



## Zastosowanie piezoelektrycznych czujników PVDF do rejestracji czasowego profilu ciśnienia fal uderzeniowych

ANTONI SARZYŃSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Optoelektroniki,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W pracy zamieszczono informacje dotyczące piezoelektrycznych czujników ciśnienia typu PVDF, pozwalających rejestrować profil ciśnienia fali uderzeniowej o amplitudzie do 45 GPa z rozdzielczością czasową 5 ns. Zamieszczono formuły wzorcowania czujników. Opisano przykłady zastosowania czujników. Przedstawiono wyniki własnych pomiarów fal uderzeniowych wzbudzanych przez promieniowania laserowe oraz wyniki modelowania numerycznego.

**Słowa kluczowe:** piezoelektryczny czujnik ciśnienia, PVDF, fala uderzeniowa, laserowe umacnianie udarowe, LSP

**Symbole UKD:** 534.222.2

### Wstęp

Piezoelektryk jest materiałem, który polaryzuje się pod wpływem przyłożonego naprężenia (ciśnienia) i wytwarza makroskopowy ładunek elektryczny na swoich powierzchniach. I odwrotnie, piezoelektryk kurczy się (lub rozszerza) po umieszczeniu w polu elektrycznym. Efekt piezoelektryczny można wykorzystać do pomiaru sił i ciśnień oraz fal naprężeń.

Detekcja fal uderzeniowych propagujących się w ciałach stałych pozwala wyznaczać równania stanu oraz związki konstytutywne, a także weryfikować poprawność modeli numerycznych służących do modelowania propagacji fal w ciałach stałych.

Do detekcji fal uderzeniowych stosuje się m.in. czujniki piezoelektryczne wykonane z polimeru PVDF [1, 2]. Mają one wiele zalet: są bardzo cienkie (25  $\mu\text{m}$ ),

giętkie, odporne na wysokie obciążenia, mają szeroki zakres pomiarowy, wytrzymują wysokie napięcia, mają wysoką odporność chemiczną, obwód obciążenia ma prostą budowę, nie wymagają zasilania i po obciążeniu wytwarzają sygnał elektryczny o wysokiej amplitudzie.

Za wadę tych czujników należy uznać dużą wartość współczynnika piroelektrycznego. Efekt piroelektryczny w pewnych przypadkach może zakłócać pomiar, powodując generację sygnału maskującego sygnał ciśnienia. Kolejną wadą jest wrażliwość na wysokie temperatury. O ile czujniki manganinowe można stosować przy temperaturze nawet 600°C [3], o tyle czujniki PVDF w temperaturze 130°C tracą właściwości piezoelektryczne w sposób nieodwracalny [1].

Te drobne wady z nawiązką rekompensuje wysoka wartość dopuszczalnego ciśnienia maksymalnego czyniąca z przetwornika PVDF doskonałe narzędzie do badania tak ekstremalnych zjawisk, jak fale uderzeniowe czy detonacyjne. Ogromną zaletą czujników PVDF jest bardzo szeroki zakres rejestrowanych ciśnień (od 10 MPa do 45 GPa) — o rząd wielkości większy niż w przypadku czujników kwarcowych (do 4 GPa) lub z niobianu litu (do 1,4 GPa).

## Właściwości i wzorcowanie czujników PVDF

Na rysunku 1 zamieszczono zdjęcie czujników używanych przez autora. Obszar aktywny znajduje się na skrzyżowaniu elektrod ( $1 \times 1 \text{ mm}^2$  w tym przypadku).

Wzbudzony ładunek jest proporcjonalny do zmiany naprężenia, a natężenie prądu jest proporcjonalne do szybkości zmian naprężenia, to znaczy [1]:

$$Q = K \cdot A_0 \cdot \sigma(t) \quad (1)$$

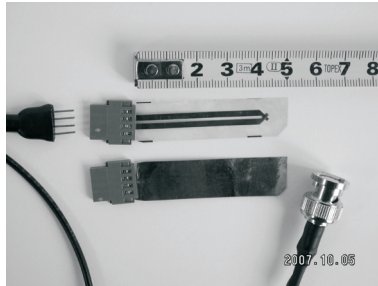
$$\frac{dQ}{dt} = i = K \cdot A_0 \cdot \frac{d\sigma(t)}{dt}, \quad (2)$$

gdzie:  $Q$  — ładunek;  $K$  — stała;  $A_0$  — powierzchnia obszaru aktywnego czujnika;  $\sigma(t)$  — naprężenie (ciśnienie);  $t$  — czas.

Liniowa zależność (1) między ciśnieniem i ładunkiem występuje tylko przy niewielkich obciążeniach. Przy ciśnieniach powyżej 0,5 GPa związek ten opisują już zamieszczone niżej zależności nieliniowe (3)-(6).

Producenci przeprowadzili badania odpowiedzi czujników obciążonych ciśnieniem fali uderzeniowej. W tych eksperymentach falę uderzeniową wytwarzano za pomocą precyzyjnego działa lekkogazowego [1, 4, 5]. Celem tych badań było ustalenie możliwości produkowania przetworników ciśnienia o powtarzalnych właściwościach. Przetworniki ciśnienia fal uderzeniowych nie mogą być wzorcowane

indywidualnie, gdyż przy wysokich ciśnieniach ulegają zniszczeniu [1]. Dlatego czynnikiem warunkującym wykonywanie pomiarów ilościowych jest powtarzalność procesu produkcji. Sprawdzono, że rozbieżność wskazań czujników przy tym samym obciążeniu nie przekracza 3%.



Rys. 1. Czujniki PVDF, u góry w teflonowej izolacji, u dołu pokryte dodatkowo metalowym ekranem (fot. autor)

W eksperymentach dotyczących wzorcowania czujników znane jest ciśnienie fali uderzeniowej generującej ładunek elektryczny, a więc można opracować krzywą kalibracyjną, czyli zależność pozwalającą wyznaczyć ciśnienie fali uderzeniowej jako funkcję wzbudzonego ładunku. Zależność tę graficznie przedstawiono na rysunku 2. Autor dla własnych potrzeb opracował krzywą kalibracyjną wykorzystując dane i wzory zamieszczone w pracach [4, 5, 6, 7]. Krzywe pokazane na rysunku 2 można zaaprosymować przybliżonymi równaniami:

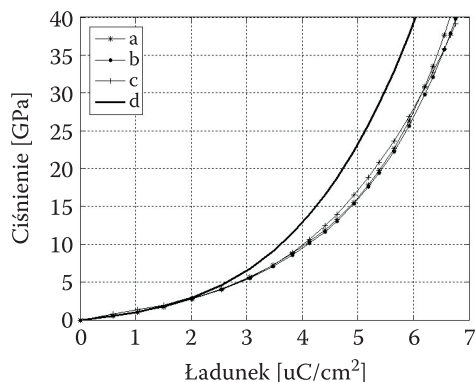
$$P(Q) = 0,92828 \cdot Q - 0,21543 \cdot Q^2 + 0,33703 \cdot Q^3 - 0,075970 \cdot Q^4 + 0,0071192 \cdot Q^5 \quad (3)$$

$$P(Q) = 0,73976 \cdot Q + 0,19339 \cdot Q^2 + 0,082014 \cdot Q^3 - 0,018421 \cdot Q^4 + 0,0027655 \cdot Q^5 \quad (4)$$

$$P(Q) = 1,4813 \cdot Q - 0,31836 \cdot Q^2 + 0,14131 \cdot Q^3 \quad (5)$$

$$P(Q) = 0,58 \cdot Q + 0,38 \cdot Q^{1,6} + 0,055 \cdot Q^{3,5}, \quad (6)$$

gdzie:  $P$  [GPa] — ciśnienie;  $Q$  [ $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ] — gęstość ładunku na jednostkę powierzchni aktywnej czujnika.



Rys. 2. Zależność ciśnienia od gęstości ładunku dla czujnika PVDF (a , b, c, d — wzory 3, 4, 5 i 6 odpowiednio)

Formuła (3) została uzyskana na podstawie rysunku 5 z pracy [4], (4) na podstawie rysunku 6 z pracy [5]. Formuła (5) pochodzi z pracy Hodgesa [6], zaś (6) ze strony internetowej firmy Dynasen [7]. Formuły (3), (4) i (5) dają wyniki zgodne z dokładnością do kilku procentów. Krzywe te dotyczą czujników tego samego typu wytwarzanych przez współpracujące firmy Ktech i Piezotech. Krzywa (6) odbiega nieco od pozostałych, jednak dotyczy innego produktu (zastosowano polimer o odmiennych właściwościach i innej grubości).

W opisanych wyżej eksperymentach wykazano, że czujniki PVDF w sposób powtarzalny mogą być stosowane do pomiaru impulsów naprężeń o amplitudzie do 35 GPa [4, 5] (firma Ktech podaje wartość 45 GPa [1]).

## Obwód obciążenia czujników PVDF

Sygnal generowany przez przetwornik może być rejestrowany w trzech trybach: ładunkowym, napięciowym lub prądowym [1].

W trybie prądowym jako obciążenie, równoległe do przetwornika, podłącza się opornik o małej oporności (przy ciśnieniach poniżej 1 GPa  $50 \Omega$  [4, 5], przy wyższych nawet  $100 \text{ m}\Omega$  [8-14]). Spadek napięcia na tym oporniku jest miarą prądu generowanego przez przetwornik. Zaletą tego układu jest niskie natężenie prądu oraz mała wrażliwość na zakłócenia. W tym trybie profil fali naprężeń otrzymuje się po scałkowaniu natężenia prądu z uwzględnieniem krzywej kalibracyjnej (formuła 3). W niniejszej pracy do obróbki danych wykorzystano oprogramowanie MATLAB.

## Przykłady zastosowań czujników PVDF

Czujniki PVDF znalazły wiele zastosowań: m.in. w kontroli ruchu drogowego, ochronie obiektów, do pomiaru sił i ciśnień itp.

Polimer PVDF jest dobrym izolatorem. Można go więc zastosować do budowy kabla koncentrycznego, w którym piezoelektryczny polimer pełni rolę izolatora między wewnętrznym rdzeniem a zewnętrznym ekranem. Tak zbudowany kabel wytwarza sygnał elektryczny pod działaniem nacisku, może więc pełnić rolę detektora takich obciążeń impulsowych, jak: przejazd samochodu, przejście piechura itp. W ten sposób można skonstruować liczniki natężenia ruchu drogowego, czy też detektory informujące o wtargnięciu intruza na chroniony teren [15].

Wykorzystując odwrotny efekt piezoelektryczny, czyli odkształcenie polimeru przez napięcie, można budować siłowniki, głośniki, generatory drgań lub fal [15] itp.

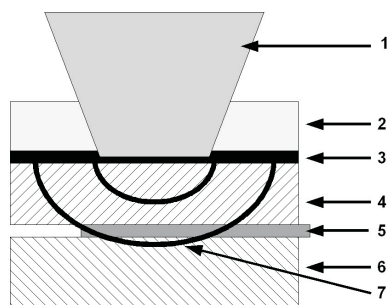
Czujniki PVDF można wykorzystać do wyznaczania prędkości dźwięku w próbkach skał znajdujących się pod obciążeniem statycznym, co może odpowiadać warunkom w głębi Ziemi. Badania takie prowadzą laboratoria geologiczne poszukujące bogactw naturalnych [16].

Dzięki swej wysokiej odporności na obciążenia mechaniczne, czujniki PVDF mogą być także stosowane do rejestracji profilu ciśnienia fal uderzeniowych i detonacyjnych [5, 8-19].

## Wyniki pomiarów profilu ciśnienia fal uderzeniowych wzbudzanych przez promieniowanie laserowe

Ostatnio szybko rozwijane są laserowe metody obróbki warstwy wierzchniej różnych materiałów. Większość tych metod wykorzystuje promieniowanie laserowe do powierzchniowej obróbki cieplnej. Istnieje też niewielka grupa metod wykorzystujących laserowo wzbudzone fale uderzeniowe do przeprowadzenia powierzchniowej obróbki plastycznej na zimno. Układ eksperymentalny konstruuje się w taki sposób, by jedynym czynnikiem zmieniającym właściwości warstwy wierzchniej była fala uderzeniowa, a fala cieplna jej nie ogrzewała. Obróbka ta nosi nazwę laserowego umacniania udarowego. Szerszy opis tej technologii można znaleźć w pracach [13, 17-21]. Schemat konfiguracji układu eksperymentalnego pokazano na rysunku 3.

W większości przypadków wymiary wiązki laserowej w obszarze oddziaływania z obrabianą próbką nie przekraczają pojedynczych milimetrów. W tej sytuacji czujniki PVDF, których obszar aktywny może mieć średnicę zaledwie  $1 \text{ mm}^2$ , doskonale nadają się do detekcji fal uderzeniowych wzbudzanych przez promieniowanie laserowe oraz do optymalizacji konfiguracji układu laserowego umacniania udarowego.

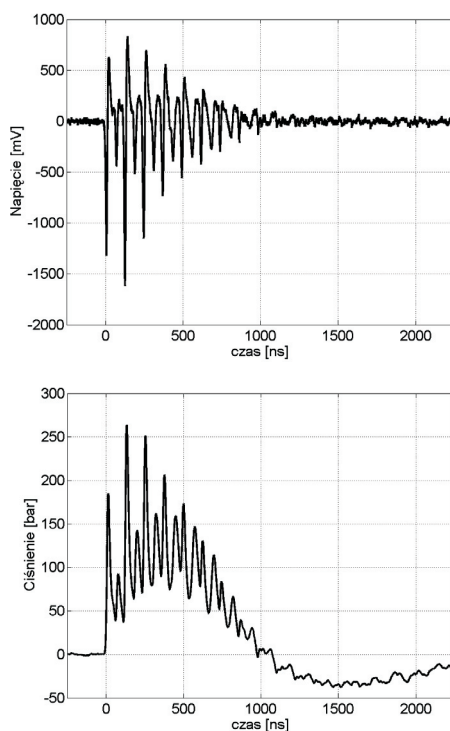


Rys. 3. Schemat konfiguracji eksperymentu laserowego umacniania udarowego z jednoczesną rejestracją profilu ciśnienia fali uderzeniowej: 1 — wiązka laserowa; 2 — warstwa inercyjna; 3 — warstwa absorpcyjna; 4 — obrabiana próbka; 5 — czujnik PVDF; 6 — podłoże; 7 — front fali uderzeniowej

W Instytucie Optoelektroniki WAT zbudowano stanowisko badawcze przeznaczone do pomiaru czasowego profilu ciśnienia fali uderzeniowej wytwarzanej za pomocą promieniowania laserowego. Zaprojektowano i zbudowano mechaniczny układ mocowania czujników i próbek metali przeznaczonych do laserowego umacniania udarowego. Zadaniem zespołu warstw inercyjnej i absorpcyjnej jest zwiększenie amplitudy i czasu trwania wytwarzanego impulsu ciśnienia oraz izolacja termiczna obrabianej próbki od wysokiej temperatury występującej w obszarze oddziaływania promieniowania laserowego z materiałem. Warstwa inercyjna musi być przezroczysta dla promieniowania laserowego. Zaprojektowano i zbudowano elektroniczny układ obciążenia czujnika. Przebiegi rejestrowano za pomocą oscyloskopu Tektronix TDS620B 500 MHz, 2,5 GS/s. W przyszłości stanowisko będzie stosowane przede wszystkim do optymalizacji laserowego umacniania udarowego. Przeprowadzono serię pomiarów w układzie eksperymentalnym pokazanym na rysunku 3.

Jako obrabianą próbkę stosowano płytkę z brązu o grubości 0,3 mm oraz aluminium o grubości 1 i 2 mm. Jako podłoże stosowano aluminium, teflon oraz handlowy polimer PVDF, wszystkie o grubości około 10 mm. Do wzbudzenia fali uderzeniowej stosowano lasery Nd:YAG o parametrach impulsów: energia 100 mJ, czas trwania 4 ns, długość fali 1064 nm oraz 140 mJ, 15 ns, 532 nm. Głównym celem prowadzonych eksperymentów były: opanowanie metod pomiaru profili ciśnienia fal uderzeniowych wzbudzanych przez promieniowanie laserowe oraz eliminacja zakłóceń elektromagnetycznych. Optymalizacja konfiguracji eksperymentu w tym etapie badań była sprawą drugorzędą. Dlatego w opisywanych eksperymentach nie kontrolowano grubości ani innych parametrów warstw inercyjnej i absorpcyjnej.

Na rysunku 4 zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów. Całkowanie przedstawionego przebiegu napięciowego pozwoliło wyznaczyć zależność ładunku od czasu. Następnie zastosowanie krzywej kalibracyjnej (formuła 3) pozwoliło obliczyć profil ciśnienia. Sygnał był wzbudzony przez falę naprężeń w konfiguracji farba-



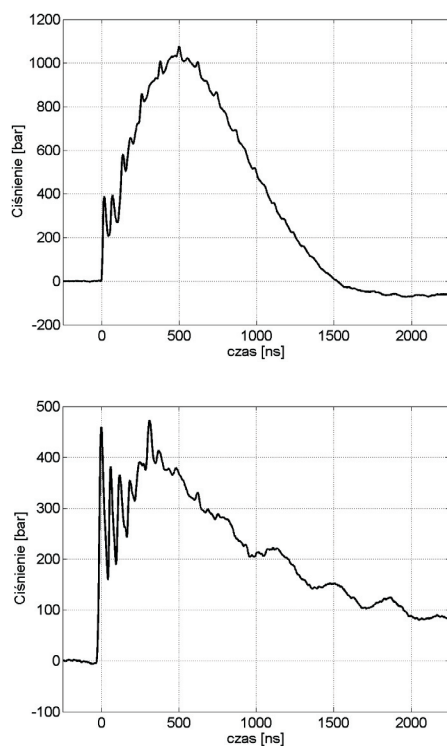
Rys. 4. Przebieg napięciowy czujnika PVDF (u góry) i odpowiadający mu profil ciśnienia (u dołu). Brak warstwy inercyjnej. Pozostałe warstwy to farba-brąz-PVDF-Al

-brąz-PVDF-Al. Nie stosowano warstwy inercyjnej. Piki ciśnienia w zakresie do 1000 ns są skutkiem wielokrotnych odbić fali naprężeń w płytce z brązu i czujniku PVDF. Maksymalne ciśnienie nie przekracza 300 atmosfer w tym przypadku.

Zastosowanie warstwy inercyjnej pozwala znacznie zwiększyć wartość ciśnienia maksymalnego. W opisywanych eksperymentach, dzięki warstwie inercyjnej zwiększono amplitudę ciśnienia do 1000 atmosfer (rys. 5 u góry).

Duży wpływ na profil fali ciśnienia wywiera także grubość obrabianej próbki. Zastosowanie płytki aluminiowej o grubości 1 mm powoduje dużą zmianę kształtu profilu ciśnienia (rysunek 5 u dołu). Oscylacje ciśnienia w zakresie od 0 do 300 ns są skutkiem wielokrotnego odbicia impulsu naprężeń od płytek Al stykających się z czujnikiem PVDF. Wielokrotne odbicia, będące skutkiem niedopasowania impedancji falowych sąsiednich ośrodków deformują profil ciśnienia i bardzo utrudniają interpretację wyników.

Dobór materiału podłoża o impedancji akustycznej zbliżonej do impedancji czujnika PVDF (teflon) pozwala wyeliminować odbicie fal na granicy czujnik-podłoże, co upraszcza interpretację wyników. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki dla

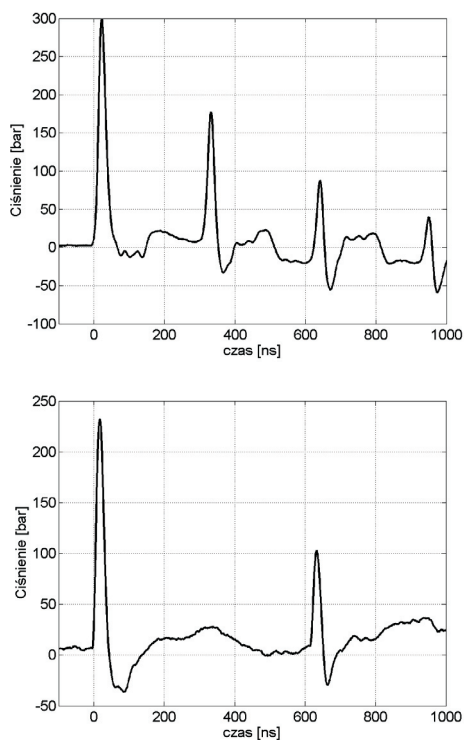


Rys. 5. Wpływ konfiguracji układu eksperymentalnego na profile ciśnienia fali uderzeniowej. U góry warstwa inercyjna (woda 4 mm), czarna farba, brąz 0,3 mm, PVDF, podłoże Al. U dołu bez warstwy inercyjnej, farba, Al 1 mm, czujnik PVDF, podłoże Al

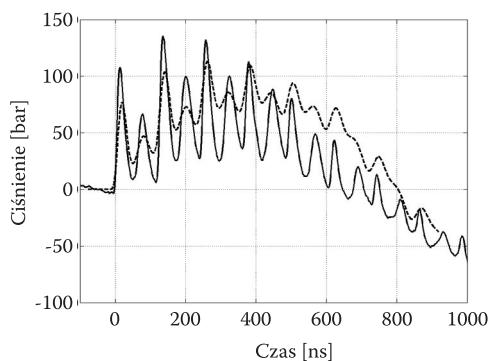
układu, w którym rolę podłoża pełnił teflon, dzięki czemu znacznie spadła amplituda fali odbitej. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie fal naprężeń wzbudzonych w płytkach o grubości 1 oraz 2 mm. Odstęp czasowy między kolejnymi odbitymi falami jest dokładnie proporcjonalny do grubości płytki. Można stąd obliczyć prędkość propagacji fali w aluminium — wynosi ona około 6500 m/s i jest bliska prędkości dźwięku. W tej konfiguracji wyznaczono profil fali ciśnienia bez deformacji powodowanej przez odbicie od podłoża.

Przeprowadzono również numeryczne modelowanie oddziaływania promieniowania laserowego na obrabiane próbki. Mimo iż program (opisany dokładniej w pracy [22]) ma charakter jakościowy, uzyskano niezłą zgodność ilościową, co zaprezentowano na rysunku 7.





Rys. 6. Wpływ grubości obrabianej płytki aluminiowej na profile ciśnienia fali uderzeniowej. Brak warstwy inercyjnej, czarna farba, płytka Al (u góry 1 mm, u dołu 2 mm), PVDF, podłoże teflon



Rys. 7. Porównanie wyników modelowania numerycznego (linia przerywana) z wynikami pomiarów profilu ciśnienia (linia ciągła)

## Podsumowanie

Z przeglądu literatury wynika, że czujniki PVDF należy zaliczyć do prototypowej aparatury naukowo-badawczej. Ich stosowanie wymaga dużej staranności przy przygotowaniu próbek oraz mechanicznych układów mocowania.

Koszt pojedynczego czujnika wynosi około 1000 zł. Przy wysokiej amplitudzie badanych ciśnień, czujnik w trakcie pomiaru najczęściej ulega zniszczeniu. Próbkę do badań muszą być wykonane z dużą starannością. Używana aparatura jest droga (oscylloskopy, oprogramowanie do obróbki danych). Wszystkie te czynniki znacznie podnoszą koszty eksperymentów.

Mimo tych zastrzeżeń, czujniki PVDF należy uznać za wartościowe urządzenia pomiarowe, gdyż mogą one dostarczyć bezcennych danych dotyczących właściwości materiałów, przebiegów ciśnień fal uderzeniowych oraz propagacji fal w ciałach stałych.

Autor składa podziękowanie panu mgr. inż. Antoniemu Rycykowi za pomoc w wykonaniu pomiarów. Praca została zrealizowana w ramach projektu WAT PBW-984.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.04.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w kwietniu 2008 r.

## LITERATURA

- [1] [www.ktech.com/research\\_development/applied\\_physics/The\\_piezoelectric\\_properties\\_of\\_PVDF.pdf](http://www.ktech.com/research_development/applied_physics/The_piezoelectric_properties_of_PVDF.pdf)
- [2] J. S. HARRISON, Z. OUNAIES, *Piezoelectric Polymers*, NASA Report No. 2001-43, [http://www.teccenter.org/electroactive\\_polymers/assets/pdfs/piezo\\_polymers/icae\\_piezo.pdf](http://www.teccenter.org/electroactive_polymers/assets/pdfs/piezo_polymers/icae_piezo.pdf)
- [3] A. V. BUSHMAN, G. I. KANEL', A. L. NI, V. E. FORTOV, *Intense Dynamic Loading of Condensed Matter*, Taylor & Francis, 1993.
- [4] F. BAUER, *PVDF Shock Sensors: Applications to Polar Materials and High Explosives*, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 47, no. 6, 2000, 1448-1454.
- [5] F. BAUER, *PVDF gauge piezoelectric response under two-stage light gas gun impact loading*, CP620, Shock Compression of Condensed Matter, 2001, ed. by M. D. Furnish, N. N. Thadhani, Y. Horie © 2002, American Institute of Physics, 1149-1152.
- [6] R. V. HODGES, L. E. MCCOY, J. R. TOOLSON, *Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Gauges for Measurement of Output Pressure of Small Ordnance Devices*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 25, 2000, 13-18.
- [7] <http://www.dynasen.com/pdf/PVF2%2011%20%26%204.pdf>
- [8] F. BAUER, *Properties of ferroelectric polymers under high pressure and shock loading*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B, 105, 1995, 212-216.
- [9] M. U. ANDERSON, D. E. WACKERBARTH, *Technique and Data Analysis for Impact-Loaded Piezoelectric Polymers (PVDF)*, Sandia National Laboratories, Report no. SAND88-2327, UC-13, 1988.
- [10] F. BAUER, *PVDF shock compression sensors in shock wave physics*, CP706, Shock Compression of Condensed Matter, 2003 ed. M. D. Furnish, Y. M. Gupta, J. W. Forbes, 1121-1126.

- [11] F. BAUER, *Ferroelectric PVDF polymer for high pressure and shock compression sensors*, 11<sup>th</sup> International Symposium on Electrets, 2002, 219-222.
- [12] F. BAUER, *Advances in Piezoelectric PVDF Shock Compression Sensors*, 10th International Symposium on Electrets, IEEE, 1999, 647-650.
- [13] S. COUTURIER, T. DE RESSÉGUIER, M. HALLOUIN, J. P. ROMAIN, F. BAUER, *Shock profile induced by short laser pulses*, J. Appl. Phys., 79 (12), 1996, 9338-9342.
- [14] F. BAUER, *Ferroelectric Polymers for High Pressure and Shock Compression Sensors*, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Materials Research Society, vol. 698, 2002, EE2.3.1-12.
- [15] Piezo Film Technical Manual, Measurement Specialties Inc., <http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS836/Readings/MSI-techman.pdf>
- [16] N. NOURY, E. CHAMBEROD, PH. BENECH, A. V. KALININ, A. BLEUZE, *An instrumentation based on the piezopolymer P(VDF — TrFE) for the analysis of the elastical parameters of rocks under stress*, Ultrasonics 36, 1998, 257-262.
- [17] W. H. ZHU, T. X. YU, Z. Y. LI, *Laser-induced shock waves in PMMA confined foils*, International Journal of Impact Engineering, 24, 2000, 641-657.
- [18] G. BANAS, *An application of PVDF gauges for pressure measurements during laser shock processing*, Transactions on Engineering Sciences, vol. 8, Computer Methods and Experimental Measurements for Surface Treatment Effects II, 239-246, 1995, ed. M. H. Aliabadi, Wessex Institute of Technology, Southampton.
- [19] XIN HONG, SHENBO WANG, DAHAO GUO, HONGXING WU, JIE WANG, YUSHENG DAI, XIAOPING XIA, YANNING XIE, *Confining Medium and Absorptive Overlay: Their Effects on a Laser-induced Shock Wave*, Optics and Lasers in Engineering, 29, 1998, 447-455.
- [20] K. DING, L. YE, *Laser shock processing — Performance and process simulation*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006.
- [21] W. NAPADŁEK, A. SARZYŃSKI, *Influence of Laser Shock Peening on Topography of Ti-6Al-2Cr-2Mo Titanium Alloy Surface Layer*, AMT, 2007, Inżynieria materiałowa, rok XXVIII, w druku.
- [22] A. SARZYŃSKI, K. JACH, J. MARCZAK, *Comparison of Wet and Dry laser Cleaning of Artworks*, Springer Proceedings in Physics, vol. 116, Lasers in the Conservation of Artworks, 161-167, Springer, 2007 (ed. J. Nimmrichter, W. Kautek, M. Schreiner).

A. SARZYŃSKI

### Application of piezoelectric PVDF gauges for registration of shockwave temporal pressure profile

**Abstract.** The review of publications devoted to PVDF piezoelectric pressure gauges is presented in the paper. PVDF gauges allow to measure pressures up to 45 GPa with a temporal resolution of about 5 ns. The calibration formulas of pressure gauges are included. A few examples of practical application of PVDF gauges are presented. Some results of the author's measurements of a laser induced shockwave as well as numerical modeling are described.

**Keywords:** piezoelectric pressure gauge, PVDF, shockwave, laser shock processing, LSP

**Universal Decimal Classification:** 534.222.2

