [ns]	$I_{thr}$ [GW/cm <sup>2</sup> ]	Hinweis
0.2661	10	0.3	10Hz
	8	>0.12	
		2	gezüchtet nach der Czochralski-Methode (CZ-BBO)
		3	gezüchtet nach der Flussmethode (Fluss-BBO)
		3.4	CZ-BBO, getempert bei 1193 K (50 Stunden)
0.308	12	>0.2	
	10	0.9	10Hz
	8	25	1 Impuls
0.3547		19	1800 Impulse
	0.03	>0.4	10Hz
	0.015	>3	
0.4	0.0002	>150	10Hz
0.5106	20	>0.25	4kHz
0.51–0.58	20	10	
0.5145	CW	>0.0004	
	10	2.3	10Hz
0.5321	8	48	1 Impuls
		32	1800 Impulse
0.62	0.0002	>50	
0.6943	0.02	10	
0.8	0.000025	>3400	1–5kHz
0.85	0.00025	>93	1kHz
1.054	0.005	50	
	14	50	1 Impuls
1.0642		23	1800 Impulse
	10	4.5	10Hz



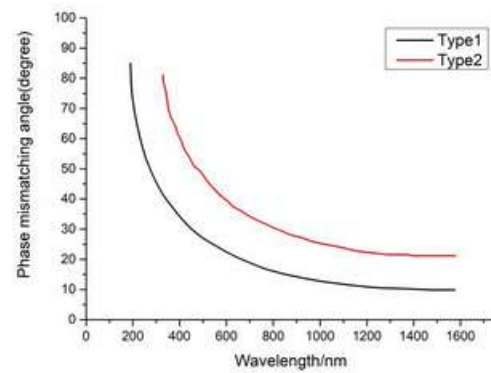
## ANDERE PARAMETER

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient		
T [K]	$\alpha_t \times 10^6 [K^{-1}],   c$	$\alpha_t \times 10^6 [K^{-1}], \perp c$
293	0.36	-2.54
Mittelwert des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten		
T [K]	$\alpha_t \times 10^6 [K^{-1}],   c$	$\alpha_t \times 10^6 [K^{-1}], \perp c$
298-1173	36	4
Spezifische Wärmekapazität bei P = 0,101325 MPa		
T [K]	$c_p [J/kgK]$	
298	490/496	
Wärmeleitfähigkeitskoeffizient		
K[W/mK],   c	K[W/mK], $\perp c$	
0.8	0.08	
1.6	1.2	

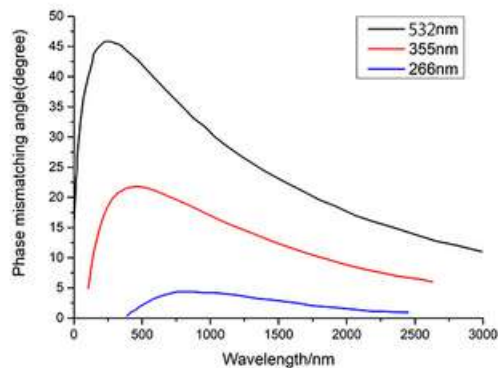
## SPECTRUMS



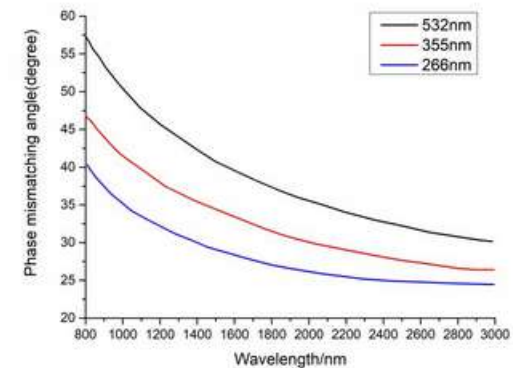
BBO-Übertragungsspektrum



SHG-Abstimmkurven von BBO



OPO-Abstimmkurven von BBO (Typ I (ooe)) mit unterschiedlichem Pumplicht, nämlich 530 nm, 355 nm und 266 nm



OPO-Abstimmkurven von BBO (Typ II (eoe)) mit unterschiedlichem Pumplicht, nämlich 530 nm, 355 nm und 266 nm

## EXPERIMENTELLE WERTE DER INTERNEN WINKEL-, TEMPERATUR UND SPEKTRALBANDBREITEN BEI T = 293K

Wechselwirkende Wellenlängen [ $\mu\text{m}$ ]	$\theta_{\text{pm}}$ [deg]	$\Delta\theta_{\text{int}}$ [deg]	$\Delta T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\Delta\nu$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]
SHG, o+o $\Rightarrow$ e				
1.0642 $\Rightarrow$ 0.5321	22.8	0.021	37	9.7
	22.7	0.03	51	
0.5321 $\Rightarrow$ 0.26605	47.3	0.01	4	
0.53 $\Rightarrow$ 0.265	47.6(298K)	0.006		
SFG, o+o $\Rightarrow$ e				
1.0641+0.53205 $\Rightarrow$ 0.3547	31.3	0.011		
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	31.1	0.015	16	
2.44702+0.5712 $\Rightarrow$ 0.4631	22.1	0.026		
2.68823+0.5712 $\Rightarrow$ 0.4711	21.8	0.028		
SHG, e+o $\Rightarrow$ e				
1.0642 $\Rightarrow$ 0.5321	32.7	0.034		8.8
	32.4	0.046	37	
SFG, e+o $\Rightarrow$ e				
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	38.4	0.02	13	
SFG, o+e $\Rightarrow$ e				
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	58.4	0.05	12	

## TEMPERATUR ÄNDERUNG DES PHASE-NANPASSUNGS WINKELS BEI T = 293K

Wechselwirkende Wellenlängen [ $\mu\text{m}$ ]	$\theta_{\text{pm}}$ [deg]	$d\theta_{\text{pm}}/dT$ [deg/K]
SHG, o+o $\Rightarrow$ e		
0.5321 $\Rightarrow$ 0.26605	47.3	0.0025
1.0642 $\Rightarrow$ 0.5321	22.7	0.00057
SFG, o+o $\Rightarrow$ e		
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	31.1	0.00099
SHG, e+o $\Rightarrow$ e		
1.0642 $\Rightarrow$ 0.5321	32.4	0.0012
SFG, e+o $\Rightarrow$ e		
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	38.4	0.0015
SFG, o+e $\Rightarrow$ e		
1.0642+0.5321 $\Rightarrow$ 0.35473	58.4	0.00421



## FEATURES

- Der Übertragungsbereich reicht von 190 nm bis 3500 nm
- Gute physikalische Eigenschaften
- Geeignete mechanische Eigenschaften
- Der effektive SHG-Koeffizient (Second-Harmonic Generation) ist groß
- Schadensschwelle von 100 ps Puls mit 10 J / cm<sup>2</sup> bei 1064 nm
- Der Bereich der Phasen Anpassung ist groß von 409,6 nm bis 3500 nm
- Die Temperaturbandbreite beträgt ca. 55 ° C.
- Die optische Homogenität ist hoch:  $\delta n \approx 10^{-6}$  / cm

## ANWENDUNG

- Material bearbeitung
- 266nm Laser
- Optische Kommunikation
- 1600nm Laser
- Radar und Reichweite
- Abstimmbarer Laser mit 1064 nm, 532 nm und 355 nm
- Medizinische Anwendungen
- 532nm Laser
- 1064nm Laser
- Laser mit zwei Wellenlängen (1064 nm, 532 nm)
- 620-670nm OPO abstimmbarer gepulster Laser

