



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานวิจัย

เรื่อง

การทดสอบและพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์วัดความเร่ง สำหรับ
การออกแบบทางเทคโนโลยี เครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค

TESTING AND IMPROVING MICRO ACCELEROMETER FOR
MICRO ELECTROMECHANICAL SYSTEMS (MEMS)

DESIGN

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

เอกชัย ตีศิริ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2548

PREFACE

This research has been supported by Sripatum University. The researcher will have a good opportunity and their experience to continue work in a researches area.

The study will concentrate on the design testing MEMS by using the principle engineering technique, such as static energy, kinetic energy, and etc. Chapter 2 introduces to crash sensor, mathematical for the microaccelerometer testing designed and describe about each method of tested, then formula to designed the testing of microaccelerometer. Chapter 3 covering the methodology of the microaccelerometer testing designed by drop tower or drop test that used a free fall technique. Chapter 4 focuses on the several output of microaccelerometer in different height. Finally, Chapter 5 Summary and concludes the overall work and outlines the direction for the future work.

In closing, I would like to express my deep gratitude to all the attendees for their time and effort, and for sharing their expertise and insight. Special thanks are due to the members of the Organization Committee, for their efforts in organizing the workshop and preparing the area report. Finally, I believe that this is a significant event in the field of MEMS testing.

Akekachai Deesiri

Researcher

February 2008

ACKNOWLEDGMENT

There are a number of people that I would like to thank for their help with technical discussions on this research. I would also like to thank them for their patience and endurance with missed deadlines and the prolonged working time of mine.

The people I would like to thank are:

- My advisor Associate Professor Dr. Nitin V Afzulpurkar for all the giving discussions, the help support and last but not least his patience with me.
- Our research office's staff and electrical engineering department's staff in Sripatum University for all their help.
- My wife and baby for love and support. Without her love and support it would not have been possible for me to complete.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Research Title : Testing and improving Micro accelerometer for Micro
Electromechanical Systems (MEMS) design

Name of Researcher : Mr. Akekachai Deesiri

Name of Institution : Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2008

ABSTRACT

This research presents a methodology for testing a MEMS accelerometer. The test results showed a good response signal upon the designed.

Drop testing of micromachined accelerometers experimentally has an impact force from falling. As an object falls from rest, its gravitational potential energy is converted to kinetic energy. Conservation of energy as a tool permits the calculation of the velocity just before it hits the surface. This kind of technique will be calculated into the acceleration, or G (acceleration due to gravity). The device was tested and performed well over its design range (the device was tested over a range of a 1 G to 100 G , where 1 G equals the acceleration due to gravity) by drop tower equipment at height from 0.01 meter to 1 meter.

Keywords : MEMS testing/Microaccelerometer

Contents

Chapter	Page
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Rationale for this research.....	1
1.2 Research objective	3
1.3 Significance of the study.....	3
1.4 Research hypotheses	3
1.5 Scope and delimitation of the study	3
1.6 Definitions	4
Chapter 2 Literature Review.....	5
2.1 Principle.....	5
2.2 Mathematical formulas.....	7
Chapter 3 Methodology.....	17
3.1 Designed a drop tower	17
3.2 Design a coupling signal	22
3.3 Setup and install equipment	24
Chapter 4 Results and analysis	26
4.1 Results at different force.....	26
4.2 analysis a results.....	29
Chapter 5 Summary and Conclusion	30
5.1 Summary.....	30
5.2 Conclusion.....	30

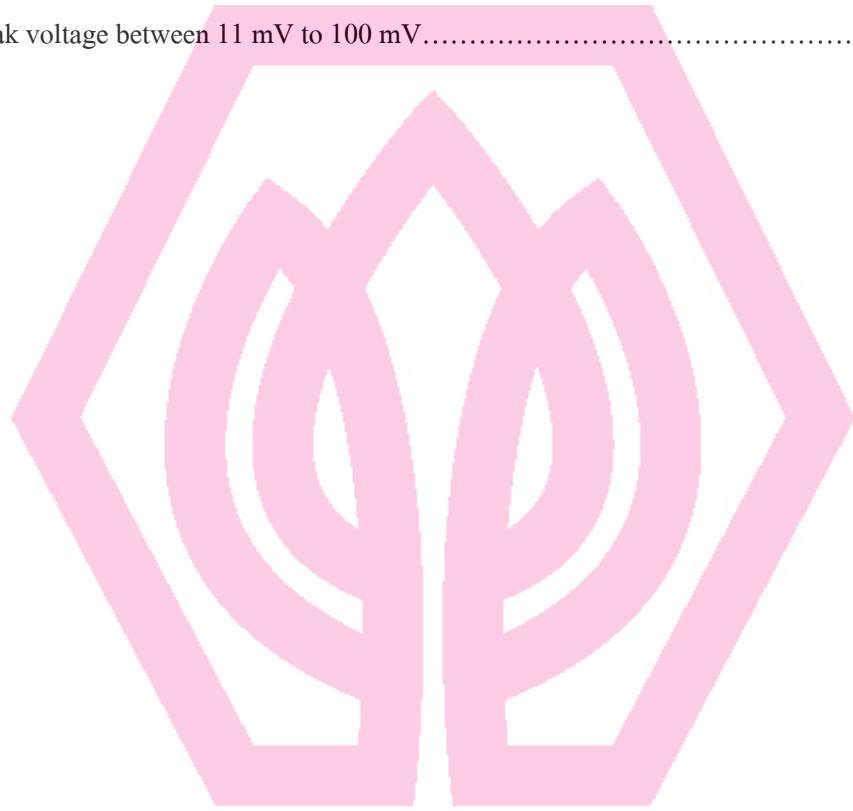
Reference.....	31
Appendix I Data sheet MEMS Accelerometer.....	36
Biographies.....	47



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

List of Tables

Table	Page
1 Peak voltage between 11 mV to 100 mV.....	6



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

List of Figures

Figure		Page
1	Accelerometers: ADXL05, MMAS40G10D, Endevco 7592	5
2	A drop test schematic of a micromachined system	6
3	Diagram of 2 axis positioning table	7
4	Vibration system block diagram	9
5	Direct collision of two spheres.....	11
6	Direct collision of two elastic spheres	12
7	An object falls from a rest	14
8	impact force from falling object	15
9	Drop test machine (Guillotine style).....	16
10	The dimension for designed of moving part	19
11	A sketch of the drop tower	20
12	The actual construction of drop tower.....	21
13	Accelerometer with Connection Diagram	23
14	Interfacing Accelerometer to Microcontroller.....	23
15	MEMS Accelerometer on a PCB testing board.....	24
16	MEMS accelerometer in the testing direction.....	24
17	MEMS Accelerometer mounting on the moving plate	25
18	Supply and digital oscilloscopes to detect an output signal.....	25
19	Output signal at 20 g	25
20	Output signal at 50 g	26
21	Output signal at 83 g	27
22	Output signal at 100g	27
23	A plot of voltage output versus height.....	28

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
25	เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง	64
26	เทอร์โมสแตทโลหะผสม	65
27	เทอร์โมสแตทอิเล็กทรอนิกส์	65
28	ตำแหน่งของชุดระบายความร้อน	72
29	ห้องที่มีการใช้งานหลอดไส้	72
30	ผนังด้านนอกอาคาร	73

Chapter 1

INTRODUCTION

Rationale for this research

MEMS means different things to different people. The acronym MEMS stands for MicroElectroMechanicalSystems and was coined in the United States in the late 1980s. Around the same time the Europeans were using the phrase Microsystems technology (MST). It could be argued that the former term refers to a physical entity, while the latter is a methodology.

With the development of MicroElectroMechanicalSystems (MEMS), inertial instruments have seen significant progress over the past decades. The advantages of low cost, low power, small size, batch fabrication makes MEMS based inertial sensors have a wide range of applications in automotive, consumer, computer, and navigation markets. As the most mature MEMS based inertial sensor application, current MEMS accelerometers have the highest degree of integration, with sensing elements and electronic interface circuitry on a single chip.

Micromachined inertial sensors are a very versatile group of sensors with applications in many areas. They measure either linear acceleration (along one or several axes) or angular motion about one or several axes. The former is usually referred to as an accelerometer, the latter as a gyroscope. Until recently, medium to high performance inertial sensors were restricted to applications in which the cost of these sensors was not of crucial concern, such as military and aerospace systems. The dawn of micromachining has generated the possibility of producing precision inertial sensors at a price that allows their usage in cost sensitive consumer applications. A variety of such applications already exists, mainly in the automotive industry for safety systems such as airbag release, seat belt control, active suspension, and traction control. Inertial sensors are used for military applications such as inertial guidance and smart ammunition. Medical applications include patient monitoring. Many products, however, are currently in their early design and commercialization stage, and only one's imagination limits the range of applications. A few examples are:

- Antijitter platform stabilization for video cameras;
- Virtual reality applications with head-mounted displays and data gloves;
- GPS backup systems;
- Shock-monitoring during the shipment of sensitive goods;
- Novel computer input devices;
- Electronic toys.

Many types of micromachined accelerometers have been developed and are reported in the literature, the some of the fundamental concepts and techniques that are used in the design of mechanical microsensors. The most sensing important mechanisms include the following effects: piezoresistivity, piezoelectricity, variable capacitance, optical, and resonant techniques, however, the vast majority has in common that their mechanical sensing element consists of a proof mass that is attached by a mechanical suspension system to a reference frame.

Acceleration is one of the parameters measured to determine the effectiveness of automotive safety systems such as seat belts, frontal and side impact airbags, and other interior designs in improving occupant protection. The acceleration measurement in safety testing is a challenge due to the high g shock encountered, the necessity for repeatable, non shifting output, and the requirement for a small, lightweight unit with a wide frequency response.

The testing of MEMS can be roughly divided into two main categories, being the testing of new MEMS microsystems and the testing of mainstream MEMS Microsystems. The first category compromises mainstream MEMS microsystems for medium and high volume market. In many cases the packaging and testing costs of MEMS can reach 80% of the total costs, and testing alone in the range of 30%. Examples of these microsystems are accelerometers, gyros, intelligent pressure sensors, optical switches, ink jet devices and lab-on-a-chip.

The second category is dominated by a vast number of academic laboratories and industrial using regularly quite exotic processing techniques. Testing is a relatively rare subject in this community, except papers on the reliability of some MEMS. One normally does cumbersome functional tests (characterization) of one or more important functional parameters. Characteristic in most cases is an absence of knowledge /interest in potential defects in the devices made in often exotic processes. It resembles very strong the approach as used in conventional analogue / mixed signal testing. In this case functional tests of key parameters are

carried out by mixed signal. Which have been adapted in the handler section with dedicated peripheral equipment. In some cases of safety critical devices, e.g. airbag Microsystems.

Research objective

- To testing of MEMS accelerometer by exciting an external acceleration force.
- To improved a designed of MEMS accelerometer.

Significance of the study

The advantage and a limited of the design and testing for Mems accelerometer.

Research hypotheses

One of the main reasons for the growth of microsensors is that the enabling technologies are based on those used within the integrated circuit (IC) industry. Another feature that has influenced the popularity trend of microsensors is that many (but certainly not all) are based on silicon (Si). The electrical properties of silicon have been studied for many years and are well understood and thoroughly documented. Silicon also possesses many desirable mechanical properties that make it an excellent choice for many types of mechanical sensor. The production cost of a commercial pressure sensor, for example, is around 1 Euro, and this is largely because the cost of producing ICs is inversely proportional to the volume produced.

Scope and delimitation of the study

Testing of MEMS accelerometer by exciting an external acceleration force from 0 to ± 100 g at operating frequency 300 Hz .

The testing is used the principle of physical to test MEMS accelerometer by coupling an electrical signal from an accelerometer at vast acceleration from the testing equipment.

Definitions

Micro Electromechanical Systems (MEMS) Small machines at micro-scale

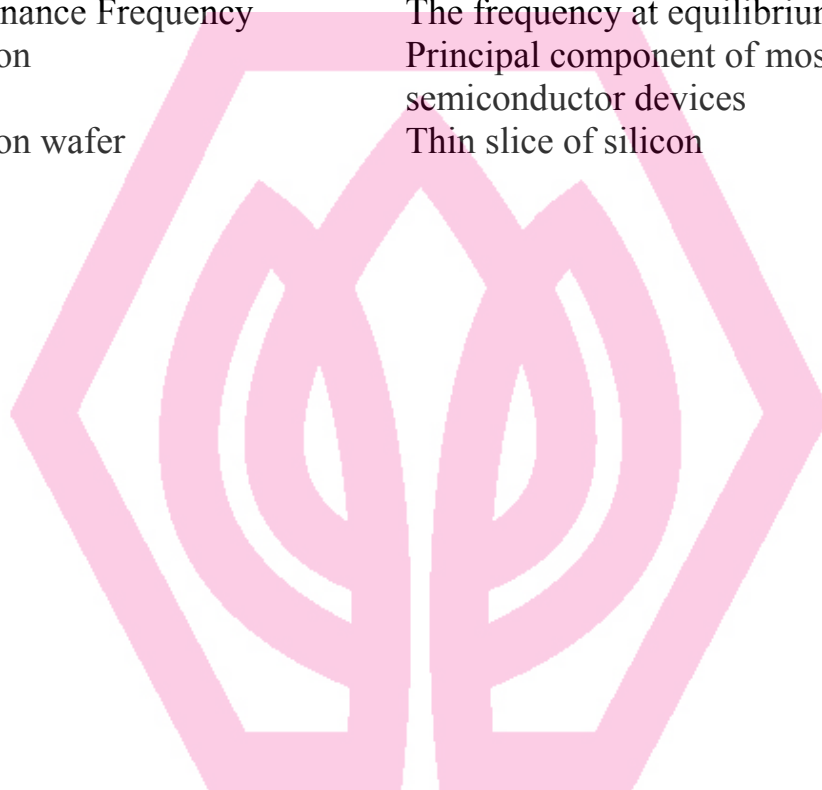
Accelerometer Measuring device for acceleration

Electrostatic Static electricity

Resonance Frequency The frequency at equilibrium object

Silicon Principal component of most semiconductor devices

Silicon wafer Thin slice of silicon



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Chapter 2

Literature Review

2.1 Principle

In the past decade, the designing and manufacturing microelectro mechanical systems MEMS has been achieved . Among the numerous applications, automotive airbag is so far the largest market for micromachined accelerometers. From a historical perspective, MEMS technology is relatively new and is in many ways not mature. In order to help its long term successful commercialization, it is important to address all reliability issues as they appear in order to increase consumers' confidence and acceptance of MEMS products.

Surface micromachining is having a significant impact on the miniaturization and cost reduction of micromachined sensors. Many accelerometers using surface micromachined sensors have been described and are commercially available. These sensors are based on capacitive.

Many manufacturers are producing MEMS pressure sensors for the health industry and accelerometers for the automotive airbag application. Figure1. shows some of these accelerometers.



Figure 1. Accelerometers: ADXL05, MMAS40G10D, Endevco 7592.

Micromachined inertial sensor and actuator devices are often constructed from multiple polysilicon layers by deposition and etching. They can also be fabricated directly from silicon wafers by surface micromachined techniques. To act as an inertial sensing device or an actuating device, it contains a movable component serving as a proof mass and a set of springs to support the proof mass in space. The springs are typically straight or folded slender beams formed together with the proof mass and are anchored to substrate. When acting as an inertial sensor, the proof mass is displaced by an inertial force or g force induced by an acceleration or deceleration.

The displacement of the proof mass results in a change in signal output. When acting as an actuator, the proof mass is driven by an external force or an applied voltage to fulfill a specified function. Typically, the inertial force induced motion in a micromachined accelerometer is less than 0.1 mm in normal applications, relatively small as compared to the lateral dimension of 100 to 1000 μm for many of MEMS devices. Consequently, in normal applications, the structural deformation is small and the device's signal output is approximately linearly proportional to the applied force. For those MEMS devices with safety applications, an accelerometer for automobile airbag for example, drop test is a required qualification step to ensure the functionality after any unexpected drop or impact. One would expect that if a part can survive a certain type of drop test, it should fulfill its mission, at least mechanically. The purpose of this paper is to determine the magnitude of inertial force or g force induced by a mechanical drop and the degree of structural deformation due to such a force.

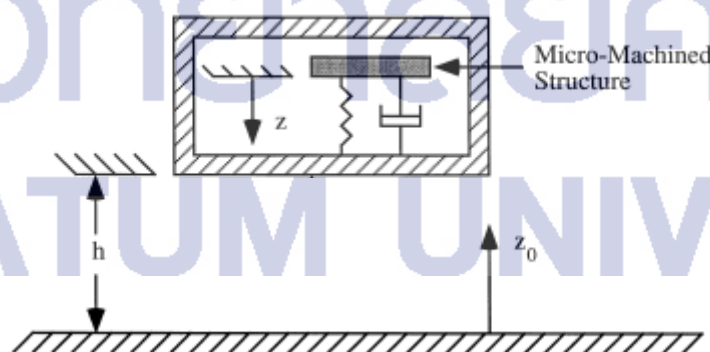


Figure 2. A drop test schematic of a micromachined system.

Acceleration is one of the parameters measured to determine the effectiveness of automotive safety systems such as seat belts, frontal and side impact air bags, and other interior designs in improving occupant protection. The acceleration measurement in safety testing is a challenge due to the high g shock encountered, the necessity for repeatable, non shifting output, and the requirement for a small, lightweight unit with a wide frequency response.

2.2 Mathematical formulas

Positioning Table

Besides the electrical inputs to the IMEMS accelerometer, mechanical inputs of various g levels are required. The first piece of mechanical equipment discussed, a positioning table, uses the earth's gravitational field and precise angular control to provide a precise static g level input. Standard free fall is 1 g or 9.806650 m/s². For precision measurements, one must know the local value of gravity. To test an accelerometer in all three axes without changing its fixture position manually on the positioning table top, it is necessary to use a 2 axis positioning table. See Figure3 for a diagram of the positioning table. This positioning table has a computer interface (IEEE-488) for automatic tester control. It is equipped with slip ring assemblies for the IMEMS accelerometer control input signals and digital output signals to and from the IC tester. A positioning table which can provide one milli g resolution, an IEEE-488 interface, and 48 slip rings

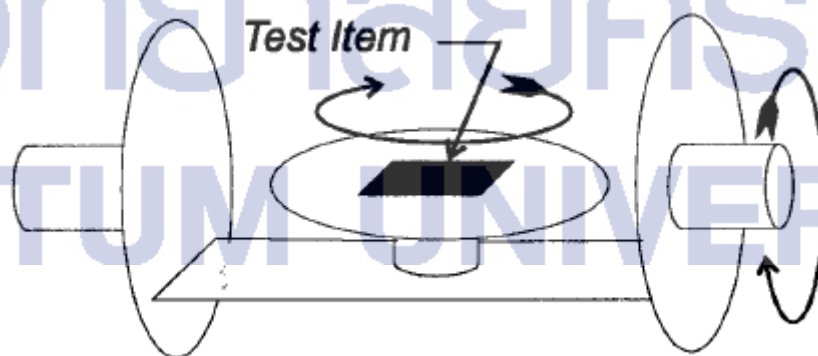


Figure3. Diagram of 2 axis positioning table.

This is the case where the table will only be positioned for k 1 g static testing. and not rotated continuously. The table can rotate up to 3 Hz in one axis, and when this mode of testing is used, the slip rings are necessary. For continuous rotational testing, up to 6.9 g can be achieved in this centrifuge mode of operation at the 3 Hz rate with the maximum radius of 7.5 inches from the axis of rotation to the accelerometer under test. The following is the centrifuge equation:

$$g = \frac{N^2 r}{2934} \quad (1)$$

where N is rotation rate in revolutions per minute and r is the radius in feet

When controlling the positioning table, it is desirable to specified the g level input directly. However, most positioning tables require table angle control signal, so a conversion from required g level to position table angle is required in the test program. The principal value is found using a library arc sin function, a simple function consisting of a square root function and 8th order polynomial was used as follows

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \sqrt{1 - g} \quad (2)$$

$$(a_0 + g(a_1 + g(a_2 + g(a_3 + g(a_4 + g(a_5 + g(a_6 + ga_7))))))))$$

where
 $a_0 = 1.5707963050$
 $a_1 = -0.2145988016$
 $a_2 = 0.0889789874$
 $a_3 = -0.0501743046$
 $a_4 = 0.0308918810$
 $a_5 = -0.0170881256$
 $a_6 = 0.0066700901$
 $a_7 = -0.0012624911$

θ is the angle in radians

g is the desired g level for $1 \geq g \geq 0$

Vibration Machine

For dynamic testing, a vibration machine is used to provide dynamic g level input. A vibration system with an IEEE-488 control interface that will provide up to a 40 g sine wave vibration from 35 Hz to 9 kHz. A block diagram of a typical vibration system is shown in Figure 4. The electromagnetic driven armature is mainly internal to the vibration exciter housing. The top of the armature protrudes out of the housing just enough to attach a payload (fixture and accelerometer under test) and provide enough clearance for the maximum displacement of the vibration exciter. Vibration system ratings are given at maximum peak-to-peak displacement, maximum force peak, and frequency range. To determine the maximum g level for any given load, the armature weight must be taken into account. It is important to note that vibration specification standards call for displacement in peak-to-peak amplitude, while g level is specified in zero-to-peak amplitude. It is difficult to get high g levels at low frequencies because the maximum displacement of the vibration head is the limiting factor as shown in Figure 4.

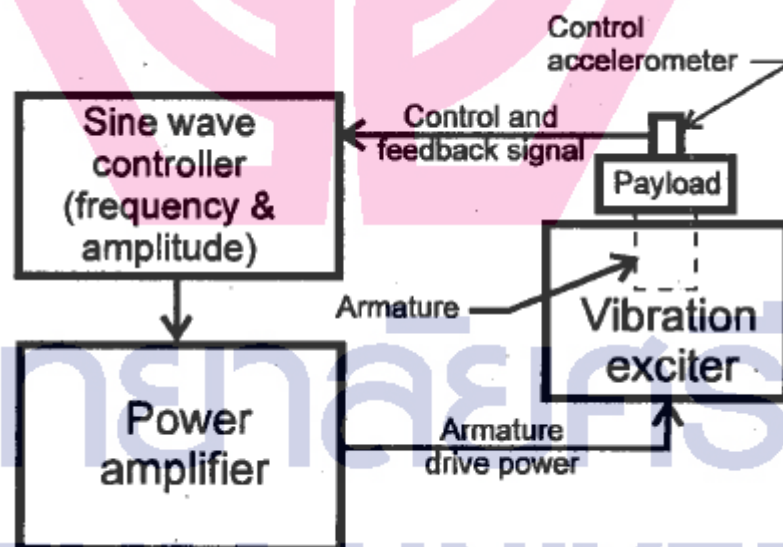


Figure 4 Vibration system block diagram.

Drop test (Guillotine style)

Impulse and Impact

The impulse of a constant force F is defined as the product of the force and the time t for which it acts.

$$\text{Impulse} = Ft \quad (3)$$

The effect of the impulse on a body can be found using Equation, where a is acceleration, u and v are initial and final velocities respectively and t is time.

$$v = u + at \quad (4)$$

So

$$F = ma \quad (5)$$

$$Ft = m(v-u) = \text{change in momentum}$$

So we can say that

$$\text{Impulse of a constant force} = Ft = \text{change in momentum produced}$$

Impulse is a vector quantity and has the same units as momentum, Ns or $kg \ m/s$. The impulse of a variable force can be defined by the integral

$$\text{Impulse} = \int_0^t F dt \quad (6)$$

where t is the time for which F acts and by Newton's 2nd law

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

So impulse can also be written

$$\begin{aligned} \text{Impulse} &= \int_0^t m \frac{dv}{dt} dt \\ &= \int_u^v m dv \end{aligned} \quad (8)$$

$$= [mv]_u^v$$

Which for a constant mass

$$\text{Impulse} = m(v-u) \quad (9)$$

In summary

$$\text{Impulse} = \int_0^t F dt = \text{change in momentum produced} \quad (10)$$

Suppose the force F is very large and acts for a very short time. During this time the distance moved is very small and under normal analysis would be ignored. Under these conditions the only effect of the force can be measured is the impulse, or change in momentum. The force is called an impulsive force.

In theory this force should be infinitely large and the time of action infinitely small. Some applications where the conditions are approached are collision of snooker balls, a hammer hitting a nail or the impact of a bullet on a target.

Conservation of linear momentum

Consider the direct collision of two spheres A and B shown in Figure 5



Figure 5 Direct collision of two spheres

When the spheres collide, then by Newton's third law, the force F exerted by A on B is equal and opposite to the force exerted by B on A.

The time for contact is the same for both. The impulse of A on B is thus equal and opposite to the impulse of B on A. It then follows that the change in momentum of A is equal in magnitude to the change in

momentum in B, but it is in the opposite direction. The total change in momentum of the whole system is thus zero. This means that the total momentum before and after a collision is equal, or that linear momentum is conserved. This is called the principle of conservation of linear momentum and in summary this may be stated. The total momentum of a system, in any direction, remains constant unless an external force acts on the system in that direction.

Impact of inelastic bodies

When two inelastic bodies collide they remain together. They show no inclination to return to their original shape after the collision. An example of this may be two railway carriages that collide and become coupled on impact. Problems of this type may be solved by the principle of conservation of linear momentum.

$$\text{Momentum before impact} = \text{momentum after impact} \quad (11)$$

Impact of elastic bodies

In the last section the bodies were assumed to stay together after impact. An elastic body is one which tends to return to its original shape after impact. When two elastic bodies collide, they rebound after collision. An example is the collision of two snooker balls.

If the bodies are traveling along the same straight line before impact, then the collision is called a direct collision. This is the only type of collision considered here.

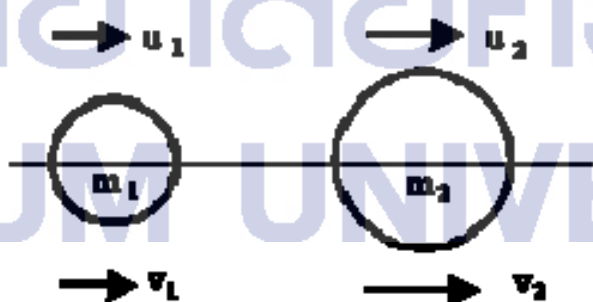


Figure 6 Direct collision of two elastic spheres

Consider the two elastic spheres as shown in Figure 6. By the principle of conservation of linear momentum

Momentum before impact = momentum after impact

$$m_1u_1+m_2u_2 = m_1v_1+m_2v_2 \quad (12)$$

Where the u are the velocities before collision and the v , the velocities after collision.

When the spheres are inelastic v_1 and v_2 are equal as we saw in the last section. For elastic bodies v_1 and v_2 depend on the elastic properties of the bodies. A measure of the elasticity is the coefficient of restitution e , For direct collision this is defined as

$$e = -\left(\frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2}\right) \quad (13)$$

This equation is the result of experiments performed by Newton. The values of e in practice vary from between 0 and 1. For inelastic bodies $e = 0$, for completely elastic $e = 1$. in this latter case no energy is lost in the collision.

Impact force from falling object

Kinetic energy

Kinetic energy is energy of motion. The kinetic energy of an object is the energy it possesses because of its motion. The kinetic energy of a point mass m is given by

$$\text{Kinetic Energy} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (14)$$

Where m = mass of an object

v = velocity of an object

Kinetic energy is an expression of the fact that a moving object can do work on anything it hits, it quantifies the amount of work the object could do as a result of its motion. The total mechanical energy of an object is the sum of its kinetic energy and potential energy.

For an object of finite size, this kinetic energy is called the translational kinetic energy of the mass to distinguish it from any rotational kinetic energy it might possess the total kinetic energy of a mass can be expressed as the sum of the translational kinetic energy of its center of mass plus the kinetic energy of rotation about its center of mass.

As an object falls from rest, its gravitational potential energy is converted to kinetic energy. Conservation of energy as a tool permits the calculation of the velocity just before it hits the surface.

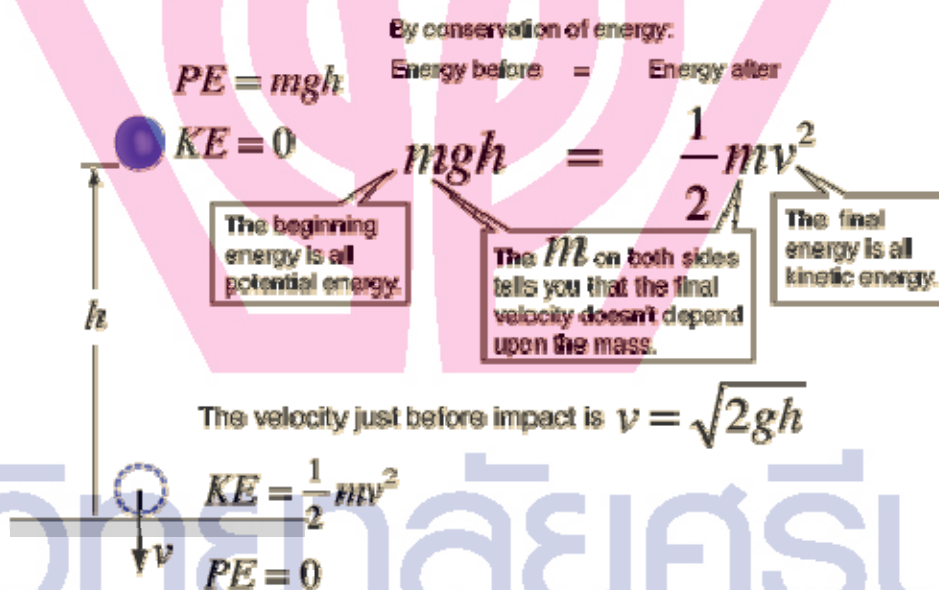


Figure 7 An object falls from a rest.

Even though the application of conservation of energy to a falling object allows us to predict its impact velocity and kinetic energy, we cannot predict its impact force without knowing how far it travels after impact.

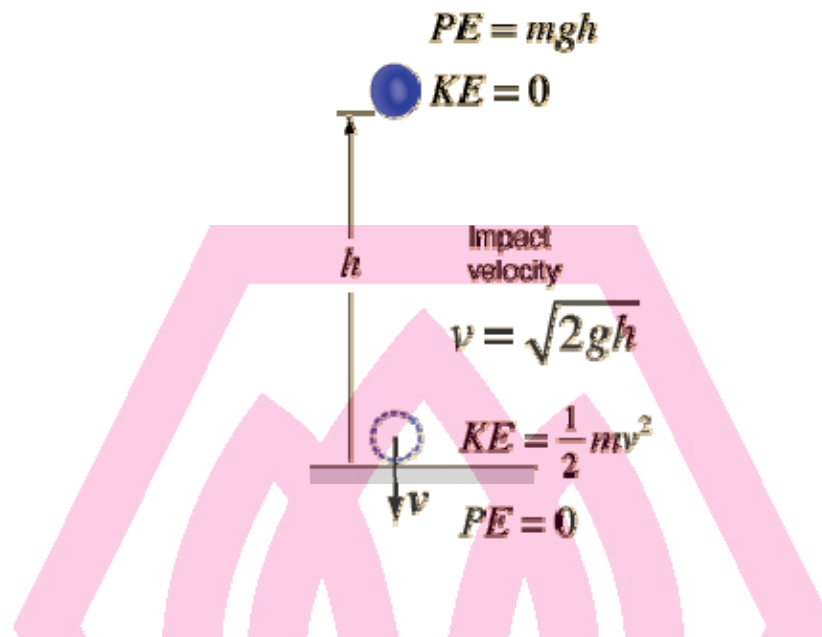


Figure 8 impact force from falling object

From the impact force from falling object. A drop test experiments as part of the survivability and performance survey, devices are subjected to severe shock environments first. This allows a pre qualification of the devices to be performed before actual gun launching. High g testing consists of both short (shock table) and long pulse (air gun) duration shocks.

The two are seen as integral to the preliminary survey of survivability. A simple drop test machine is used to perform the initial experiments. An elastic cord assists in pulling the drop table toward the anvil, thereby increasing its energy content at impact.

The machine has the capability of producing up to a 35,000g environment. To simulate extreme artillery level and tank level launch accelerations, an air gun (up to 100,000 g's) is used. The test consisted of independent launches of an aluminum carrier body by a 4 in, high pressure air gun. After launch, the carrier body impacts a mitigator and momentum exchange mass (MEM) to cause the deceleration of the carrier. Mitigator designs tailor the impact pulse amplitude, rise time, and duration.

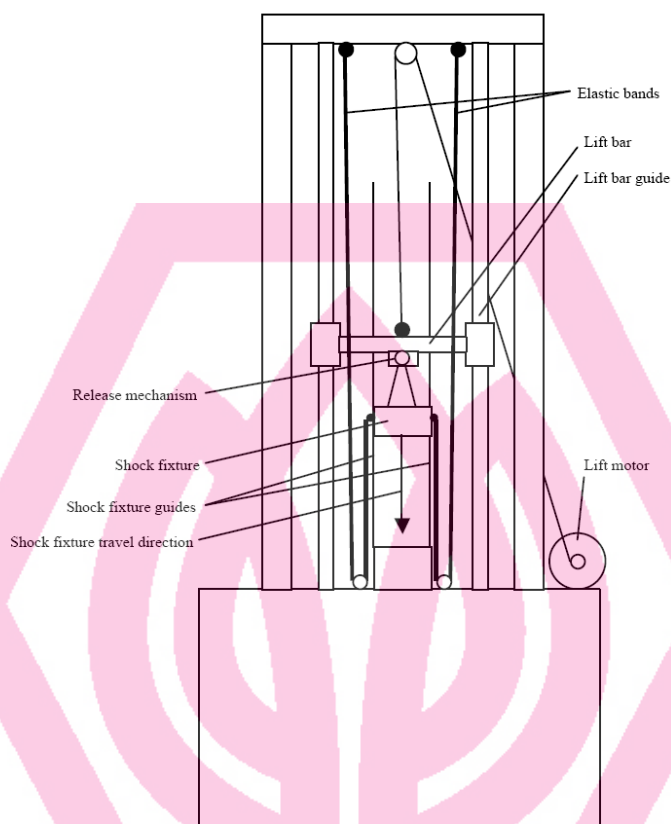


Figure 9 Drop test machine (Guillotine style)

This accelerometer has a 50,000g deceleration limit. All reported values of shock are referenced to this table mounted accelerometer. However, this appears to be less than the samples actual acceleration as described below. A 100,000g accelerometer is also used for experimental evaluation of the shock experiences within a cavity of potting. It is difficult to tests. simulate the exact characteristics of gun launch which last as long as 8 to 16 ms. These simulated shocks are less than 1 ms in duration and have a higher rebound effect as compared to real launch conditions. Our experience has been that, if a part survives a shock table laboratory experiment, the probability of surviving similar launch acceleration conditions is high.

Chapter 3

Methodology

3.1 Designed a drop tower

As mentioned previously, the drop tower used in the dynamic tests by used the impact force from falling object. From the designed following theory of impact force figure 8:

Average impact Force \times distance traveled = change in kinetic energy (15)

For $h = 1m$.

$m = 10 \text{ kg}$.

$$F = \frac{KE}{d} \quad ; \text{d} = \text{distance traveled after impact in aero flex material.}$$

$$F = \frac{98J}{0.01m.} \\ = 9800 \text{ N.}$$

$$a = \frac{9800kg.m/s^2}{10kg.}$$

$$\therefore a = 980g.$$

$m = 5 \text{ kg}$.

$$= \frac{49J.}{0.01m.}$$

$$= 4900 \text{ N.}$$

$$a = \frac{4900kg.m/s^2}{5kg.}$$

$$\therefore a = 980g.$$

From the results of an acceleration, at a same height (h) 1 m. and distance traveled after impact around 0.1 m , but the designed vary a mass (m). The acceleration output after impact are the same value is 980 g.

For mass (m) = 1 kg

$$h = 0.2 \text{ m.}$$

$$F = \frac{1.96}{0.01 \text{ m.}}$$

$$a = \frac{196 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2}{1 \text{ kg.}}$$

$$\therefore a = 196 \text{ g.}$$

$$h = 0.4 \text{ m.}$$

$$F = \frac{3.92}{0.01 \text{ m.}}$$

$$a = \frac{392 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2}{1 \text{ kg.}}$$

$$\therefore a = 392 \text{ g.}$$

As the designed show a result has varied by adjust a height (h), but still the same mass (m) = 1kg. The acceleration output after impact change in linear value.

Calculate for density (Mass)

Density for stainless steel (304) $\rho = 8000 \text{ kg} / \text{m}^3$

From $m = \text{Volume} \times \rho$

; $\text{Volume} = W \times L \times T$

$$m = (W \times L \times T) \times \rho$$

$$(W \times L \times T) = \frac{m}{\rho}$$

; at $m = 1 \text{ kg}$.

$$(W \times L \times T) = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}^3}{8000 \text{ kg}}$$

$$(W \times L \times T) = 0.000125 \text{ m}^3$$

; Let the thickness = 0.01 m .

The summary dimension is

$$0.1118 \text{ m} \times 0.1118 \text{ m} \times 0.01 \text{ m} = 0.000125 \text{ m}^3$$

We got the dimension of moving part at 1 kg.

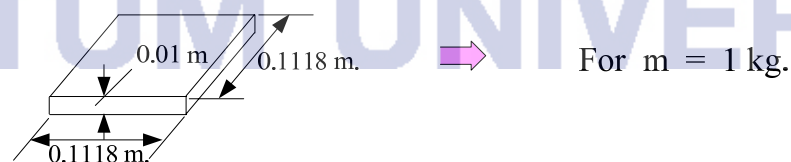


Figure 10 The dimension for designed of moving part.

That drop tower has four steel rods on which a square stabilizing plate can slide vertically up and down. The designed starting with basic theory of kinetic energy A total height of 2.6 m was decided upon so that acceleration up to 200g could be tested. This height can be increased or decrease slightly depending on output of acceleration. A sketch of the drop tower is shown in Figure 11

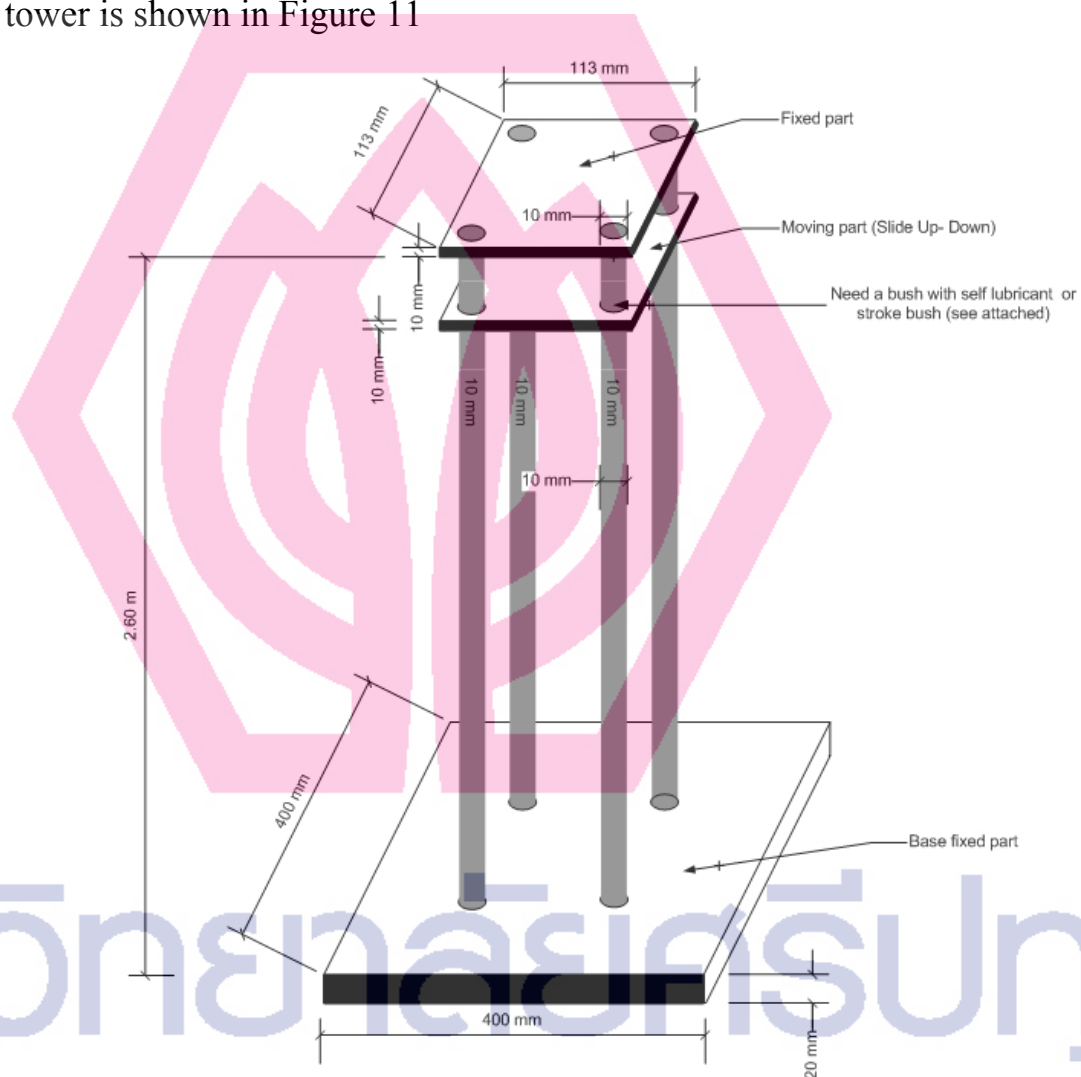


Figure 11 A sketch of the drop tower

The main components that make up the drop tower are two 113 mm. x 113 mm. x 10 mm. 304 stainless plates, one 400 mm. x 400 mm. x 20 mm., and four steel rod has 2.6 m x 10 mm. diameter steel rods. One plate is used as the stabilizing or drop plate to which one end of the bottom. This plate also serves as a support to add various amounts of weight. The moving part is slide vertically up and down through steel rod. The weight of moving part has a 1 kg. Addition weight can put onto moving part and nuts can be screwed onto the bolts so that the weights stay connected to the drop plate. The other stainless plate is used as the top plate of the tower. This plate is essential only for connecting and stabilizing the four steel rods. The larger stainless plate is used for the drop tower's base plate, the base plate stabilizes the slender drop tower and prevents it from tipping over.



Figure 12 The actual construction of drop tower.

A drop tower was setup with a 2 meters ruler. It will help to make a height for starting position of moving plate according to the testing designed.

3.2 Design a coupling signal

The Micromachined Accelerometer MMA3202 series of dual axis (X and Y) silicon capacitive, micromachined accelerometers features signal conditioning, a 4-pole low pass filter and temperature compensation and separate outputs for the two axes. Zero-g offset full scale span and filter cut-off are factory set and require no external devices. A full system self-test capability verifies system functionality.

The features of this device are

- Sensitivity in two separate axes: 100g X-axis and 50g Y-axis
- Integral Signal Conditioning
- Linear Output
- Ratiometric Performance
- 4th Order Bessel Filter Preserves Pulse Shape Integrity
- Calibrated Self-test
- Low Voltage Detect, Clock Monitor, and EPROM Parity Check Status
- Transducer Hermetically Sealed at Wafer Level for Superior Reliability
- Robust Design, High Shocks Survivability

From the features of MMA3202 as a capacitive sensor and 100g. There are suitable to testing with research objective and the method to coupling signal has show in figure 12 with a component connection. In figure 13 has interfacing an accelerometer to microcontroller, in this case is another method to detect or coupling electrical signal, but the data output of two method will different in analog signal or digital signal.

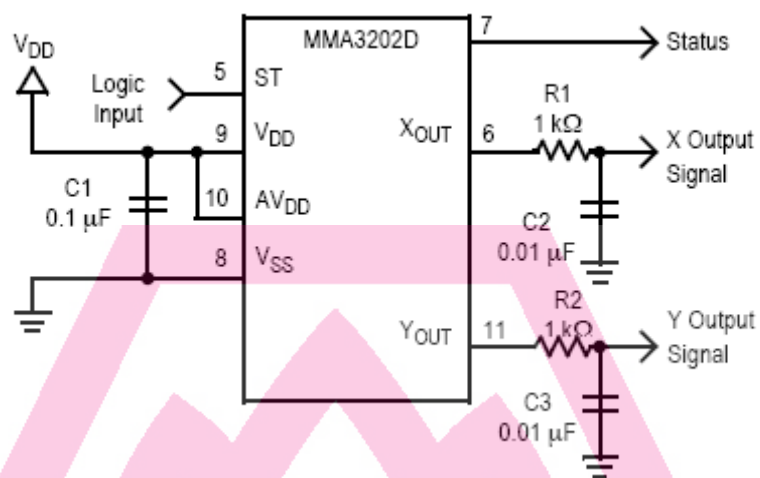


Figure 13 Accelerometer with Connection Diagram

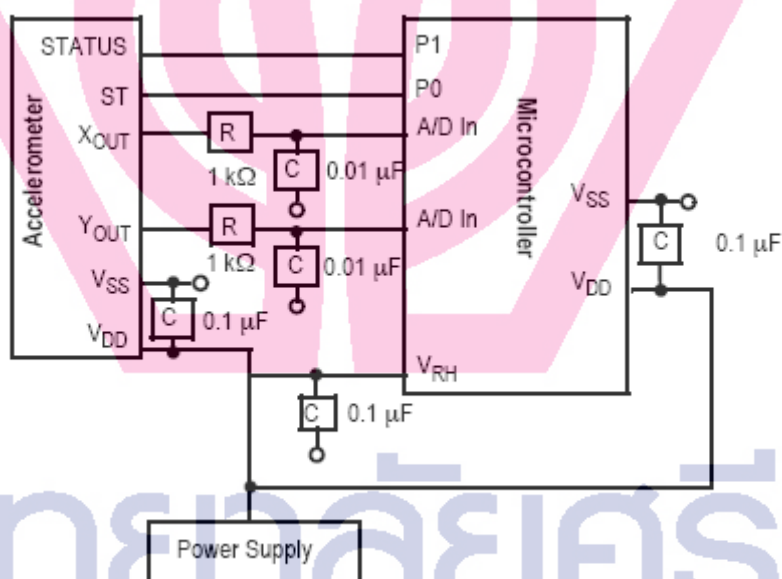


Figure 14 Interfacing Accelerometer to Microcontroller

3.3 Setup and install equipment.

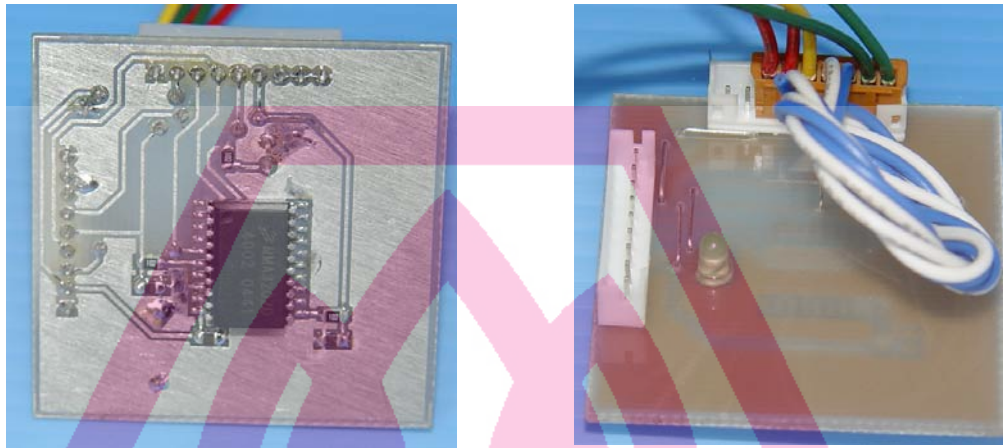


Figure 15 MEMS Accelerometer on a PCB testing board.

- a) Solder mark on PCB
- b) A connector coupling

Surface mount parts and reflow soldering produce a compact product with high reliability. The PCB has been used as wiring for electrical signal and output signal of a MEMS Accelerometer as shown in figure 15, the output signal as a voltage can be measured through a connector. The dimension of PCB is 2 inches \times 2 inches.



Figure 16 MEMS Accelerometer in the testing direction

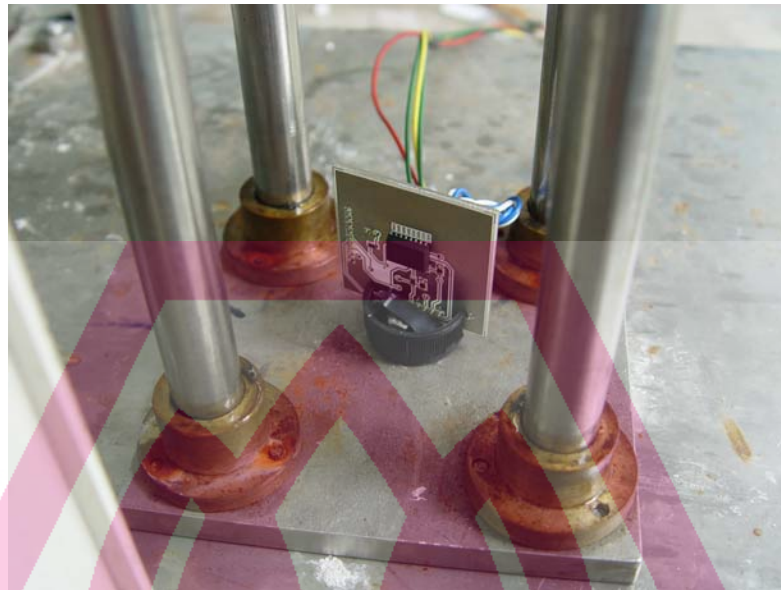


Figure 17 MEMS Accelerometer mounting on the moving plate

The sensor's direction to test show in figure 16, it is very important in term to coupling the output signal, The accelerometer measures acceleration in two axes. This means that acceleration perpendicular to the plane defined by the axes cannot be detected. The direction is set to x-direction. Then MEMS Accelerometer mounting on the moving plate, the plate can go height up to 2 meters.



Figure 18 Supply and digital oscilloscopes to detect an output signal

In figure 18, we used a digital oscilloscope for detect output signal of the sensor, dc supply used to bias the sensor work.

Chapter 4

Results and analysis

4.1 Result at different force

The acceleration sensor detects the component that results when the acceleration component due to gravity is subtracted from the acceleration component due to motion in the direction of the input axis. However in free-fall, the acceleration component due to motion is the same as the acceleration component due to gravity.

The electrical signal, as viewed on the oscilloscope, shows the sensor response, based on the impulsive force. A height in the signal means the output voltage changes according to an acceleration or a height of tested. On one of the oscilloscopes channels, we measured the output signal response from the accelerometer, by AC mode.

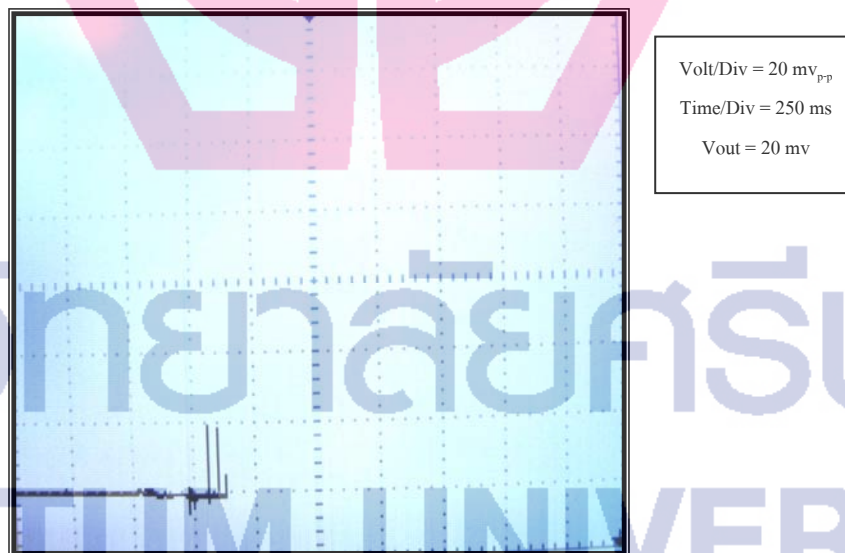


Figure 19 Output signal at 20 g

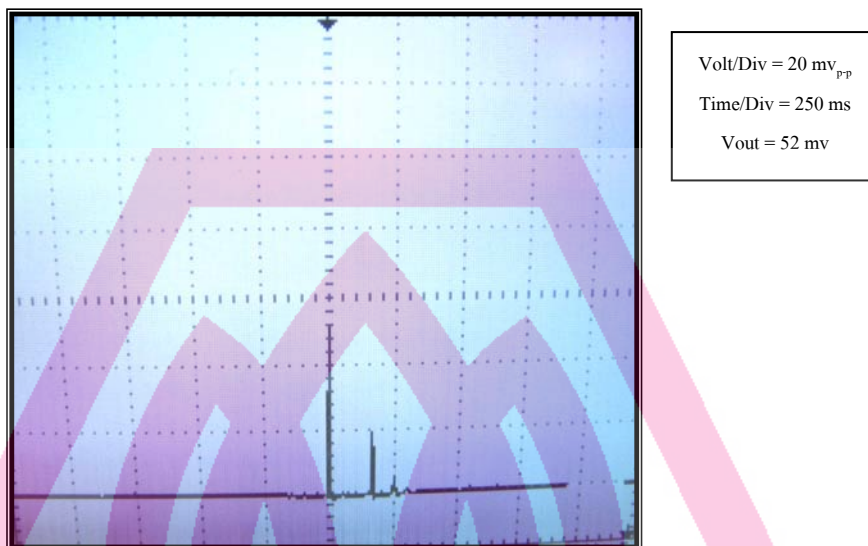


Figure 20 Output signal at 50 g

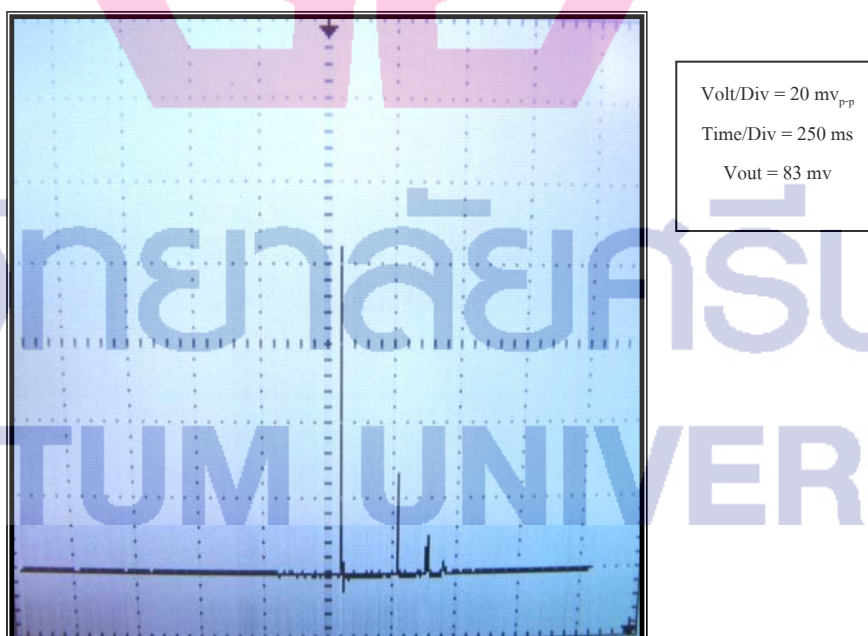


Figure 21 Output signal at 83 g

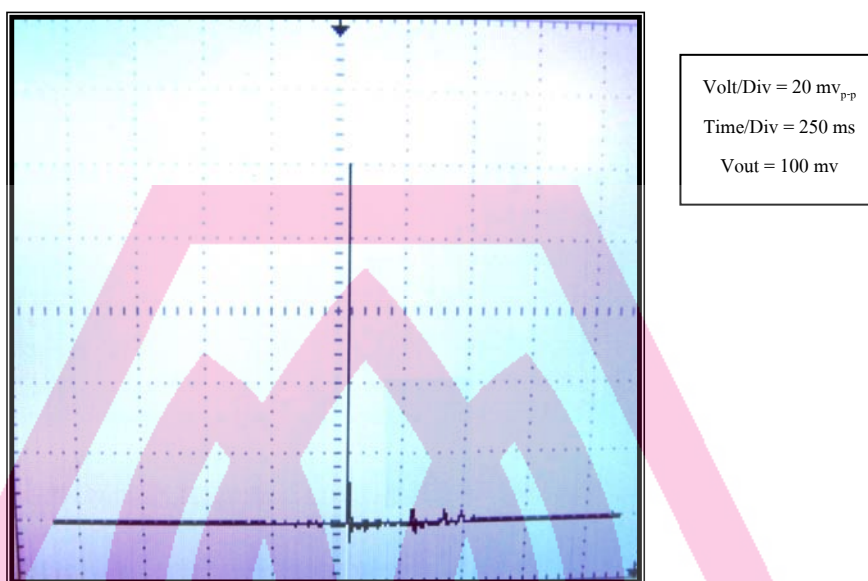


Figure 22 Output signal at 100g

The results, that can be seen in Table 1, showed a peak voltage between 11 mV to 100 mV, corresponding to different height cause the difference acceleration or Earth's gravity (g) values.

Table 1 Peak voltage between 11 mV to 100 mV

Earth's gravity(g)	Height (m)	V _{out} (mv)
10	0.1	11
20	0.2	19
30	0.3	33
40	0.4	39
50	0.5	52
60	0.6	60
70	0.7	72
80	0.8	83
90	0.9	88
100	1	100

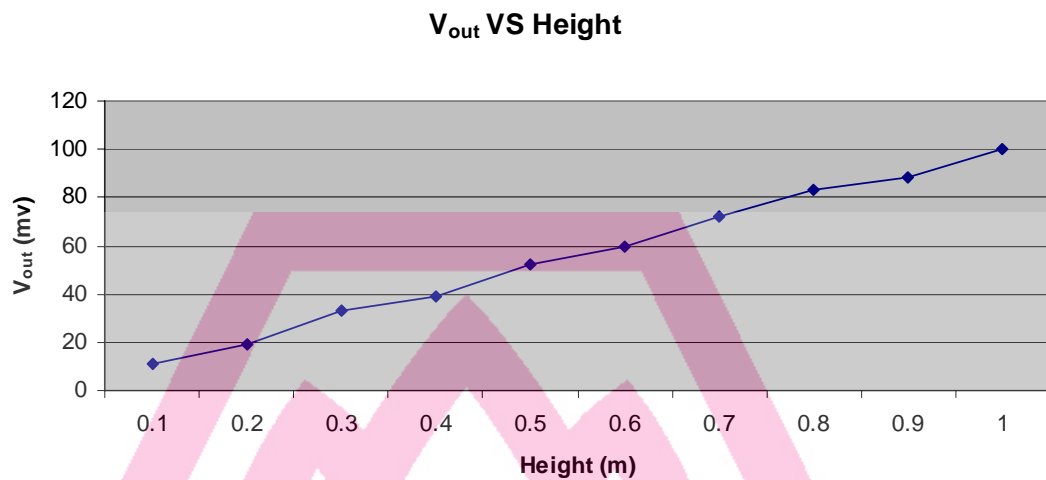


Figure 23 A plot of voltage output versus height

Graph in figure 23 show a good linear responses of the voltage output to changes in linear Height (m)

4.2 Analysis a results.

The sensor element is a micromachined polysilicon structure suspended over a silicon wafer by polysilicon springs. The structure forms a differential capacitor with the wafer below. Acceleration causes movement of the suspended structure relative to the wafer, and thus a change in capacitance. The capacitance is measured and converted to an output conversion block. The sensor achieves high reliability in a small package by using surface mount parts using a reflow solder process.

Chapter 5

Summary and Conclusion

5.1 Summary

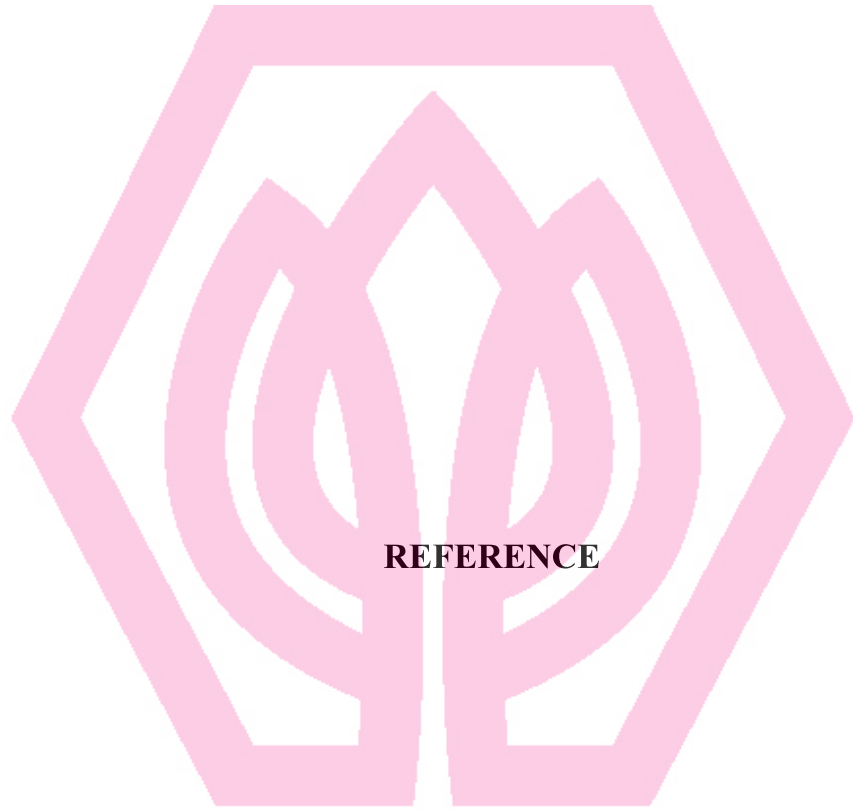
This chapter attempts to summarize the results of this project. In short, it was successful. We have a working prototype and test equipment, ready for implementation in the laboratory. In this, the author has fulfilled the goals of testing of MEMS Accelerometer by exciting an external acceleration force by drop tower.

A new micromachined acceleration sensor structure was designed, manufactured and tested. For the laboratory test such as drop tower have been use for MEMS Accelerometer. The technology used for fabricating the sensor was typical silicon micromachining technology, using both silicon surface and bulk micromachining techniques. The maximum tested acceleration was about 100g, , also with good response results.

5.2 Conclusion

Acceleration is a change in speed. When you push the gas pedal of a car, and the car speeds up, this is acceleration. I. The Dual Acceleration/Tilt Sensor (Accelerometer) measures acceleration by it's effect on a small mass. The sensing mass is also affected by gravity. Because of this, the sensor can be used to measure gravity.

The sensor can be used in shock detection applications and acceleration detection, being a low cost alternative for the capacitive solution, which is used on a large scale at the moment. Also, it can be used for vibration detection (for engines and installations) and for detecting strong acoustic events (noises).



REFERENCE

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Reference

- Hans G. Kerkhoff. **Testing of MEMS-Based Microsystems**. MESA+ Institute for Nanotechnology, Testable Design & Testing of Nanosystems (TDT) Group. Netherlands: Proceedings of the European Test Symposium (ETS'05). IEEE, 2005.
- F. Mailly, F. Aza, N. Dumas, L. Latorre and P. Nouet LIRMM. **Towards On-Line Testing of MEMS Using Electro-Thermal Excitation**. Univ. Montpellier II / CNRS, Montpellier. France: Proceedings of the European Test Symposium (ETS'05). IEEE, 2005.
- Grzegorz Mikuowski, Tomas Varga, and Jan Holnicki-Szulc. **REAL-TIME IMPACT LOAD IDENTIFICATION**. Smart Technologies Centre. Institute of Fundamental Technological Research. Swietokrzyska . Poland: II ECCOMAS THEMATIC CONFERENCE ON SMART STRUCTURES AND MATERIALS, 2005.
- Richard W. Beegle, Robert W. Brocato, Ronald W. Grant. **IMEMS ACCELEROMETER TESTING-TEST LABORATORY DEVELOPMENT AND USAGE**. Microsystems Science, Technology and Components Cenetr. Sandia National Laboratory: ITC INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 1999.
- Mostafiz R. Chowdhury*, James C. Ray. **Accelerometers for bridge load testing**. Geotechnical and Structures Laboratory, US Army Engineer Research and Development Center, USA: NDT&E International 36, 2003.
- L.Zimmermann, J.Ph.Ebersohl, F.Le Hung, J.P.Berry, F.Baillieu, P.Ray, B.Diem, S.Renard, P.Caillat. **Airbag application: a microsystem including a silicon capacitive accelerometer, CMOS swithed capacitor electronics and true self-test capability**, SAGEM Microtechnologies and Sensor, France: Sensor and actuator., 1995.
- G.X. Li, F.A. Shemansky Jr. **Drop test and analysis on micro-machined structures**. Motorola Inc., Semiconductor Products Sector. USA: Sensors and Actuators, 2000.
- S. Mir, L. Rufer and B. Courtois. **On-chip testing of embedded transducers**. TIMA Laboratory. FRANCE: Proceedings of the 17th International Conference on VLSI Design (VLSID'04). IEEE, 2004.

- Bradford S. Davis. **Using Low-Cost MEMS Accelerometers and Gyroscopes as Strapdown IMUs on Rolling Projectiles.** U.S Army Research Laboratory:IEEE, 1998.
- TAMAL MUKHERJEE, GARY K. FEDDER, R.D. (SHAWN) BLANTON. **Hierarchical Design and Test of Integrated Microsystems.** Carnegie Mellon University:DESIGN &TEST OF COMPUTER. IEEE, 1999.
- AWN BELIVEAU, GUY T. SPENCER, KEITH A. THOMAS, SCOLL I. ROBERSON. **Evaluation of MEMS Capacitive Accelerometers.** Applied Research Associates. Air Force Research Laboratory Munitions Directorate:DESIGN &TEST OF COMPUTERS. IEEE, 1999.
- G.X. Li, F.A. Shemansky Jr. **Drop test and analysis on micro-machined structures.** Motorola Inc., Semiconductor Products Sector:Sensors and Actuators, 2000.
- Sangkyung Sunga, Jang Gyu Lee b, Taesam Kangc. **Development and test of MEMS accelerometer with self-sustained oscillation loop** a Global Standard and Strategy Team. Telecommunication Network. Samsung Electronics. South Korea:Sensors and Actuators, 2003.
- Bogdan FIRTAT, Carmen MOLDOVANA, Nicolae DUMBRAVESCU, Silviu IONITA, Ionel BOSTAN. **DESIGN, MICROFABRICATION AND TESTING OF ACCELERATION MICROTRANSDUCERS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS.**National Institute for Research and Development in Microtechnologies. Romania: IEEE, 2004.
- D. BINI, F. de FELICE, R. T. JANTZEN. **CENTRIPETAL ACCELERATION AND CENTRIFUGAL FORCE IN GENERAL RELATIVITY:** Proceedings of the First ICRA Network Workshop on the Lense-Thirring Effect (1998), Eds. World Scientific, 2002.
- Hongwei Qu, Deyou Fang, Huikai Xie. **A Single-Crystal Silicon 3-axis CMOS-MEMS Accelerometer.** Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida. USA.
- Ricardo Dao. **MECHANICAL SHOCK TEST REPORT Accelerometer model no. MXR7202ML.** Independent Consultant: MEMSIC, 2003.

- Theresa Maudie, Alex Hard, Rick Nielsen, Dennis Stanerson, Ron Bieschke, and Mike Miller. **MEMS Manufacturing Testing: An Accelerometer Case Study**. Motorola, Sensor Products Division: ITC INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 2003.
- Tamal Mukherjee. **MEMS DESIGN AND VERIFICATION**. Department of Electrical and Computer Engineering. Carnegie Mellon University. USA: ITC INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 2003.
- Machine Design. Machine Shock & Vibration Testing using the WaveBook**. Application Note #63 IOtech, Inc.
- A. Dhayni, S. Mir and L. Rufer. **Evaluation of Impulse Response-Based BIST Techniques for MEMS in the Presence of Weak Nonlinearities**. TIMA Laboratory : Proceedings of the European Test Symposium (ETS'05). FRANCE.
- D.Garmire, R.S. Muller, J. Demmel. **Vision-based Teleoperation of a Stroboscopic Microscopic Interferometric System for Remote Dynamic MEMS Testing**. Berkeley Sensor&Actuator Center for Information Technology Research in the Interest of Society. University of California. USA:IEEE, 2005.
- Xingguo Xiong, Yu-Liang (David) Wu, and Wen-Ben Jone. **A Dual-Mode Built-in Self-Test Technique for Capacitive MEMS Devices: TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT**. IEEE, 2005.
- Zuankai Wang, Denggang Zong, Deren Lu, Bin Xiong, Xinxin Li, Yuelin Wang. **A silicon micromachined shock accelerometer with twin-mass-plate structure**. The State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences. China: Sensors and Actuators, 2003.
- R. Rashidzadeh, M. Ahmadi, W. C. Miller. **A Tester-on-Chip Implementation in 0.18 μ CMOS Utilizing A MEMS Interface**. University of Windsor. Canada. IEEE, 2003.
- VanE Litovski, Miona AndrejeviC and Mark Zwolinski. **ANN Based Modeling, Testing and Diagnosis of MEMS**. 7th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, : NEUREL-2004. IEEE, 2004.

- Sangkyung Sunga, Jang Gyu Lee b, Taesam Kangc, **Development and test of MEMS accelerometer with self-sustained oscillation loop.** Global Standard and Strategy Team, Telecommunication Network, Samsung Electronics. School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University. Department of Aerospace Engineering, Konkuk University. Korea: Sensors and Actuators, 2003.
- Abhijeet Kolpekwar and R. D. (Shawn) Blanton. **Development of iMEMS Testing Methodology.** Center for Electronic Design Automation. Department of ECE Carnegie Mellon University. USA.:INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 1997.
- V. Beroulle, Y. Bertrand, L. Latorre, P. Nouet. **Evaluation of the Oscillation-based Test Methodology for Micro-Electro-Mechanical Systems.** Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microelectronique de Montpellier. France: Proceedings of the 20 th IEEE VLSI Test Symposium (VTS.02). IEEE, 2002.
- Jeremy A.Walraven. **Failure Mechanisms in MEMS.** Sandia National Laboratories. USA :ITC INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 2003.
- Abhijeet Kolpekwar , R.D. (Shawn) Blanton , and David Woodillat. **Failure Modes for Stiction in Surface-Micromachined MEMS.** ECE Department Carnegie Mellon University :INTERNATIONAL TEST CONFERENCE. IEEE, 1998.
- S. Mir, L. Rufer and B. Courtois. **On-chip testing of embedded transducers.** TIMA Laboratory. FRANCE: Proceedings of the 17th International Conference on VLSI Design (VLSID'04). IEEE, 2004.
- JAMES M. BUSTILLO, ROGER T. HOWE, FELLOW AND RICHARD S. MULLER, LIFE FELLOW **Surface Micromachining for Microelectromechanical Systems.** : IEEE, 1998.
- Roberto Marsilia , Luciano Pizzoni, Gianluca Rossia. **Vibration measurements of tools inside fluids by laser Doppler techniques: uncertainty analysis.** Dipartimento di Ingegneria Industriale, Universita. Umbra Cuscinetti S.p.A. Italy: Measurement, 2000.

Freescale Semiconductor
 Technical Data

Document Number: MMA3202D
 Rev 4, 11/2006

Surface Mount Micromachined Accelerometer

The MMA3202 series of dual axis (X and Y) silicon capacitive, micromachined accelerometers features signal conditioning, a 4-pole low pass filter and temperature compensation and separate outputs for the two axes. Zero-g offset full scale span and filter cut-off are factory set and require no external devices. A full system self-test capability verifies system functionality.

Features

- Sensitivity in two separate axes: 100g X-axis and 50g Y-axis
- Integral Signal Conditioning
- Linear Output
- Ratiometric Performance
- 4th Order Bessel Filter Preserves Pulse Shape Integrity
- Calibrated Self-test
- Low Voltage Detect, Clock Monitor, and EPROM Parity Check Status
- Transducer Hermetically Sealed at Wafer Level for Superior Reliability
- Robust Design, High Shocks Survivability

Typical Applications

- Vibration Monitoring and Recording
- Impact Monitoring
- Appliance Control
- Mechanical Bearing Monitoring
- Computer Hard Drive Protection
- Computer Mouse and Joysticks
- Virtual Reality Input Devices
- Sports Diagnostic Devices and Systems

MMA3202

**MMA3202D: X-Y AXIS SENSITIVITY
 MICROMACHINED
 ACCELEROMETER
 ±100/50g**



**D SUFFIX
 EG SUFFIX (Pb-FREE)
 20-LEAD SOIC
 CASE 475A-02**

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Case No.	Package
MMA3202D	- 40 to +125°C	475A-02	SOIC-20
MMA3202DR2	- 40 to +125°C	475A-02	SOIC-20, Tape & Reel
MMA3202EG	- 40 to +125°C	475A-02	SOIC-20
MMA3202EGR2	- 40 to +125°C	475A-02	SOIC-20, Tape & Reel

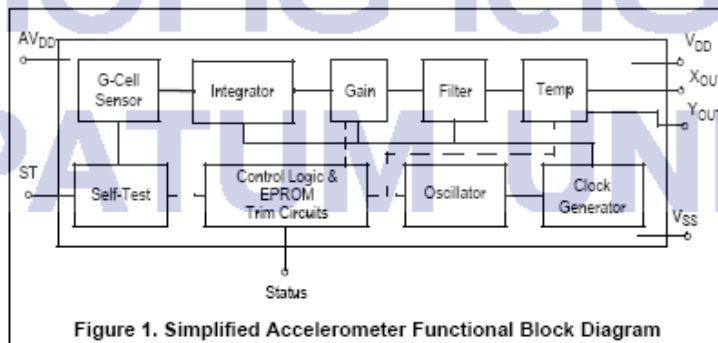


Figure 1. Simplified Accelerometer Functional Block Diagram

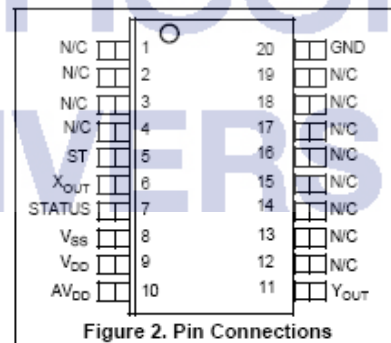


Figure 2. Pin Connections

Table 1. Maximum Ratings

(Maximum ratings are the limits to which the device can be exposed without causing permanent damage.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Powered Acceleration (all axes)	G_{pd}	1500	g
Unpowered Acceleration (all axes)	G_{upd}	2000	g
Supply Voltage	V_{DD}	-0.3 to +7.0	V
Drop Test ⁽¹⁾	D_{drop}	1.2	m
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +125	°C

1. Dropped onto concrete surface from any axis.

ELECTRO STATIC DISCHARGE (ESD)**WARNING:** This device is sensitive to electrostatic discharge.

Although the accelerometers contain internal 2 kV ESD protection circuitry, extra precaution must be taken by the user to protect the chip from ESD. A charge of over 2000 volts can accumulate on the human body or associated test equipment. A charge of this magnitude can alter the

performance or cause failure of the chip. When handling the accelerometer, proper ESD precautions should be followed to avoid exposing the device to discharges which may be detrimental to its performance.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Table 2. Operating Characteristics(Unless otherwise noted: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +105^{\circ}\text{C}$, $4.75 \leq V_{DD} \leq 5.25$, Acceleration = 0g, Loaded output.)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range ⁽²⁾					
Supply Voltage ⁽³⁾	V_{DD}	4.75	5.00	5.25	V
Supply Current	I_{DD}	8	8	10	mA
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}\text{C}$
Acceleration Range X-axis	gFS	—	112.5	—	g
Acceleration Range Y-axis	gFS	—	56.3	—	g
Output Signal					
Zero g ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 5.0\text{ V}$) ⁽⁴⁾	V_{OFF}	2.35	2.5	2.65	V
Zero g	$V_{OFF,V}$	$0.46 V_{DD}$	$0.50 V_{DD}$	$0.54 V_{DD}$	V
Sensitivity X-axis ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 5.0\text{ V}$) ⁽⁵⁾	S	19	20	21	mV/g
Sensitivity Y-axis ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 5.0\text{ V}$)	S	38	40	42	mV/g
Sensitivity X-axis	S_V	3.72	4	4.28	mV/g/V
Sensitivity Y-axis	S_V	7.44	8	8.56	mV/g/V
Bandwidth Response	f_{-3dB}	360	400	440	Hz
Nonlinearity	NL _{OUT}	-1.0	—	+1.0	% FSO
Noise					
RMS (.01 Hz – 1 kHz)	n_{RMS}	—	—	2.8	mVrms
Power Spectral Density	n_{PSD}	—	110	—	$\mu\text{V}/(\text{Hz}^{1/2})$
Clock Noise (without RC load on output) ⁽⁶⁾	n_{CLK}	—	2.0	—	mVpk
Self-Test					
Output Response	g _{ST}	9.6	12	14.4	g
Input Low	V_{IL}	V_{SS}	—	$0.3 \times V_{DD}$	V
Input High	V_{IH}	$0.7 \times V_{DD}$	—	V_{DD}	V
Input Loading ⁽⁷⁾	I_{IN}	-30	-100	-300	μA
Response Time ⁽⁸⁾	t_{ST}	—	2.0	—	ms
Status ⁽⁹⁾ ⁽¹⁰⁾					
Output Low ($I_{load} = 100\ \mu\text{A}$)	V_{OL}	—	—	0.4	V
Output High ($I_{load} = 100\ \mu\text{A}$)	V_{OH}	$V_{DD} - 0.8$	—	—	V
Minimum Supply Voltage (LVD Trip)	V_{LVD}	2.7	3.25	4.0	V
Clock Monitor Fail Detection Frequency	f_{min}	50	—	260	kHz
Output Stage Performance					
Electrical Saturation Recovery Time ⁽¹¹⁾	t_{DELAY}	—	0.2	—	ms
Full Scale Output Range ($I_{OUT} = 200\ \mu\text{A}$)	V_{FSO}	0.25	—	$V_{DD} - 0.25$	V
Capacitive Load Drive ⁽¹²⁾	C_L	—	—	100	pF
Output Impedance	Z_O	—	300	—	Ω
Mechanical Characteristics					
Transverse Sensitivity ⁽¹³⁾	$V_{XZ,YZ}$	—	—	5.0	% FSO
Package Resonance	f_{PKG}	—	10	—	kHz

1. For a loaded output the measurements are observed after an RC filter consisting of a 1 k Ω resistor and a 0.01 μF capacitor to ground.

2. These limits define the range of operation for which the part will meet specification.

3. Within the supply range of 4.75 and 5.25 volts, the device operates as a fully calibrated linear accelerometer. Beyond these supply limits the device may operate as a linear device but is not guaranteed to be in calibration.

4. The device can measure both + and - acceleration. With no input acceleration the output is at midsupply. For positive acceleration the output will increase above $V_{DD}/2$ and for negative acceleration the output will decrease below $V_{DD}/2$.

5. The device is calibrated at 20g.

6. At clock frequency $\approx 70\text{ kHz}$.

7. The digital input pin has an internal pull-down current source to prevent inadvertent self test initiation due to external board level leakages.

8. Time for the output to reach 90% of its final value after a self-test is initiated.

9. The Status pin output is not valid following power-up until at least one rising edge has been applied to the self-test pin. The Status pin is high whenever the self-test input is high, as a means to check the connectivity of the self-test and Status pins in the application.

10. The Status pin output latches high if a Low Voltage Detection or Clock Frequency failure occurs, or the EPROM parity changes to odd. The Status pin can be reset low if the self-test pin is pulsed with a high input for at least 100 μs , unless a fault condition continues to exist.

11. Time for amplifiers to recover after an acceleration signal causing them to saturate

12. Preserves phase margin (60°) to guarantee output amplifier stability.

13. A measure of the device's ability to reject an acceleration applied 90° from the true axis of sensitivity.

PRINCIPLE OF OPERATION

The Freescale Semiconductor, Inc. accelerometer is a surface-micromachined integrated-circuit accelerometer.

The device consists of a surface micromachined capacitive sensing cell (g-cell) and a CMOS signal conditioning ASIC contained in a single integrated circuit package. The sensing element is sealed hermetically at the wafer level using a bulk micromachined "cap" wafer.

The g-cell is a mechanical structure formed from semiconductor materials (polysilicon) using semiconductor processes (masking and etching). It can be modeled as a set of beams attached to a movable central mass that move between fixed beams. The movable beams can be deflected from their rest position by subjecting the system to an acceleration (Figure 3).

As the beams attached to the central mass move, the distance from them to the fixed beams on one side will increase by the same amount that the distance to the fixed beams on the other side decreases. The change in distance is a measure of acceleration.

The g-cell beams form two back-to-back capacitors (Figure 3). As the central mass moves with acceleration, the distance between the beams change and each capacitor's value will change, ($C = NA\epsilon/D$). Where A is the area of the facing side of the beam, ϵ is the dielectric constant, D is the

distance between the beams, and N is the number of beams. The X-Y device contains two structures at right angles to each other.

The CMOS ASIC uses switched capacitor techniques to measure the g-cell capacitors and extract the acceleration data from the difference between the two capacitors. The ASIC also signal conditions and filters (switched capacitor) the signal, providing a high level output voltage that is ratiometric and proportional to acceleration.

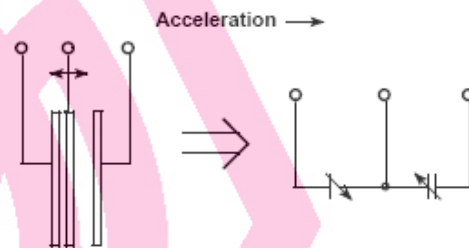


Figure 3. Simplified Transducer Physical Model

SPECIAL FEATURES

Filtering

The Freescale Semiconductor, Inc. accelerometers contain an onboard 4-pole switched capacitor filter. A Bessel implementation is used because it provides a maximally flat delay response (linear phase) thus preserving pulse shape integrity. Because the filter is realized using switched capacitor techniques, there is no requirement for external passive components (resistors and capacitors) to set the cut-off frequency.

Self-Test

The sensor provides a self-test feature that allows the verification of the mechanical and electrical integrity of the accelerometer at any time before or after installation. This feature is critical in applications such as automotive airbag systems where system integrity must be ensured over the life of the vehicle. A fourth "plate" is used in the g-cell as a self-test plate. When the user applies a logic high input to the self-test pin, a calibrated potential is applied across the self-test plate and the moveable plate. The resulting electrostatic force ($F_e = 1/2 AV^2/d^2$) causes the center plate to deflect. The resultant deflection is measured by the accelerometer's control ASIC and a proportional output voltage results. This procedure assures that both the mechanical (g-cell) and electronic sections of the accelerometer are functioning.

Ratiometricity

Ratiometricity simply means that the output offset voltage and sensitivity will scale linearly with applied supply voltage. That is, as you increase supply voltage the sensitivity and offset increase linearly; as supply voltage decreases, offset and sensitivity decrease linearly. This is a key feature when interfacing to a microcontroller or an A/D converter because it provides system level cancellation of supply induced errors in the analog to digital conversion process.

Status

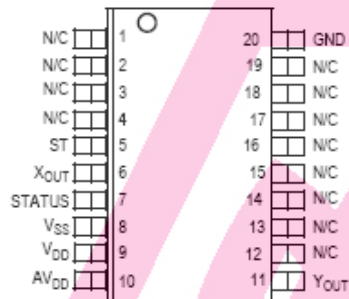
Freescale accelerometers include fault detection circuitry and a fault latch. The Status pin is an output from the fault latch, OR'd with self-test, and is set high whenever one (or more) of the following events occur:

- Supply voltage falls below the Low Voltage Detect (LVD) voltage threshold
- Clock oscillator falls below the clock monitor minimum frequency
- Parity of the EPROM bits becomes odd in number.

The fault latch can be reset by a rising edge on the self-test input pin, unless one (or more) of the fault conditions continues to exist.

BASIC CONNECTIONS

PINOUT DESCRIPTION



PCB Layout

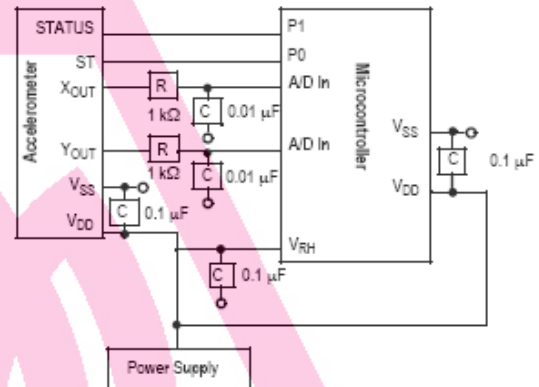


Table 3. Pin Descriptions

Pin No.	Pin Name	Description
1 thru 3	—	Leave unconnected.
4	—	No internal connection. Leave unconnected.
5	ST	Logic input pin used to initiate self-test.
6	X _{OUT}	Output voltage of the accelerometer. X Direction.
7	STATUS	Logic output pin to indicate fault.
8	V _{SS}	The power supply ground.
9	V _{DD}	The power supply input.
10	AV _{DD}	Power supply input (Analog).
11	Y _{OUT}	Output voltage of the accelerometer. Y Direction.
12 thru 16	—	Used for factory trim. Leave unconnected.
17 thru 19	—	No internal connection. Leave unconnected.
20	GND	Ground.

Figure 5. Recommended PCB Layout for Interfacing Accelerometer to Microcontroller

NOTE:

- Use a 0.1 µF capacitor on V_{DD} to decouple the power source.
- Physical coupling distance of the accelerometer to the microcontroller should be minimal.
- Place a ground plane beneath the accelerometer to reduce noise, the ground plane should be attached to all of the open ended terminals shown in Figure 5.
- Use an RC filter of 1 kΩ and 0.01 µF on the output of the accelerometer to minimize clock noise (from the switched capacitor filter circuit).
- PCB layout of power and ground should not couple power supply noise.
- Accelerometer and microcontroller should not be a high current path.
- A/D sampling rate and any external power supply switching frequency should be selected such that they do not interfere with the internal accelerometer sampling frequency. This will prevent aliasing errors.

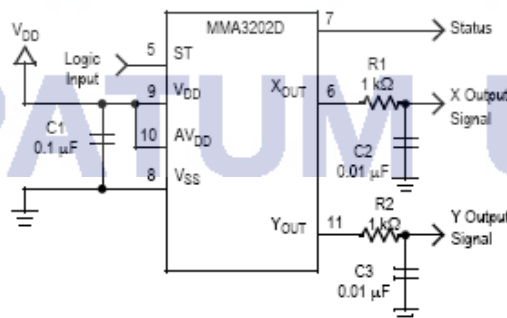
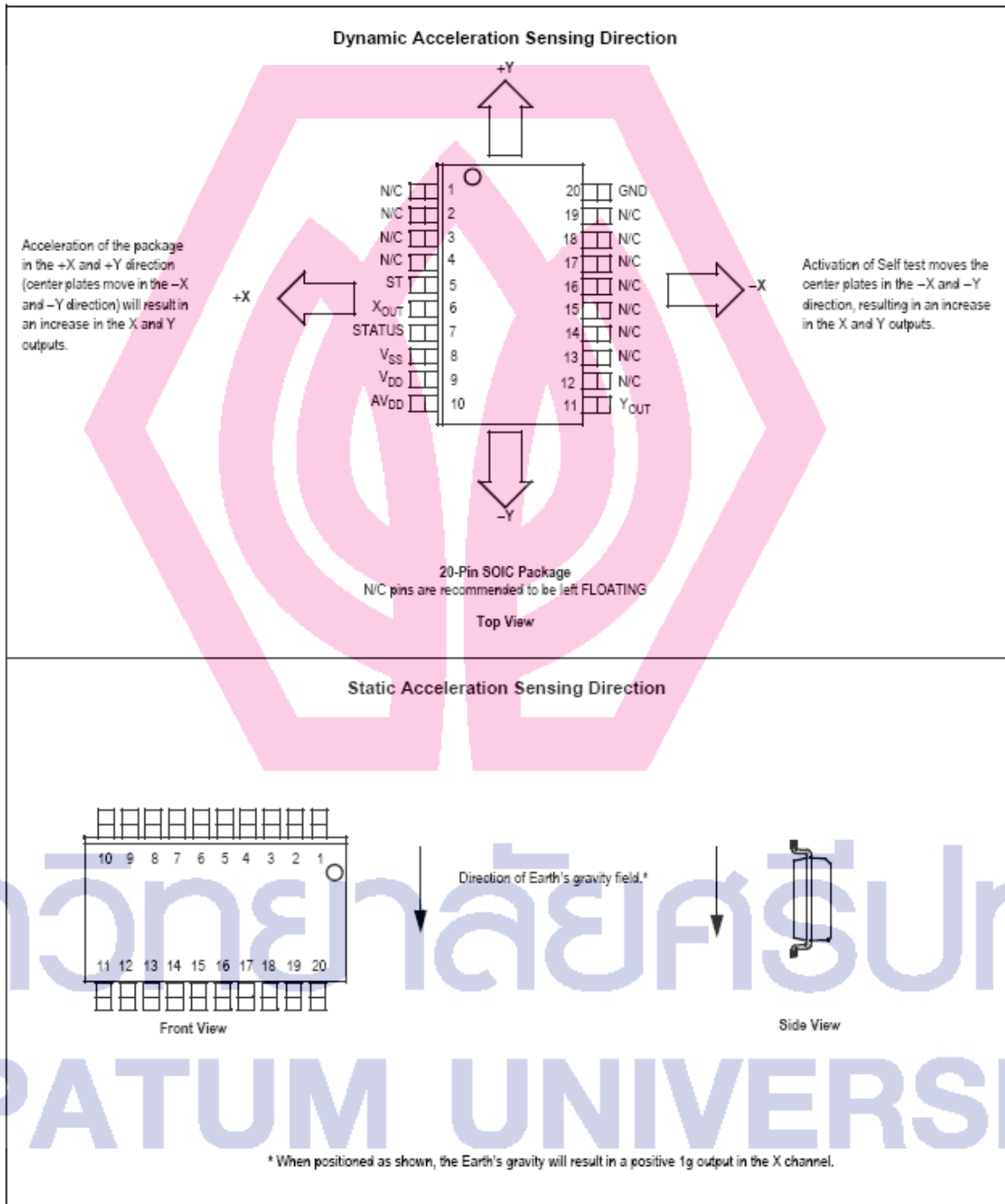


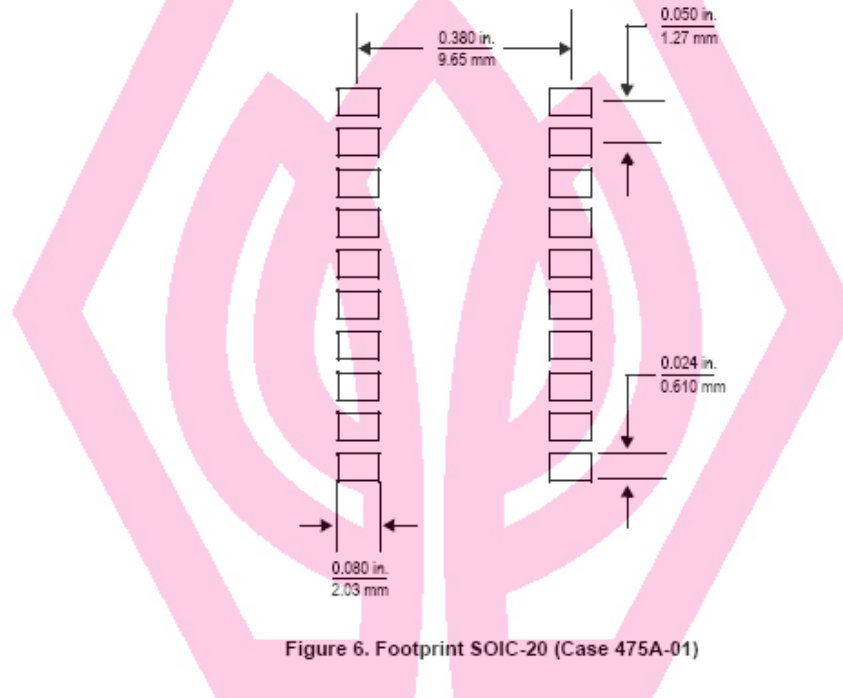
Figure 4. SOIC Accelerometer with Recommended Connection Diagram



MINIMUM RECOMMENDED FOOTPRINT FOR SURFACE MOUNTED APPLICATIONS

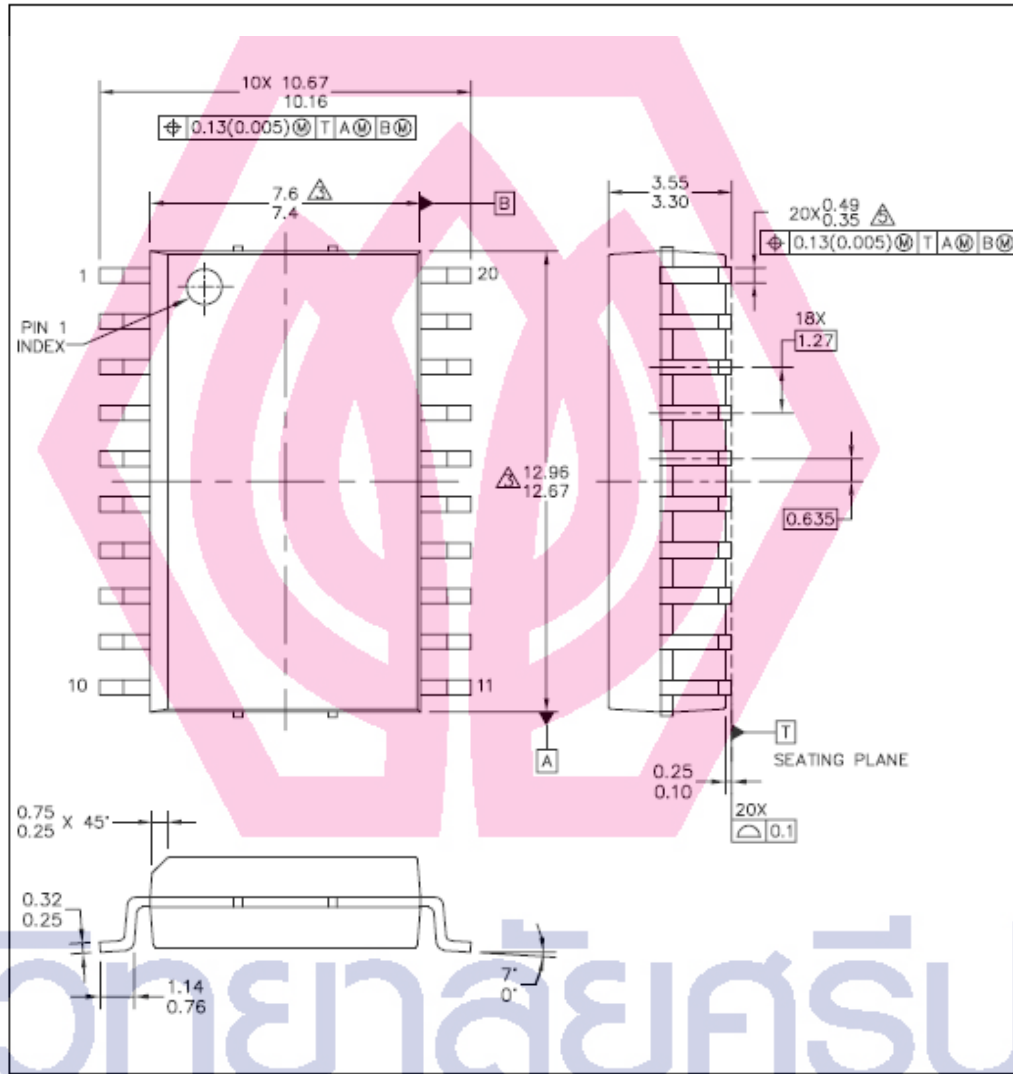
Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface between the board and the package. With the correct

footprint, the packages will self-align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.		MECHANICAL OUTLINE		PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: 20LD SOIC W/B, 1.27 PITCH 7.5 X 12.8, ACCELEROMETER CASE-OUTLINE		DOCUMENT NO: 98ASB17933C		REV: C	
		CASE NUMBER: 475A-02		06 JUL 2006	
		STANDARD: NON-JEDEC			

PACKAGE DIMENSIONS

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994.
2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
3. THIS DIMENSION DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15(0.006) PER SIDE.
5. THIS DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAM BAR PROTRUSION ALLOWABLE DAM BAR PROTRUSION SHALL BE 0.13(0.005) TOTAL IN EXCESS OF THIS DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE	
TITLE: 20LD SOIC W/B, 1.27 PITCH 7.5 X 12.8, ACCLEROMETER CASE-OUTLINE	DOCUMENT NO: 98ASB17933C	REV: C	
	CASE NUMBER: 475A-02	06 JUL 2006	
	STANDARD: NON-JEDEC		

PAGE 2 OF 2

**CASE 475A-02
ISSUE C
20-LEAD SOIC**

How to Reach Us:

Home Page:
www.freescale.com

Web Support:
<http://www.freescale.com/support>

USA/Europe or Locations Not Listed:
 Freescale Semiconductor, Inc.
 Technical Information Center, EL516
 2100 East Elliot Road
 Tempe, Arizona 85284
 +1-800-521-5274 or +1-480-768-2130
www.freescale.com/support

Europe, Middle East, and Africa:
 Freescale Halbleiter Deutschland GmbH
 Technical Information Center
 Schatzbogen 7
 81829 Muenchen, Germany
 +44 1296 380 456 (English)
 +46 8 52200080 (English)
 +49 89 92103 559 (German)
 +33 1 69 35 48 48 (French)
www.freescale.com/support

Japan:
 Freescale Semiconductor Japan Ltd.
 Headquarters
 ARCO Tower 15F
 1-8-1, Shimo-Meguro, Meguro-ku,
 Tokyo 153-0064
 Japan
 0120 191014 or +81 3 5437 9125
support.japan@freescale.com

Asia/Pacific:
 Freescale Semiconductor Hong Kong Ltd.
 Technical Information Center
 2 Dai King Street
 Tai Po Industrial Estate
 Tai Po, N.T., Hong Kong
 +800 2868 8080
support.asia@freescale.com

For Literature Requests Only:
 Freescale Semiconductor Literature Distribution Center
 P.O. Box 5405
 Denver, Colorado 80217
 1-800-441-2447 or 303-875-2140
 Fax: 303-875-2150
LDCForFreescaleSemiconductor@hibbertgroup.com

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits or integrated circuits based on the information in this document.

Freescale Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in Freescale Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals", must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescale Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescale Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Freescale Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Freescale Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescale Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.

© Freescale Semiconductor, Inc. 2008. All rights reserved.



Biographies

Name	Mr. Akekachai Deesiri
Date of Birth	June 5 th , 1975
Place of Birth	Bangkok, Thailand.
Home Address	400/428 Phaholyothin Rd., Kukot, Lumlookka, Pathumthani 12130
Position	Lecturer, Electrical Engineering Dept.
Office Address	Faculty of Engineering, Sripatum University (Bangkhen)
Education	
Year 1999	B.Eng. (Electrical Engineering), Sripatum University.
Year 2005	M.Eng. (Microelecronic), Asian Institute of Technology (AIT).

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเร่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงหรือความเร่งจากภายนอก ที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Mems) ซึ่งจะนำไปสู่ การพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์วัดความเร่ง ด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Mems)

ผลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเพื่อการปรับปรุงพัฒนาการออกแบบต่อไป การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัด หรือเซนเซอร์ด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS) นั้น เป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีที่มีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร (um) หรือนาโนเมตร (nm) สามารถออกแบบโดยรวมทั้งการออกแบบทางด้านเครื่องกลและทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในชิปตัวเดียวกันซึ่งสามารถตรวจจับหรือตรวจวัดในรูปของการเคลื่อนที่ทางกล และสามารถควบคุม ประมวลผลที่ได้อยู่ในชิปขนาดเล็กดังกล่าว

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) หรือในยุโรป นิยมเรียกว่า MST (Microsystems Technology) ส่วนในญี่ปุ่นอาจเรียกว่า Micromachines ไม่ว่าจะนิยามอย่างไรก็ตาม โดยส่วนมาก MEMS จะประกอบไปด้วย mechanical, microstructures, microsensors, microactuators และ microelectronics ซึ่งจะถูกรวมให้อยู่ในชิป เดียวกัน

อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งก็เช่นกัน เป็นการออกแบบที่ประสบความสำเร็จโดยอาศัยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS) การนำไปประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งนี้มีอยู่หลายประเภท เช่น ระบบถุงลมนิรภัยในรถยนต์ (Airbag system) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งเพื่อใช้ในระบบถุงลมนิรภัยในรถยนต์นั้น ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพราะเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของมนุษย์

จากความต้องการเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้มีการพัฒนาโดยครั้งแรกของการผลิตอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งนั้น เป็นการออกแบบด้วยโครงสร้างทางเครื่องกล และอาศัยการทำงานของทฤษฎีทางด้านเครื่องกลเพียงอย่างเดียวในการตรวจวัด ซึ่งโครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย สปริง, ลูกบอลเหล็กขนาดเล็ก (Metal ball) และหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (Electric contacts) ทั้งหมดจะสร้างอยู่ในแพ็คเกจเดียวกัน โดยการเคลื่อนที่ของสปริงสามารถออกแบบให้สอดคล้องกับความเร่งที่มากหรือน้อย หรืออีกรูปแบบหนึ่งคือโครงสร้างเป็นคาน (Cantilever beam) และมวลอยู่ที่ปลายด้านที่ไม่มีจุดรองรับ เมื่อความเร่งกระทบในทิศทางที่ออกแบบ การโค้งงอของคาน สามารถบอกได้ถึงแรงที่มากหรือน้อย หรือสามารถออกแบบให้ทำงานได้ในระดับความเร่งที่มากหรือน้อยในระดับที่ต่างกัน ซึ่งทั้งสองแบบดังกล่าวต้อง

ใช้พื้นที่หรือมีขนาดที่ใหญ่ในการเคลื่อนที่ของสปริงหรือคาน และหากต้องการทราบระยะการเคลื่อนที่ของสปริงหรือการโค้งงอของคานอาจทำได้ค่อนข้างยาก

การปรับปรุงและพัฒนาสำหรับการวัดระยะการเคลื่อนที่ของสปริง หรือการโค้งงอของคานได้มีการใช้ piezoelectric material ซึ่งวัสดุนี้เมื่อมีแรงมากระทำและมีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างภายใต้แรงกด (under stress) ก็จะสามารถให้ค่าทางไฟฟ้าที่เปลี่ยน โดยสามารถนำไปประมวลผลได้ต่อไป การพัฒนาโดยใช้ piezoelectric material นั้นมีข้อดีสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดที่ทำงานในความถี่สูงๆ (high operating frequency) และในอุณหภูมิสูง แต่จะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และจะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อทำงานที่ความถี่ต่ำ หรือการตรวจวัดความเร่งที่ความถี่ต่ำ ซึ่งการพัฒนาที่มีความต้องการอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีการทำงานที่ไวและมีประสิทธิภาพมากกว่า จากปัญหาดังกล่าวแนวทางการพัฒนาเพื่อให้อุปกรณ์มีการทำงานที่ไวและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การออกแบบด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคจึงเข้ามาแทนที่ โดยการวางชั้นของสารอยู่บน silicon wafer (surface micromachined polysilicon) ซึ่งสารโพลีซิลิคอนจะถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นทั้งสปริงและมวลซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ การตรวจวัดความเร่งจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงการเก็บประจุทางไฟฟ้า (capacitance) และสามารถนำสัญญาณดังกล่าวไปประมวลผลต่อไป โดยแนวโน้มการพัฒนาทางด้าน capacitive surface micromachined ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อการนำมาซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพ และเพื่อการใช้งานในด้านต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และในประเทศไทยเองหากมีการพัฒนา และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับธุรกิจ หรืออุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาประเทศชาติก็จะเป็นสิ่ง值得ศึกษาและมีการพัฒนาต่อไป

จากความรู้พื้นฐานสำหรับการออกแบบและการผลิตเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS) ได้เกิดขึ้นมากมาย, โดยสามารถประยุกต์ใช้ได้ ในหลายๆ ด้านเช่น โดยเฉพาะทางด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบถุงลม (airbag system) อุปกรณ์วัดความเร่งขนาดเล็กระดับไมครอน (microaccelerometers) และเนื่องจากเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค MEMS เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ และยังต้องการการพัฒนาทำให้สมบูรณ์ เพื่อให้เกิดการยอมรับอุปกรณ์ตรวจวัดที่สร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (MEMS)

เทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคที่เป็นแบบการวางชั้นสารบนแผ่นซิลิคอน ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการออกแบบเพื่อการลดขนาดของอุปกรณ์และลดต้นทุนการผลิตเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค โดยเฉพาะอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง (microaccelerometers) จำนวนมากมายที่ใช้เทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคที่เป็นแบบการวางชั้นสารบนแผ่นซิลิคอนและใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ

การออกแบบตัวตรวจจับสัญญาณ และ อุปกรณ์ที่เป็นตัวกระทำ โดยส่วนมากสร้างขึ้นจากขึ้นจากการวางชั้นสารบนแผ่นซิลิคอน (multiple polysilicon) โดยอาศัยหลักการ deposition และการ etching เพื่อกัดหรือแกะให้เหลือแต่เพียงชั้นสารที่ต้องการ จากหลักการออกแบบด้วยเทคนิคดังกล่าว สามารถทำให้โครงสร้างที่ออกแบบทำงานได้เป็นทั้งเซ็นเซอร์ (sensor) หรือตัวกระทำ (actuator) โดยที่โครงสร้างจะประกอบไปด้วยส่วนที่มีการเคลื่อนที่และส่วนที่เป็นส่วนประมวลผล ส่วนที่เป็นสปริงเพื่อการรองรับมวลที่ลอยอยู่เหนือฐาน ส่วนมากจะเป็นรูปแบบของคาน โดยที่มีการออกแบบให้มีส่วนที่ติดอยู่กับฐานหรือแผ่นซิลิคอน จากโครงสร้างเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ส่วนที่เป็นมวลจะมีการเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ ซึ่งจะมีระยะทางการเคลื่อนที่ ที่ต่างกันออกไปตามแรงภายนอกที่มากระทำ

การเคลื่อนที่ของมวลส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปของสัญญาณโดยหลักการ การเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ เมื่อทำงานเป็นอุปกรณ์กระทำมวลจะถูกขับโดยกำลัง หรือแรงจากภายนอก หรือแรงดันไฟฟ้าประยุกต์ที่จะทำให้บรรลุผลฟังก์ชัน

โดยทั่วไปอุปกรณ์ตรวจวัด หรือเซ็นเซอร์ที่มีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร จะมีการเคลื่อนที่น้อยกว่า 0.1 มม. ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 100 ถึง 1000 มม. และสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่นี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้น โดยขึ้นอยู่กับแรงจากภายนอกที่เข้ามากระทำ

สำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นที่สร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค MEMS เช่น อุปกรณ์เกี่ยวกับโปรแกรมความปลอดภัย อุปกรณ์วัดความเร่งขนาดเล็กระดับไมครอน (micro accelerometer) สำหรับระบบถุงลมนิรภัย (airbag) ของรถยนต์ การทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวต้องการเครื่องมือเพื่อการทดสอบ การทดสอบการทำงานโดยการปล่อยลงจากที่สูง (Drop test) จะสามารถทดสอบคุณสมบัติของเซ็นเซอร์หลังจากเกิดการกระแทกที่แรง โน้มน้ำต่าง ๆ

ความเร่งคือสิ่งหนึ่งของตัวแปรที่สำคัญที่ต้องการวัดค่าเพื่อการตัดสินใจของระบบ หรือประสิทธิภาพของระบบความปลอดภัยเกี่ยวกับรถยนต์ เช่นเดียวกันกับเข็มขัดนิรภัย ระบบถุงลมนิรภัย ที่ป้องกันเมื่อเกิดการกระแทกด้านหน้าและด้านข้าง รวมถึงการออกแบบภายในอื่น ๆ ที่มีการปรับปรุงเพื่อใช้ในระบบป้องกันอันตรายต่างๆ การวัดความเร่งเพื่อใช้ในระบบความปลอดภัยนั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยที่มีการทดสอบที่ความเร่งสูง ๆ ความสามารถในการทำงานได้ เข้าไปเข้ามา โดยยังสามารถให้ผลลัพธ์ที่คงที่ ประกอบกับความต้องการขนาดเล็ก เบา และการตอบสนองต่อความถี่ที่กว้าง

การทดสอบมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ดังเช่น การทดสอบอุปกรณ์วัดความเร่ง เครื่องสั่น (Vibration Machine) โดยเครื่องสั่นจะสามารถปรับระดับของความเร่งได้ โดยระบบการสั่นจะ

ติดต่อกับส่วนควบคุมผ่านทางมาตรฐาน IEEE488 ซึ่งสามารถให้ความเร่งได้สูง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสร้างการสั่นของเครื่องมือนี้ โดยที่มีการวัดระดับความแรงของการสั่น หรือความเร่งอยู่ที่ด้านบนของส่วนที่สั่น จากนั้นจะส่งสัญญาณให้กับระบบควบคุมเพื่อการควบคุมให้ได้ความเร่งตามที่กำหนด โดยอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบก็จะถูกติดตั้งบนส่วนที่สั่นนี้ด้วย โดยที่สัญญาณที่ได้จากการทดสอบจะสามารถรู้ถึงระยะทางที่เคลื่อนที่ แรงที่กระทำ และการตอบสนองต่อความถี่ วิธีทดสอบต่อไป คือ การทดสอบแบบตกจากที่สูง (Drop test (Guillotine style))

จากการศึกษาเครื่องทดสอบแบบตกจากที่สูงจะพบว่า การทดสอบลักษณะนี้จะคล้ายกับภาวะการฉีกขาดสำหรับการวัดความเร่ง เพื่อการใช้งานสำหรับความปลอดภัยในรถยนต์โดยอาศัยพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ น้ำหนักของมวลที่ตกลงมากระทบ และความสูงที่ทดสอบ โดยสามารถออกแบบให้ได้แรง หรือความเร่งในระดับที่ต้องการได้ เมื่อพิจารณาสมการแรงกระทำของวัตถุเมื่อตกลงจากที่สูง (Impact force from falling object) พบว่าสามารถพิสูจน์ และคำนวณถึงแรงกระทำของวัตถุนั้นๆ เมื่อตกลงจากที่สูงได้ ซึ่งนำไปสู่การออกแบบเครื่องมือในการทดสอบเพื่อทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์วัดความเร่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงหรือความเร่งจากภายนอก ที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (Mems) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบโครงสร้างของเครื่องทดสอบ ใช้หลักการของการตกลงจากที่สูง และการเปลี่ยนแปลงพลังงานในขณะที่เคลื่อนที่ กับขณะที่ตกกระทบพื้น ในการออกแบบเริ่มจากการคำนวณเพื่อหาความสูงของเครื่องทดสอบที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ โดยให้ส่วนที่เคลื่อนที่มีน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป คือ 10 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม ที่ความสูงคงที่ 1 เมตร ผลจากการออกแบบข้างต้นพบว่าที่ความสูงคงที่ แต่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัตถุที่เคลื่อนที่ จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัตถุที่ตกกระทบพื้น ในกรณีนี้พลังงานที่ได้มีค่าเท่ากับ 980 g (earth gravity) แต่เมื่อให้น้ำหนักของวัตถุที่เคลื่อนที่คงที่ 1 กิโลกรัม โดยเปลี่ยนแปลงระยะความสูงของจุดเริ่มต้นในการปล่อยวัตถุ จะพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ตกกระทบพื้นเป็นแบบเชิงเส้น

ในส่วนขนาดของวัตถุที่เคลื่อนที่ ออกแบบโดยใช้สแตนเลสเบอร์ 304 ให้น้ำหนักเท่ากับ 1 กิโลกรัม จากการออกแบบทำให้ได้ขนาดความกว้าง 0.1118 เมตร ยาว 0.1118 เมตร และความหนา 0.01 เมตร ฐานของโครงสร้างออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 0.4 เมตร ยาว 0.4 เมตร หนา 0.02 เมตร เพื่อให้เครื่องทดสอบมีความแข็งแรง ซึ่งจะมีเสาจำนวน 4 เสาโดยแต่ละเสามีขนาดความสูง 2.6 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01 เมตร โดยทั้ง 4 เสดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ เคลื่อนที่ตามระยะของความสูงที่ทำการทดสอบ

การออกแบบวงจรคลีปลิ่งสัญญาณความแรงที่ได้จากการทดสอบ ออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ MMA3202 ซึ่งสามารถทดสอบความแรงได้ที่ขนาด 100 g ในแนวแกน X และ 50 g ในแนวแกน Y ซึ่งไอซีเบอร์ดังกล่าวส่งสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ต่อความแรงที่เกิดขึ้น จากลักษณะเช่นนี้ทำให้สามารถวัดสัญญาณที่ส่งออกมาได้ง่ายเมื่อทำการทดสอบที่ความแรงระดับต่าง ๆ ซึ่งออกแบบให้ไอซีอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาดกว้าง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว โดยมีจุดต่อสำหรับแหล่งจ่ายไฟ และสัญญาณเอาต์พุต

การติดตั้งเพื่อการทดสอบ จะนำวงจรที่ประกอบด้วยไอซีวัดความแรงที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค แบบการเปลี่ยนแปลงค่าของคาปาซิแตนซ์ ติดตั้งกับส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยต้องติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งของแนวแกนที่ต้องการทดสอบเมื่อมีการตกกระทบ และออสซิลโลสโคปจะนำมาใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ได้ ที่ความแรงที่แตกต่างกันในการทดสอบ

จากการทดสอบที่ความแรงต่าง ๆ กัน โดยเริ่มตั้งแต่ 10 g ถึง 100 g ในระดับความสูงที่ต่างกัน ผลการทดสอบที่ได้สามารถแสดงได้ดังนี้

Earth's gravity(g)	Height (m)	V _{out} (mv)
10	0.1	11
20	0.2	19
30	0.3	33
40	0.4	39
50	0.5	52
60	0.6	60
70	0.7	72
80	0.8	83
90	0.9	88
100	1	100

ซึ่งผลที่ได้เมื่อนำมาสร้างกราฟระหว่างความสูงในการทดสอบ กับแรงดันเอาต์พุตที่ได้ จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะเชิงเส้น โดยแรงดันที่ได้จากเอาต์พุตจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น เมื่อความแรง หรือความสูงเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากไอซีที่ใช้ในการทดสอบ ถูกออกแบบด้วยเทคโนโลยี

เครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค ดังนั้นต้องคำนึงถึงแรงที่กระทำเมื่อตกกระทบพื้น ซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้กับไอซีได้ เนื่องจากความแรงที่เกิดขึ้นอาจสูงกว่า ค่าสูงสุดของไอซีที่ออกแบบไว้

ผลการทดสอบ เครื่องทดสอบที่ออกแบบ สามารถทดสอบกับอุปกรณ์วัดความแรงที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาคได้ในระดับของห้องปฏิบัติการ เนื่องจากหลักการในการออกแบบใช้หลักการพื้นฐานเบื้องต้นทางฟิสิกส์ที่ง่ายต่อการศึกษา และไม่ซับซ้อน

และเนื่องจากการพัฒนาของอุปกรณ์วัดความแรงๆ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางด้านระดับการวัดความแรง ขนาด และราคา ทำให้การทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวย่อมเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพื่อให้ผลที่ได้มีความแม่นยำกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นการทดสอบจึงต้องออกแบบให้มีลักษณะการทำงานคล้ายกับการนำไปใช้งานจริง



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY