

## Bộ phát sóng siêu âm vi cơ điện dung pôlyme dùng cho xác định độ nhám bề mặt

Surface roughness measurement using a polymer-based capacity micromachined ultrasonic transducer

Bùi Gia Thịnh<sup>1,2,\*</sup>, Nguyễn Như Tùng<sup>3</sup>, Nguyễn Quận<sup>4</sup>, Đỗ Anh Tuấn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Hải Phòng

<sup>2</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

<sup>3</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>4</sup>Trường Đại học Phạm Văn Đồng

\*Email: buigiathinh1784@gmail.com

Tel: +84-225-3848040; Mobile: 0916802468

---

### Tóm tắt

#### Từ khóa:

Bộ phát sóng siêu âm; Độ nhám; Pôlyme; Vi cơ điện dung.

Trong bài báo này, bộ phát sóng siêu âm vi cơ điện dung sử dụng vật liệu pôlyme (CMUT) được phát triển để đo độ nhám bề mặt vật liệu. Bộ phát sóng được thiết kế có thể đánh giá được độ nhám bề mặt ở năm chế độ khác nhau: toàn bộ phát / toàn bộ thu, đa số phát / đa số thu, đa số phát / thiếu số thu, thiếu số phát / đa số thu, thiếu số phát / thiếu số thu. Các thí nghiệm chỉ ra rằng chế độ toàn bộ phát / toàn bộ thu có đầu ra tín hiệu lớn nhất và chế độ thiếu số phát / đa số thu có được tín hiệu tốt với hiệu suất cao hơn. Kết quả cho thấy bộ phát sóng siêu âm có thể xác định độ nhám bề mặt của giấy nhám với độ nhám bề mặt  $R_{rms}$  dao động từ 11,4 $\mu$ m đến 179,8 $\mu$ m.

### Abstract

#### Keywords:

Capacitive micromachined; Polymer-based; Surface roughness; Ultrasonic transducer.

In this paper, the polymer-based capacitive micromachined ultrasonic transducer (CMUT) is developed for measuring the surface roughness of materials. The transducer is designed to evaluate surface roughness with five modes: full transmission/ full reception, majority transmission/ majority reception, majority transmission/ minority reception, minority transmission/ majority reception, minority transmission/ minority reception. Experiments indicate that the full transmission/ full reception mode has the greatest signal output and the minority transmission/ majority reception mode can obtain good signal with better energy efficiency. The result shows the CMUT can identify the surface roughness of sandpaper with surface roughness  $R_{rms}$  ranging from 11.4 $\mu$ m to 179.8 $\mu$ m.

---

Ngày nhận bài: 27/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Độ nhám bề mặt là một thông số khó nghiên cứu và vẫn đang được quan tâm phát triển. Khó khăn thường gặp phải như hệ số phản xạ, góc phản xạ, phép đo định lượng độ nhám bề mặt.

Để đo độ nhám bề mặt, phương pháp dùng sóng siêu âm được cho là phù hợp hơn so với các phương pháp đánh giá độ rỗ, kỹ thuật quang học ... Đây là phương pháp đo không tiếp xúc được sử dụng để phát hiện độ nhám bề mặt trên mặt mẫu vật và thời gian đo ngắn so với phương pháp tiếp xúc.

Các thông số đặc trưng của độ nhám bề mặt được đánh giá bằng phương pháp phổ siêu âm, tín hiệu phản xạ từ bề mặt nhám được đo ở tỷ lệ bình thường và được so sánh với bề mặt tham chiếu có độ mịn tiêu chuẩn [1,2]. Mỗi quan hệ giữa các sóng siêu âm phân tán và các thông số độ nhám bề mặt được xác định bằng trung bình bình phương độ nhám và độ dài tương quan bề mặt đã được đề xuất [3,4].

Một số kỹ thuật không tiếp xúc như phát xạ âm thanh và đánh giá sự tán xạ tia X đối với độ nhám bề mặt đã được Roberts và Briggs sử dụng [5]. Hilton [6] đã sử dụng hai chùm laser phân cực thẳng đứng để tạo ra hai mẫu độc lập và sự tương quan được ghi lại để suy ra độ nhám của bề mặt của vật được chiếu sáng. Sử dụng hiệu ứng Doppler để mô tả các tham số độ nhám sẽ giảm sự phụ thuộc của cảm biến vào vận tốc truyền âm thanh trong không khí, điều này sẽ cung cấp một phép đo chính xác hơn [7].

Trong ứng dụng thông thường, phương pháp đo tiếp xúc có thể xác định độ nhám bề mặt nhưng phải mất một thời gian dài, gây hại cho bề mặt của sản phẩm. Kỹ thuật quang học là kỹ thuật không tiếp xúc phổ biến nhất. Chúng thường không nhạy cảm đối với thuộc tính vật chất của bề mặt nhưng lại nhạy cảm với đặc tính của môi trường truyền [8]. Mặt khác, phương pháp siêu âm sử dụng truyền sóng trong không khí đã được đề xuất để kiểm tra độ nhám bề mặt trên diện tích rộng, mà kỹ thuật quang học không thể đáp ứng.

Mục đích của nghiên cứu này là phát triển bộ phát sóng siêu âm với năm chế độ khác nhau để đo độ nhám bề mặt, sử dụng kỹ thuật không tiếp xúc. Độ nhám bề mặt được quan sát thông qua sự giảm biên độ của tín hiệu phản xạ. Bộ phát sóng siêu âm có lợi thế thiết kế với các thành phần được chia theo tỷ lệ một hai (1:2) giúp phát hiện độ nhám chính xác trong thời gian ngắn. Dựa trên các mối quan hệ đo, hệ số phản xạ chỉ ra rằng bộ phát sóng siêu âm có thể phát hiện độ nhám bề mặt với sai số nhỏ và tiết kiệm năng lượng để góp phần giám sát trực tuyến trên dây chuyền sản xuất liên tục.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Lý thuyết về tính toán thông số độ nhám bề mặt  $R_{rms}$  được trình bày trong tài liệu tham khảo [1]. Thông số độ nhám bề mặt được tính toán theo căn bậc hai của trung bình bình phương của các thông số:

$$R_{rms} = \left[ \frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx \right]^{1/2}. \quad (1)$$

Hay được thể hiện dưới biểu thức:

$$R_{rms} = \left[ (R_{rmsf_1}^2 + R_{rmsf_2}^2 + \dots + R_{rmsf_n}^2) / n \right]^{1/2}. \quad (2)$$

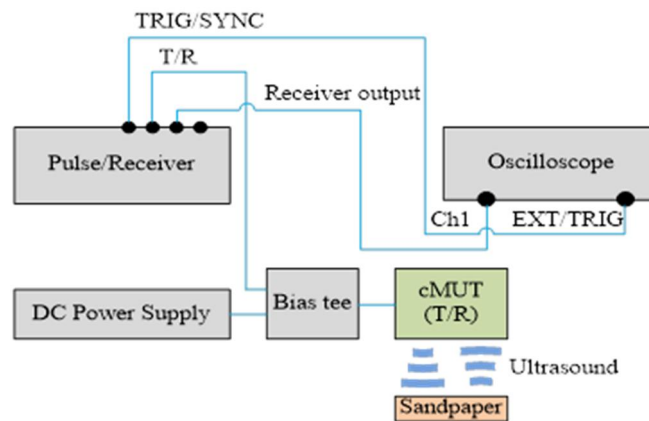
Một biểu thức chung cho biên độ sóng dội như là một hàm của tần số siêu âm  $f$  và độ nhám bề mặt ở tỷ lệ thông thường có thể được viết theo [4] như sau:

$$R = R_0 \cdot \exp \left( \frac{-2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot R_{rms}^2}{c^2} (\cos\theta_1 + \cos\theta_2)^2 \right). \quad (3)$$

Trong đó,  $R_0$  là hệ số phản xạ của bề mặt tiêu chuẩn,  $c$  là vận tốc của sóng âm,  $\theta_1$  là góc tới và  $\theta_2$  là góc phản xạ. Hệ số phản xạ được đo bằng siêu âm truyền trong không khí sử dụng tỷ lệ biên độ của bề mặt nhẵn và bề mặt nhám khác. Độ nhám có thể được quan sát qua sự suy giảm biên độ của tín hiệu phản xạ.

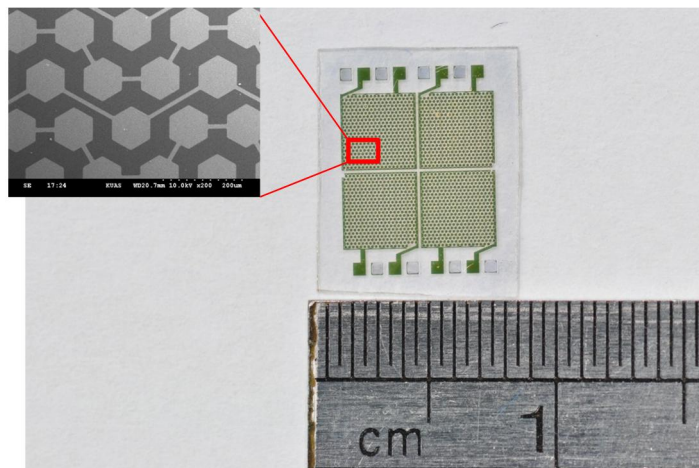
### 3. THỰC NGHIỆM

Các thiết bị của thí nghiệm bao gồm bộ đo lường tín hiệu truyền trong không khí chuẩn, nguồn một chiều (Agilent Technologies N5751A DC POWER), thiết bị thu / phát sóng siêu âm (máy thu / phát xung JSSR-Ultrasonics DPR 300) và máy hiện sóng lưu trữ số (Tektronix TDS 2014 digital oscilloscope), được thể hiện trong hình 1.



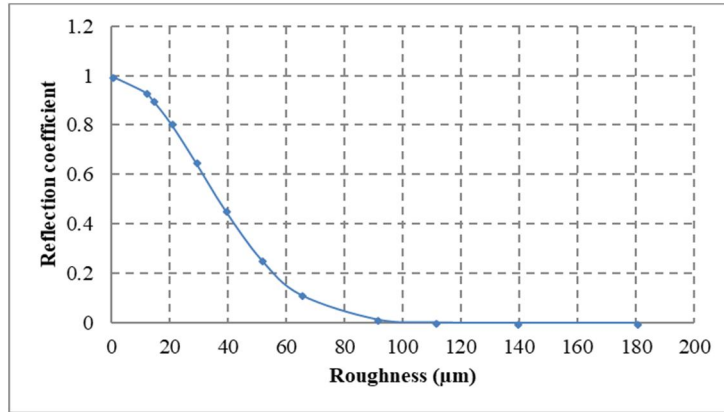
**Hình 1.** Sơ đồ sắp đặt các thiết bị đo độ nhám bằng sóng siêu âm.

Các phép đo được thực hiện bằng một bộ phát sóng siêu âm vi cơ điện dung sử dụng vật liệu polime để phát và thu các tín hiệu âm thanh. Cảm biến được điều khiển bằng điện áp DC 100V và AC 300V. Khoảng cách làm việc giữa cảm biến và bề mặt vật mẫu là 10mm. Góc tiếp xúc giữa sóng siêu âm và bề mặt giấy nhám với một góc tới và góc tán xạ  $0^\circ$ . Hình 2 là cảm biến sóng siêu âm có tần số cộng hưởng 880 kHz dùng để đo độ nhám.



**Hình 2.** Hình ảnh của cảm biến sóng siêu âm làm bằng pôlyme.

11 mẫu giấy nhám có độ nhám khác nhau được lựa chọn là P100, P120, P150, P180, P240, P320, P400, P600, P1000, P1500 và P2000 từ Công ty 3M với tiêu chuẩn FEPA của Châu Âu. Độ nhám trung bình của các mẫu nằm trong khoảng từ 11,4 $\mu\text{m}$  đến 179,8 $\mu\text{m}$ . Để chuyển đổi độ nhám trung bình  $R_a$  sang độ nhám bình phương trung bình  $R_{rms}$ , ta nhân  $R_a$  với hệ số chấp nhận được 1,11. Một tấm bằng thép không gỉ đánh bóng nhẵn được sử dụng làm bề mặt mịn so sánh. Theo công thức ở trên, mối quan hệ giữa hệ số phản xạ và độ nhám của bề mặt mẫu trong lý thuyết được thể hiện như trong hình 3.

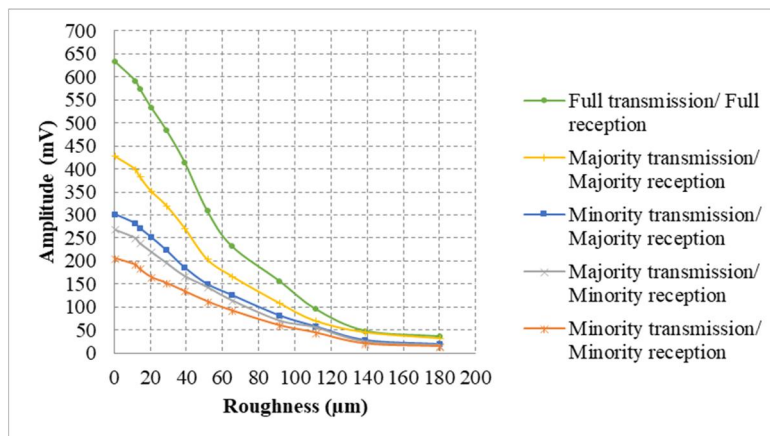


Hình 3. Mối quan hệ giữa hệ số phản xạ và độ nhám bề mặt vật mẫu

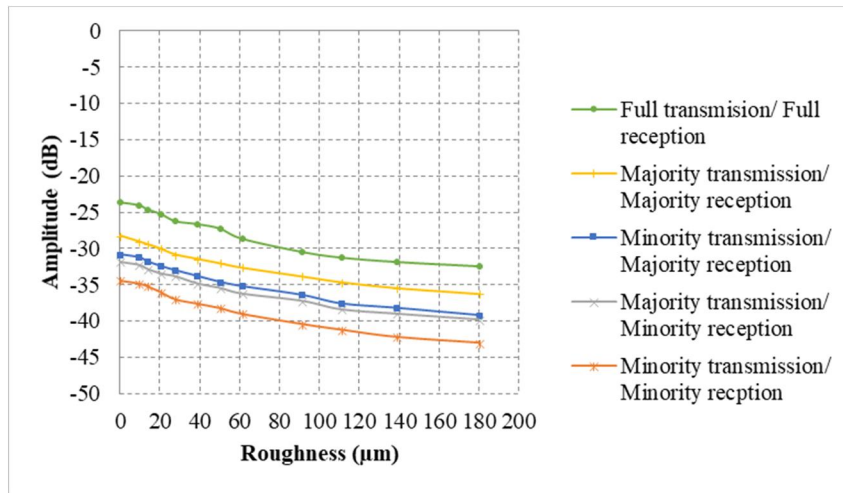
#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phương pháp thực nghiệm dùng để xác định độ nhám dựa trên những phát hiện về sự thay đổi giá trị điện áp theo tham số  $R_{rms}$ . Các giá trị biên độ tương đối được tính bằng cách sử dụng độ nhám mẫu có giá trị bằng không. Tín hiệu sóng siêu âm phản hồi sẽ được nhận về bộ thu, tín hiệu này tỷ lệ với độ nhám bề mặt.

Mỗi loại giấy nhám có một  $R_{rms}$  khác nhau. Do đó các hệ số nhám thu được thông qua năm vị trí đo khác nhau, mỗi lần đo lặp lại ba lần để thu được tín hiệu đội lại. Hình 4 và Hình 5 cho thấy mối quan hệ giữa các tín hiệu đội lại và độ nhám trong miền thời gian và trong miền tần số của năm chế độ đo.



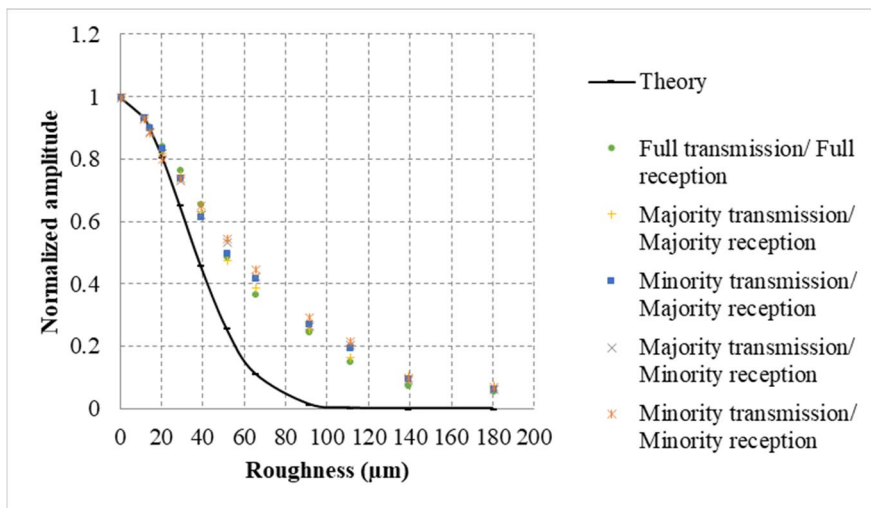
Hình 4. Mối quan hệ giữa điện áp và độ nhám bề mặt vật mẫu.



**Hình 5.** Mối quan hệ giữa tần số và độ nhám bề mặt vật mẫu

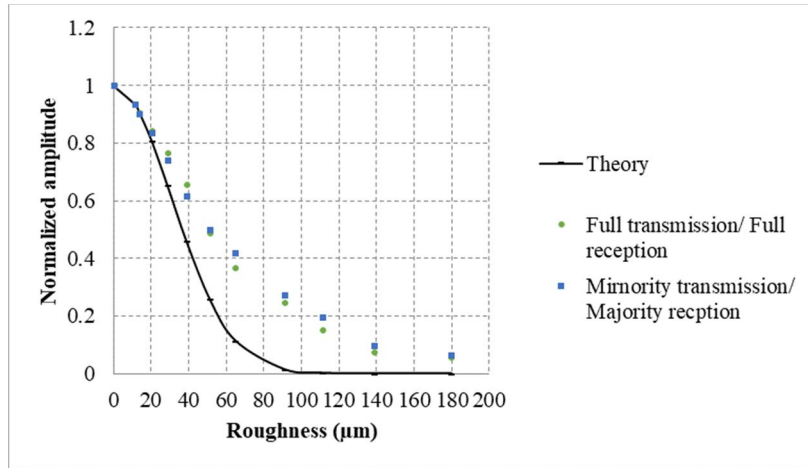
Từ đồ thị của Hình 4 và Hình 5 cho thấy khi độ nhám bề mặt tăng, độ lớn tín hiệu dội lại tương ứng sẽ giảm. Lý do độ lớn của tín hiệu phản xạ của sóng siêu âm giảm là do sự ảnh hưởng của độ nhám bề mặt mẫu thử. Do đó, tổn thất năng lượng tăng do sự gia tăng tán xạ của sóng siêu âm trong quá trình truyền dẫn, vì vậy, dẫn đến biên độ tín hiệu dội lại bị sụt giảm. Chúng ta có thể thấy rằng tín hiệu ra của chế độ thiểu số phát / đa số thu cao hơn chế độ đa số phát / thiểu số thu. Nguyên nhân tổn thất là do nhiễu gây nên. Bằng cách thiết kế tế bào cảm biến theo tỷ một hai, chế độ thiểu số phát sóng / đa số thu sóng làm giảm tổn thất năng lượng tỷ lệ với số tế bào cảm biến.

Sử dụng các kết quả đo và tính toán hệ số nhám của bề mặt mẫu, biên độ đo được được so sánh với biên độ cần tính toán. Biên độ của mỗi tín hiệu phản xạ nhận được từ bề mặt mẫu thu được bằng thực nghiệm được chuẩn tắc hoá bằng cách chia cho biên độ của tín hiệu phản xạ nhận được từ bề mặt tham chiếu. Hình 6 chỉ ra mối quan hệ đo được giữa tín hiệu phản xạ của sóng siêu âm và bề mặt nhám.



**Hình 6.** Quan hệ giữa tín hiệu phản xạ và độ nhám bề mặt

Hình 7 cho thấy độ nhạy của bộ phát sóng siêu âm trong chế độ toàn bộ phát / toàn bộ thu và chế độ thiểu số phát / đa số thu tách riêng với các chế độ khác. Trong cả hai trường hợp, độ nhạy của tín hiệu thu được có sai số nhỏ hơn vì hiệu quả truyền dẫn và hiệu quả nhận. Các tín hiệu đầu ra cao hơn có thể đạt được như thiết kế bộ phát sóng siêu âm với tỷ lệ số lượng các tế bào cảm biến.



**Hình 7.** So sánh độ nhạy của các tín hiệu phản xạ khác nhau

Để đánh giá độ nhạy của bộ phát sóng siêu âm cho phép đo độ nhám bề mặt, tính toán lý thuyết và các giá trị thực nghiệm cho thấy rằng bộ phát sóng hoạt động tốt với dải  $R_{rms} = 50\mu m$ . Biên độ đo không đúng với lý thuyết khi độ nhám trên  $50\mu m$ . Các kết quả cũng chỉ ra rằng ảnh hưởng của tín hiệu tán xạ là rõ ràng hơn khi giá trị độ nhám lớn hơn. Chế độ toàn bộ phát / toàn bộ thu hoạt động với độ chính xác cao hơn các chế độ khác và chế độ thiểu số phát / đa số thu làm việc với mức năng lượng hiệu quả hơn. Những kết quả đạt được chứng tỏ rằng CMUT sử dụng vật liệu polime có tiềm năng để ứng dụng phân biệt chất lượng của giấy ráp.

## 5. KẾT LUẬN

Bộ phát sóng vi cơ điện dung sử dụng vật liệu polime được ứng dụng để phát hiện độ nhám bề mặt. Bộ phát sóng siêu âm có thể xác định các bất thường bề mặt bằng cách sử dụng chế độ tán xạ song phân theo năm cách. Hệ số phản xạ có thể được mô tả và ước lượng mức độ độ nhám bề mặt với độ chính xác hơn. Nó cho thấy rằng cảm biến sóng siêu âm song phân cho ra một kết quả tốt thông qua đo lường cũng như là lý thuyết với thời gian kiểm nghiệm nhanh. Điều này sẽ cho phép bộ phát sóng siêu âm vi cơ điện dung sử dụng vật liệu polime đạt được độ chính xác và tiết kiệm năng lượng trong cùng một thời điểm trên dây chuyền sản xuất, trong đó kỹ thuật không tiếp xúc sẽ thích hợp hơn để kiểm tra bề mặt mềm và mỏng. Trong tương lai, cải thiện tuổi thọ và năng suất của bộ phát sóng có thể đạt được thông qua quá trình sản xuất như lựa chọn vật liệu khác nhau hoặc các thông số tối ưu. Điều này sẽ làm cho nó có thể cũng để phát hiện độ nhám với giá trị nhỏ hơn dựa vào tần số cao hơn.

## LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Hải Phòng, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội và Trường Đại học Khoa học Ứng dụng Cao Hùng - Đài Loan trong nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Stor-Pellinen, J., & Luukkala, M. (1995). Paper roughness measurement using airborne ultrasound. *Sensors and Actuators A: Physical*, 49(1-2), 37-40.
- [2]. Nicoletti D., Sorli B. (1995). Measurement of Changes in Surface Roughness using Ultrasonic Reflection Coefficient. In: *Thompson D.O., Chimenti D.E. (eds) Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. Springer, Boston, MA.
- [3]. Sukmana, D. D., & Ihara, I. (2005). Application of air-coupled ultrasound to noncontact surface roughness evaluation. *Japanese journal of applied physics*, 44(6S), 4417.
- [4]. Sukmana, D. D., & Ihara, I. (2006, November). Quantitative Characterization of Two Kinds of Surface Roughness Parameters from Air-Coupled Ultrasound Scattering. In *Proc. Symp. Ultrason. Electron* (Vol. 27, No. 2006, pp. 249-250).
- [5]. Warren, P. D., Pecorari, C., Kolosov, O. V., Roberts, S. G., & Briggs, G. A. D. (1996). Characterization of surface damage via surface acoustic waves. *Nanotechnology*, 7(3), 295.
- [6]. Hilton, P. J. (1997). Imaging surface roughness using correlated speckle grain pairs. *Proc. DICTA/IVCNZ97*, 349-354.
- [7]. Forouzbakhsh, F., Gatabi, J. R., & Gatabi, I. R. (2009). A new measurement method for ultrasonic surface roughness measurements. *Measurement*, 42(5), 702-705.
- [8]. Information on <http://www.nanovea.com/Application%20Notes/SandPaper.pdf>