

POMIAR SPRAWNOŚCI PRZETWARZANIA DRUGIEJ HARMONICZNEJ ŚWIATŁA UWZGLĘDNIAJĄCY ODBITE SYGNAŁY POMIAROWE

Artur MACIĄG

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny
tel.: (34) 3250 822 e-mail: arturmaciag@o2.pl

Streszczenie: Pomiary sprawności generacji drugiej harmonicznej światła dla próbek materiałów nieliniowo optycznych odnoszą się głównie do kryształu jako obiektu makroskopowego. Nowootrzymywane związki chemiczne nie zawsze stwarzają możliwość wyhodowania jednolitych i wystarczająco dużych kryształów. Niniejsze opracowanie opisuje propozycję nowego sposobu pomiaru sprawności generacji drugiej harmonicznej światła dla nietransparentnych próbek proszkowych. Podstawową różnicą względem powszechnie stosowanych metod pomiaru jest umieszczenie detektora pierwszej i drugiej harmonicznej w obszarze strumienia światła odbitego od badanej próbki materiału. Zarejestrowane w proponowany sposób sygnały mimo iż mają mniejszą amplitudę względem typowej metody, są mniej zniekształcone i zakłócone przez czynniki zewnętrzne.

Słowa kluczowe: Optyka nieliniowa, druga harmoniczna światła, lasery.

1. MECHANIZM POWSTAWANIA WYŻSZYCH HARMONICZNYCH ŚWIATŁA

Przyłożenie pola elektrycznego o wektorze składowej elektrycznej natężenia E wywołuje polaryzację dielektryków [1]. Opis polaryzacji dielektryka (pomijając dla uproszczenia zależności wektorowe i opierając się wyłącznie na równaniach skalarnych) będzie wyrażany wzorem (1):

$$P = aE + bE^2 + \dots \quad (1)$$

gdzie: P – polaryzacja ośrodka dielektryka, E – natężenie pola elektrycznego, a , b – współczynniki polaryzacji kolejnych rzędów.

Założmy, że ośrodek o polaryzacji drugiego rzędu znajdzie się pod wpływem polaryzacji o sinusoidalnie zmiennym przebiegu czasowym, wyrażonym wzorem (2):

$$E = E_0 \cos \omega t \quad (2)$$

gdzie: E_0 – amplituda natężenia pola elektrycznego, ω – pulsacja fali natężenia pola elektrycznego, t – czas.

Zestawiając ze sobą wzory (1) i (2) otrzymuje się zależność na polaryzację ośrodka nieliniowego przy wymuszeniu sinusoidalnym (3):

$$P = aE_0 \cos \omega t + \frac{1}{2}bE_0^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{2}bE_0^2 \quad (3)$$

Równanie (3) składa się z sumy trzech składowych:
– składowej pierwszej harmonicznej (4):

$$P(\omega) = aE_0 \cos \omega t \quad (4)$$

– składowej drugiej harmonicznej (5):

$$P(2\omega) = \frac{1}{2}bE_0^2 \cos 2\omega t \quad (5)$$

– składowej stałej (6):

$$P(0) = \frac{1}{2}bE_0^2 \quad (6)$$

Za generację drugiej harmonicznej światła odpowiada składowa opisana wzorem (5). Warunkiem koniecznym dla generacji drugiej harmonicznej światła jest więc niezerowy współczynnik polaryzacji drugiego rzędu. Warunek ten jest spełniony dla kryształów o niecentrosymetrycznej budowie sieci krystalicznej. Sprawność generacji drugiej harmonicznej zależy również od dopasowania fazowego, dopasowania współczynników załamania, opóźnienia grupowego fali w ośrodku [1].

Pomiary i analiza generacji drugiej harmonicznej światła w ośrodkach kryształów niecentrosymetrycznych sprowadza się głównie do rozpatrywania tego zjawiska w znacznej objętości kryształu. Generacja wyższych harmonicznych światła na powierzchni jest zwykle o rząd większości mniejsza niż w przypadku całej objętości kryształu. Mimo mniejszych generowanych mocy, badania generacji drugiej harmonicznej na powierzchni materiałów dostarczają informacji o strukturze, składzie lub zanieczyszczeniu materiału. Badania takie dają również informację na temat zjawisk występujących na styku dwóch ośrodków co ma miejsce w światłowodach [2].

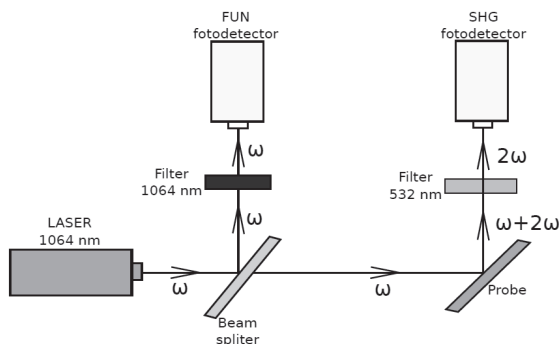
Moc odbitej drugiej harmonicznej światła jest zależna od kąta, polaryzacji oraz podatności na generację drugiej harmonicznej powierzchni próbki. Ponadto wpływ na sprawność generacji drugiej harmonicznej ma również współczynnik głębokość penetracji fali elektromagnetycznej wewnątrz badanego materiału i przepuszczalności Fresnela.

Pomiary odbitej drugiej harmonicznej światła niosą głównie informację o tensorze podatności nieliniowej drugiego rzędu powierzchni. Ma to znaczenie w dziedzinie badań podatności próbek nieprzezroczystych oraz próbek proszkowych [2].

2. TYPOWA METODA POMIARU SPRAWNOŚCI GENERACJI DRUGIEJ HARMONICZNEJ ŚWIATŁA

Typowa metoda pomiaru sprawności generacji harmoniczných światła odbywa się za pomocą stanowiska pomiarowego, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1 [3, 4]. Do tych pomiarów użyto laser impulsowy - nanosekundowy Nd: YAG Quanta-Ray INDI generujący impulsy o długości fali 1064 nm, czasie trwania 2,5 - 7 ns i energii do 500 mJ. Pomiar amplitudy impulsu podstawowej harmonicznej ω dokonywany jest za pomocą fotodetektora THORLABS DET10A/M czułym w zakresie długości fali 200 nm - 1100 nm. Światło laserowe rozszczepiane jest za pomocą płytki szklanej - rozdzielacza wiązki (*Beam Splitter*) i częściowo kierowane przez filtr interferencyjny 1064 nm FL1064-3 do fotodetektora podstawowej harmonicznej (*FUN*). Większość energii lasera zostaje skierowana w stronę badanej próbki. Wyemitowana przez próbkę druga harmoniczna (*SHG*) światła lasera 2ω zostaje odfiltrowana za pomocą filtru interferencyjnego 532 nm FL532-3 i zarejestrowana przez fotopowielacz Hamamatsu H9305-05 czułym w zakresie długości fali 185 nm - 650 nm.

Poziom zmierzono natężenia promieniowania SHG przez dotychczas stosowaną konstrukcję stanowiska pomiarowego jest zależny nie tylko od sprawności próbki, ale również od położenia detektorów względem osi optycznej. Zmiana umiejscowienia detektora będzie skutkować zmianą w wynikach pomiarów, przez co pomiary nie będą powtarzalne, ze względu na to, że zmierzoną amplitudę sygnału SHG odnosi się w pomiarach do wartości amplitudy mocy lasera.



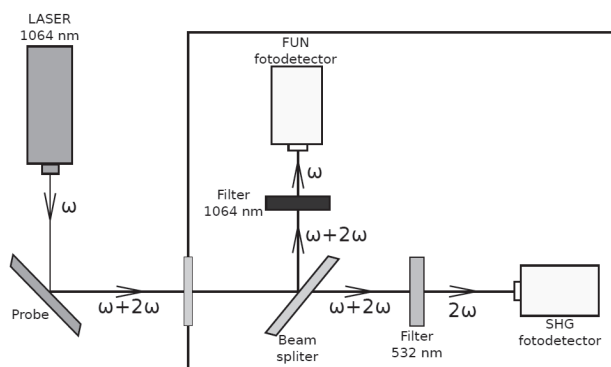
Rys. 1. Schemat blokowy typowego stanowiska do pomiaru sprawności SHG

3. METODA POMIARU SPRAWNOŚCI GENERACJI DRUGIEJ HARMONICZNEJ ŚWIATŁA ODBITEGO OD PRÓBKII

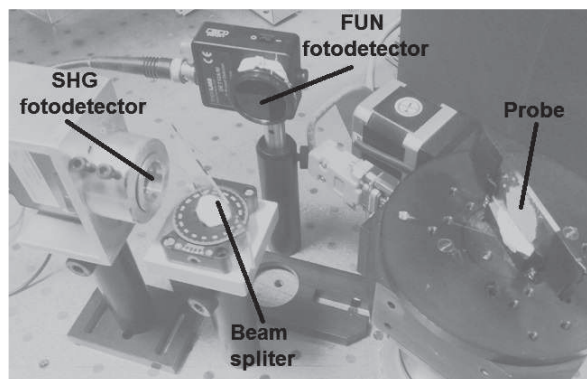
Propozycja udoskonalenia metody pomiaru ma pomóc w pomiarach nieprzezroczystych próbek w postaci proszkowej i polega na uzależnieniu od siebie sygnałów pomiarowych impulsu lasera indukującego i impulsu pochodzącego od składowej drugiej harmonicznej zarejestrowanego przez fotodetektor. Proponowane rozwiązanie polega na pomiarze składowej podstawowej

harmonicznej (1064 nm) oraz drugiej harmonicznej (532 nm) w jednym punkcie przestrzennym w pobliżu próbki. W ten sposób odległość detektora pomiarowego od badanej próbki przestaje mieć znaczenie.

Pomiar sprawności przetwarzania SHG według powyższego założenia wymaga również użycia dwóch fotodetektorów. Jeden z nich jest wyposażony jest w filtr interferencyjny przepuszczający wyłącznie składową podstawowej harmonicznej (1064 nm), a drugi w filtr dla drugiej harmonicznej (532 nm). Pomiar obu składowych harmoniczných jednocześnie z jednego punktu będzie wykonany za pomocą rozdzielacza wiązki, który rozdziela światło przychodzące z odbicia od próbki na dwa detektory (rys. 2, 3). Cały układ detektorów jest osłonięty od wpływu zakłócających czynników zewnętrznych (światło lampy pompującej lasera).



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska do pomiaru sprawności SHG na podstawie światła podstawowej i drugiej harmonicznej odbitej od próbki

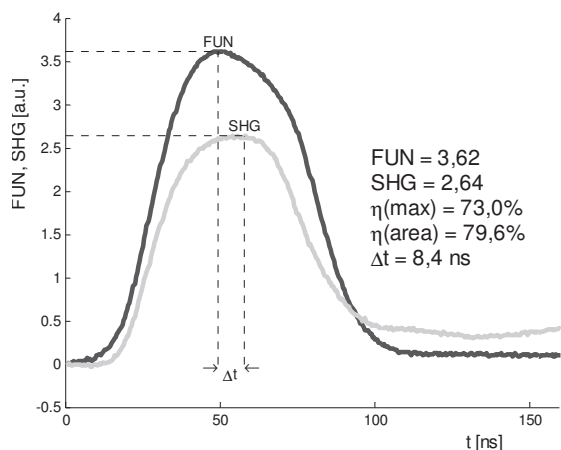


Rys. 3. Fotografia zmodyfikowanego układu pomiarowego drugiej harmonicznej światła (ze zdjętą osłoną)

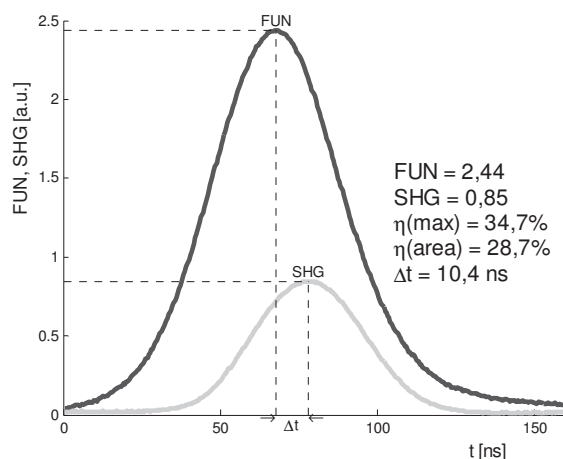
4. POMIARY SPRAWNOŚCI GENERACJI DRUGIEJ HARMONICZNEJ ŚWIATŁA ODBITEGO OD PRÓBKII

Wykonano próbne pomiary porównawcze obu metod pomiarowych dla tej samej próbki pomiarowej - sproszkowanego kryształu borku bizmutu BiB_3O_6 (BIBO). Sproszkowaną próbkę kryształu umieszczono między dwiema szklanymi płytkami. Warunki pomiarów poza ułożeniem detektorów pozostały niezmienione. Pomiaru dokonano w 30 seriach impulsów lasera. Sygnały z fotodetektorów zarejestrowano oscyloskopem, uśredniono i przedstawiono na wykresach z rysunków 4 i 5. Na wykresach tych wyszczególniono wartości szczytowe impulsów napięcia zarejestrowanego przez fotodetektory *FUN* i *SHG*, stosunek maksimów tych sygnałów $\eta(max)$,

stosunek pól powierzchni pod wykresami $\eta(\text{area})$ oraz czas opóźnienia Δt między szczytami sygnałów FUN i SHG.



Rys. 4. Kinetyka impulsu podstawowej i drugiej harmonicznej próbki proszkowej BiBO dokonana na stanowisku pomiarowym z rysunku 1



Rys. 5. Kinetyka impulsu podstawowej i drugiej harmonicznej próbki proszkowej BiBO dokonana na stanowisku pomiarowym z rysunku 2

Porównując oba przebiegi impulsów można zauważyć około 30% spadek amplitudy sygnału pierwszej harmonicznej oraz przeszło 3-krotny spadek zarejestrowanej amplitudy drugiej harmonicznej. Spowodowane jest to zwiększeniem odległości detektora SHG od próbki pomiarowej (konieczne było odsunięcie detektora ze względu na umiejscowienie rozdzielacza wiązki). Mimo zmniejszenia się amplitudy zarejestrowanych sygnałów można zauważyć wyraźną poprawę kształtu obu impulsów.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Zaprezentowane rozwiązanie upraszcza i przyspiesza procedurę pomiarową sprawności generacji drugiej harmonicznej światła przez pominięcie konieczności wykonywania pomiarów referencyjnych po każdej zmianie położenia układu detektorów, co jest konieczne ze względu na dużą rozbieżność mierzonych energii. Zarejestrowane w ten sposób sygnały mimo iż mają mniejszą amplitudę to są mniej zniekształcone i zakłócone. Opisana metoda znajdzie zastosowanie w pomiarach jakościowych i porównawczych nieliniowo optycznych właściwości nowych materiałów.

6. BIBLIOGRAFIA

1. A.H. Piekara Nowe oblicze optyki, wydanie drugie, PWN, Warszawa 1976.
2. R. L. Sutherland Handbook of Nonlinear Optics, Marcel Dekker, New York 2003.
3. A. Semenov, V. Puziko, S. Skorik, A. Wojciechowski, A.O . Fedorchuk, A. Maciąg, Role of polytypism and degree of hexagonality on the photoinduced optical second harmonic generation in SiC nanocrystalline films, Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, Volume 69, (2015), s. 378 – 383.
4. A. Majchrowski, I.V. Kityk, E. Mandowska, A. Mandowski, J. Ebothe, T. Lukasiewicz, Several features of emission spectra of Pr^{3+} ions incorporated into $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ glasses. Journal Applied Physics, v.100, (2006), p.053101.

MEASUREMENT EFFICIENCY OF SECOND HARMONIC GENERATION WITH CONSIDERATION REFLECTED SIGNALS

Measurements efficiency of second harmonic generation of light for samples of nonlinear optical crystals mainly refer to the crystal as a macroscopic object. Newly-formed chemicals probes do not always provide the opportunity to grow uniform and large enough crystals. This article describes the proposed new method for measuring the efficiency of second harmonic light generation for non-translucent powder samples. The primary difference with respect to commonly used measurement methods is the placement of the first and second harmonic detectors in the area of the reflected light stream from the test sample material.

Comparative test measurements of both methods were performed for the same sample - crystal BiB_3O_6 (BIBO). Measurement conditions beyond the position of the detectors remain unchanged.

Comparing both pulse waveforms, you may notice a decrease in amplitude of FUN and SHG signals. Despite the reduced amplitude of the recorded signals, a noticeable improvement in the shape of the two pulses can be noted. The measuring system shall be subjected to a one-time series of measurements with a reference sample to determine the fixed conversion rate of the second harmonic of the light.

Keywords: Nonlinear optics, second harmonic generation of light, lasers.

