

出國報告(出國類別：國際會議並發表論文)

實驗力學學會第十二屆
國際會議暨實驗和應用力學展覽會

服務機關：國立高雄應用科技大學 機械與精密工程研究所

姓名職稱：林文政 研究生

派赴國家：科斯塔梅薩, 加利福尼亞州, 美國

出國期間： 2012.06.10~2012.06.18

報告日期： 2012.07.26

一、摘要

布拉格光纖光柵擁有體積小、質量輕與受環境干擾小之良好性質，應用於工程領域以及光電產業已有了一定的研究成果。例如：溫度感測以及應變感測…等等。此次出席國際會議，將嵌入式與黏貼表面式布拉格光纖應變感測器(Fiber Bragg Grating Strain sensors)於動態拉伸(應變率 350s^{-1} - 810s^{-1})負荷下的機械特性研究，於實驗力學年會會議中發表，此研究最重要的是預先探討材料之物理性質，因為當一材料受到負荷後，從材料表面無法預期內部特徵，但是材料內部極可能已經形成微裂痕，所以此結果可能造成使用上不可預期之危險，其機械負荷能力更是重要的一環，為防止此狀況發生以及能夠做為製造與評估材料的指標，最重要的是預先探討材料之物理性質，其機械負荷能力更是重要的一環，所以此研究使用霍普金森拉伸桿技術模擬動態衝擊去探討。會議中參與報告並出席晨間聚會，與國內外學者學術交流，聽取學者研究報告並學習相關領域學者之研究，進而擴展國際視野。此行主要目的為發表本實驗室研究成果，而在該研討會中，除本身研究報告之外，亦參加該協會舉辦之學生競賽活動與各個學者之專題報告。經此出席國際會議後，順利報告研究內容，亦從此行參訪中了解到本研究發展之價值，但對於其完整性尚須進行更深入的研究分析。

目錄

一、摘要	2
二、目的	4
三、過程	4
四、心得	10
五、建議事項	10
六、附件	11
七、出席證件與報告照片	20

二、目的

本次行程由指導教授蔡立仁老師協助下，將實驗結果投稿於實驗力學協會舉辦的力學年會研討會，並接受出席會議報告之邀請，前往在美國加利福尼亞州(加州)之實驗力學學會第十二屆國際會議暨實驗和應用力學展覽會(SEM XII International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics)針對實驗力學及新型測試技術等方面研討，參加人數眾多以及參與之國家更是廣泛，此行主要目的為發表本實驗室研究成果。為促進國際合作交流、擴展國際視野、推動光纖科技之發展，分享嵌入式布拉格光纖感測器力學特性研究之成果，促進國內外雙向學術交流發展。當地氣溫乾爽，以利於研討會中保持良好的學習狀態。

三、過程

經美國實驗力學協會之邀請參加第十二屆國際會議暨實驗合應用力學展覽會，於台灣時間 2012 年 6 月 10 日下午 4 點 40 分於桃園國際機場國外航廈，搭乘 C006 班機直達美國加利福尼亞州(加州)洛杉磯機場。美國時間 2012 年 6 月 10 日下午 1 點 25 分抵達洛杉磯機場，與成功大學同行之博班學長搭乘外國租車公司之接駁公車前往租車地點提取租約房車，並於下午 2 點半抵達租屋地點(Holiday Inn 飯店)，當地氣溫長年保持攝氏 22 度~24 度，氣候乾燥清爽。

並一起於美國時間 2012 年 6 月 11 日早上 8 點抵達研討會地點，希爾頓大飯店(Hilton)辦理報到手續並取得報到證件以及協會附贈衣服一件(如第七章出席證件所示)。並且於早上十點半討論室(Laguna Beach 1-2)聽取外國學者之研究成果報告:交聯環氧樹脂相關反應率，討論到環氧樹脂聚合物的結構和化學性質，透過各種添加劑的摻入，在準靜態行為下之最小與較高的力學響應率的研究，環氧樹脂作為一個功能的單體的化學，鏈結構，和樹脂之形態學，作者:D. Knorr, A.Schoch, J. L. Lenhart，在報告過程當中，此演講人報告相當穩重，並把研究過程與結果交代清楚。並於早上 10 點 50 分於討論室(Laguna Beach 1-2)聽取外國學者之研究成果報告:交聯環氧樹脂在負荷氮含樹下之斷裂反應，討論到交聯聚合物環氧樹脂的破壞行為，在低速和高速模式下，通過不同的負荷率，性能的環氧樹脂可以定制，以實現更大的抗開裂性和高衝擊韌性開發高速率實驗上的修改後的分離式霍普金森壓桿(SHPB)進行脈衝整形。高速數字成像是用來確定故障開始，並使用數字圖像(DIC)光學測量裂紋張開位移(COD)和裂紋擴展速度，作者 S.D.Whittie, P. Moy, C.A. Gunnarsson, D. Knorr，此簡報呈現相當不一樣風格，更見識到不一樣之論述方式。經過中午用餐過後，於下午 2 點半至 4 點半參觀實驗力學協會舉辦之展覽會，參觀各式實驗設備，並互相討論國際學生競賽之海報。

美國時間 2012 年 6 月 12 日早上 8 點於會議室，參加晨間聚會，針對當日報

告之流程，在晨間餐會中與主持人確認所需之物品與注意事項，以利當日報告進行。早上 10 點半於會議室(Laguna Beach 1-2)，聆聽作者:J.F. Liu 之研究成果報告: 使用微型衝擊測試機試驗小型試片，討論到一種新的動態測試方法的概念和便攜式微型衝擊試驗機。單焊點的動力位移或應力 - 應變響測試儀包括應該一個輸入和一個輸出欄;一個管狀撞針撞擊撞擊板最初與試片接觸，以產生撞擊板和兩個桿的端部的拉伸或壓縮載荷，有限元模擬進行檢查產生的衝擊板，其平面性質的負載波，接續下去是接近中午 11 點半，作者:B. Song, W.Y. Lu 之研究報告: 預負荷高張力率技術，經過午休之後，進行本人之研究報告，作者分別為: W.J. Lin, L. Tsai, C.C. Chiang 以及 S.H. Wang，研究作品名稱: 布拉格光纖應變感測器之高應變率性質，經過多次練習之後，報告過程表現雖還有一些青澀，但還是穩穩完成研究報告，如第六章附件報告照片所示，在問題提問部分，有幾個對此研究相當有興趣，問的問題有相當見解，雖然回答有點凌亂，但還是有把重點清楚交代，報告後更得到指導教授與多位教授之肯定，研究報告之簡報原始檔，如第六章附件所示。

美國時間 2012 年 6 月 13 日早上 11 點 10 分於會議室(Laguna Beach 3)，聆聽作者: J.T. Foster 之研究成果報告: 優先考慮脈衝整形器的設計為彈性脆性材料於常應變率測試，於中午 12 點半至下午 2 點半在希爾頓大飯店之卡塔利娜舞廳，參加實驗力學協會之頒獎午宴，由圖一可以看到，此午宴在每個貴賓用完餐點之後，在進行每個優秀研究人員以及學生競賽得獎人頒獎典禮，在於宴會中氣氛融洽。午宴後，下午 4 點 40 分於討論室(Balboa Bay 2)參加成功大學教授之研究作品: 瞬時相位移數字剪切散斑系統之動態測量，討論到為證實性相移數字剪切散斑動態變形測量，數字瞬間剪切散斑測量系統是能夠捕捉到兩個相移的干涉圖像，新的極化相干涉系統使用瓊斯矩陣的複合材料光學設計，兩個相移圖像由一個 CCD 同時被捕獲，通過採取兩個圖像之前和變形後的兩個圖像，四個圖像被調整到相同的灰度級，和像素位置不匹配的圖像中得到糾正的數字圖像相關方法，此後，在每個像素處的相位，計算測試施加的力的系統上的磁盤和加熱的磁盤被證明。結果表明，該系統適用於動態測量，作者:T.Y-F. Chen, Y.C. Chen，如圖二所示。接續下去是清華大學王偉中教授團隊，所帶來之研究成果: 通過整合光彈和光譜測量低水平應力，討論到傳統的光彈性，不僅固有測量誤差被消除，折射率和試片的應力光學係數的測定是不必要的，例如:低電平應力中產生的不可避免的殘餘應力，製造過程中的薄膜晶體管液晶顯示器(TFT-LCD)的玻璃板，上述提出的方法的精確度的需要加以改進的幫助下。光譜儀，光平面偏振光通過三步相移技術的條紋強度分別為研究。此外，各種條紋級數和光照強度之間的回歸模型試圖找到最佳的方法，用於驗證之改進的可行性和準確性，作者分別為: W.C. Wang, Y.C. Tseng, P.C. Sung，如圖三所示。

美國時間 2012 年 6 月 14 日早上 10 點 50 分於會議室(Laguna Beach 3)，聆聽外國學者:J.G. Qin, Y.L. Lin, F.Y. Lu，所帶來之研究報告: 虛擬 PBX 動態機械性質實驗研究，如圖四所示。早上 11 點 10 分會議報告，作者: W.Y. Lu, B. Song, K.

Gwinn，研究報告: 使用霍普金森桿之動態斷裂韌性測試，討論到霍普金森桿之眾所周知的一些基本問題，如力平衡，脈衝成形，應力波的傳播等，必須進行評估，以獲得可靠的測量實驗技術。一個典型的實驗裝置模式 II，高度敏感的聚偏二氟乙烯 (PVDF) 的力傳感器來檢查前楔和背部的力量度率，高強缺口彎曲 (ENF) 斷裂實驗。研究結果表明，適當的脈衝塑造是必要的，以實現試樣中的應力平衡。，如圖五所示。早上 11 點 30 分會議報告，作者: A. Seyed yaghoubi, B. Liaw，研究報告: GLARE 5(3/2)混梁多種堆積串聯之彈道衝擊行為的損害評估，如圖六所示。接近中午時候，聆聽成功大學博士班學長以及他指導教授分別為: J.F. Weng 以及 Y.L. Lo，研究報告: 強大的旋轉展開算法解決延遲和噪音的問題，此研究報告以理論方式呈現，過程需用到之數理公式非常複雜，但在結果顯示此研究有他之見解之處，此研究已被國際期刊(Optics Express)接受，如圖七所示。在於美國時間 2012 年 6 月 17 日下午 03 點 15 分於洛杉磯機場搭乘 C005 飛機飛回台灣，於台灣時間 2012 年 6 月 18 日晚上 08 點 30 分抵達桃園機場。



圖一實驗力學協會之頒獎午宴實際照片



圖二 瞬時相位移數字剪切散斑系統之動態測量實際照片



圖三 通過整合光彈和光譜測量低水平應力實際照片



圖四 虛擬 PBX 動態機械性質實驗研究實際照片



圖五 使用霍普金森桿之動態斷裂韌性測試實際照片



圖六 GLARE 5(3/2)混梁多種堆積串聯之彈道衝擊行為的損害評估實際照片



圖七 強大的旋轉展開算法解決延遲和噪音的問題實際照片

四、心得

本次出國研討會議本人參加重點在於增加學術觀點與本實驗室研究成果的展現，除了觀察世界各國優秀研究員的研究表現之外，其成果展現的技巧也相當多樣化，看到許多不同的說話技巧與簡報展現方式。此研討會的規模來說，對於國內研討會的舉辦仍有許多需要改進的地方，如會議的場地、主持人對於報告者的安排等，些許的執行方式可考慮跟進他國的做法。參訪行程上的安排雖是順利，但行程過於緊湊，消耗不少體力。

於研討會中，有關光纖相關的研究不虞匱乏，本研究對於該光纖感測器研究偏向感測器量測分析。研究上實行的分析往往限制於經費上，若有經費或權限使用相關儀器，對其他相關研究如抵消光纖雜訊、複合材料分析等方式亦可多加參考。雖然本研究中對於光纖感測器兩種位置量測亦有些許探討，但對於光纖學上對於機械性質的相關內容應可多加研究，待研究內容更加完整後，應可投稿至相關期刊發表。

有關國外學者之研究，看到更多樣的成果敘述技巧，本實驗的數據可以再進一步分析，但倘若能獲取更高階之分析儀器，以低雜訊環境於試片量測到所需資訊，使其達到對於試片之間量測之要求。

五、建議事項

本次行程前往美洲地區出席國際會議並發表論文，針對其不足處提出以下幾點建議事項：

1. 此行程過於緊湊，而影響學習之成效，研討會後應可以多停滯幾天以對於此行收穫內容重點整理。
2. 此次研討會之活動行程表，他們協會工作人員安排很有規則，例如：會議報告更改地點時，會在活動看板上特別註明更改時間與地點並在原地點外面公布更改注意牌子。
3. 對於此次研討會過程中，該場主持會議的學者會於早晨餐敘中與報告者見面，說明出場順序，並詢問報告中的物品需求，以確保會議順利進行。對於該項辦理方式應可以些許參考。
4. 此行研討會中所舉辦的報告內容，該內容的講述偏向廣泛的應用，對於相關的深入知識應把握機會並主動與演講者請教，雖然演講者非所有領域都精通，但對於應用上的細節影響能有所幫助。

六、附件

報告之電子圖檔

KUAS-ME
Experimental Mechanics and Nano-Micro Device Fabrication Lab

High Strain Rate Characteristic of Fiber Bragg Grating Strain sensors

Wun-Jheng Lin¹, Liren Tsai¹, C. C. Chiang¹, S. H. Wang²

¹National Kaohsiung University of Applied Sciences, Graduate Institute of Mechanical and Precision Engineering, Chien Kung Campus 415 Chien Kung Road, Kaohsiung 807, Taiwan, R.O.C.
²I-Shou University, Department of Chemical and Engineering & Institute of Biotechnology and Chemical Engineering, No.1, Sec. 1, Xuecheng Rd., Dasha Dist., Kaohsiung City 840, Taiwan R.O.C.

Professor: Liren Tsai
Graduate student: W.J. Lin

KUAS

Outline

- 1 Motivation and Purpose
- 2 Method and Material
- 3 Result and discussion
- 4 Conclusion

2012/6/22 2

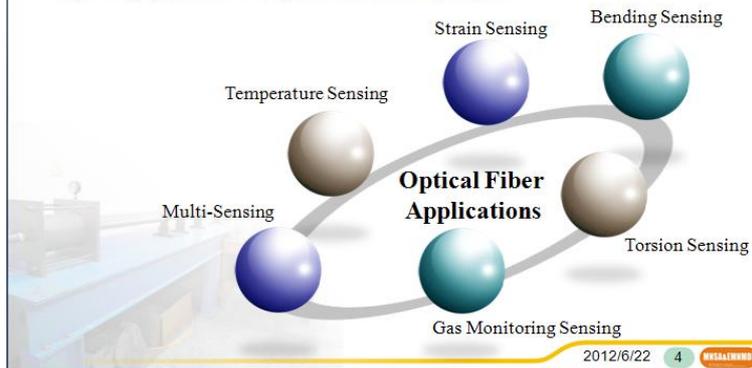
Outline



Motivation and Purpose

Fiber Bragg Grating

- Data transmission speed plays a crucial role in the development.
- Applied in engineering field.
- Lightweight, small size and good environment tolerance.



Motivation and Purpose

- Researchers Mostly used FBG sensor in the static monitoring.
- Be able to find the internal damage of materials by impact.
- After shock, Material is unexpected for serious using.



Figure 1. An image of static test using FBG sensor embedded in material[1]

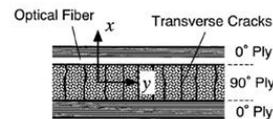
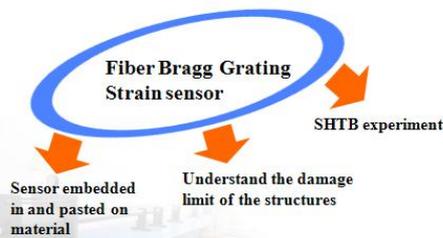
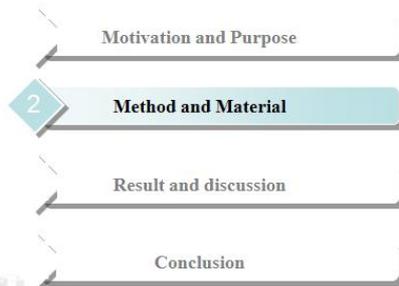


Figure 2. An image of transverse cracks inside material using FBG sensor[2]

[1] Hao Song, Wenjuan Wang, Yujing Zhou, Guangming Zhou, "Mechanical Properties of Composites with Embedded FBG-Sensors in Different Layer"
 [2] Yoji Okabe, Shigeki Yashiro, Tatsuhiro Kosaka and Nobuo Takeda, "Detection of transverse cracks in CFRP composites using embedded fiber Bragg grating sensors"

Outline



Phase-Mask Interferometer

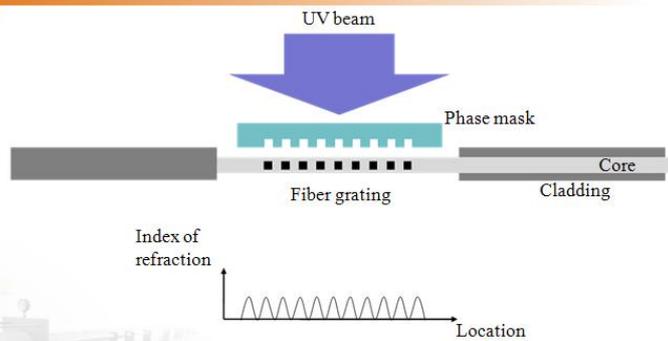


Figure 3. Production of Fiber Bragg Grating sensors

- It's effective method for producing optical fiber sensor.
- UV light refract on the core to form a **grating area**.

[3] B.L. Fang, C.C. Chiang, M.Y. Hsieh, L.R. Tsai, C.L. Lin, "Curing residual strain monitoring in different layer of Ge/Epoxy laminated composites using embedded optical fiber Bragg grating sensors"

Specimen preparation

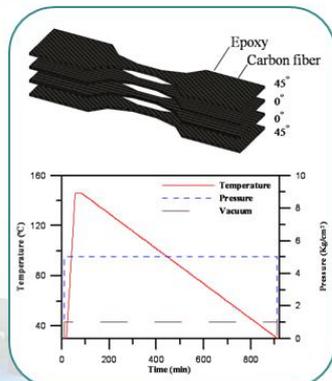


Figure 4. Material were curing under a vacuum situation, and it was heated directly with increasing time.

- **Composition**
 - Content of fiber: 63%
 - Polymer matrix: 37% (Epoxy)
- **Procedures-CFRP**
 - Folded up with [0/45°/0/45°/0]s
 - Manufacturing under the high-pressure and high-temperature environment.
 - Dog-bone shape by water-jet cutting.

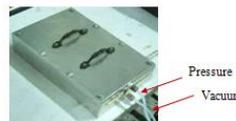


Figure 5. An image of chamber.

[1] B.L. Fang, C.C. Chiang, M.Y. Hsieh, L.R. Tsai, C.L. Lin, "Curing residual strain monitoring in different layer of Ge/Epoxy laminated composites using embedded optical fiber Bragg grating sensors"

Interrogation system for FBG sensors

- **Interrogating Experiment**
Obtain coefficient between FBG and strain.
Energy of FBG and the energy of filter overlaps.
Voltage converted by PD.

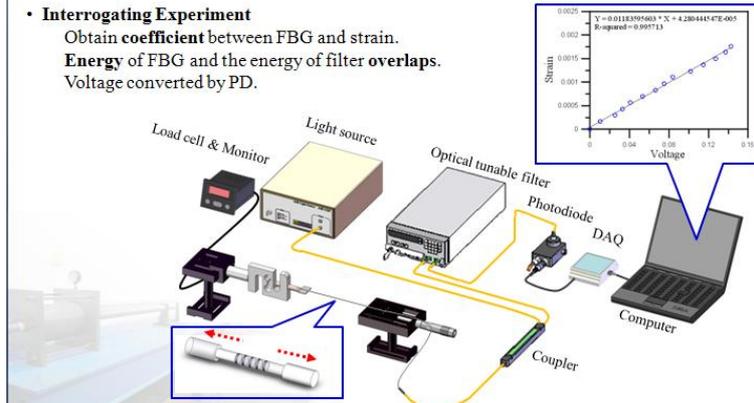


Figure 6. Schematic diagram of interrogation system for Fiber Bragg Grating sensors

Static Correction for FBG sensors

- **Static Experiment**
Gauge factors of FBG sensor were calibrated using tensile test.

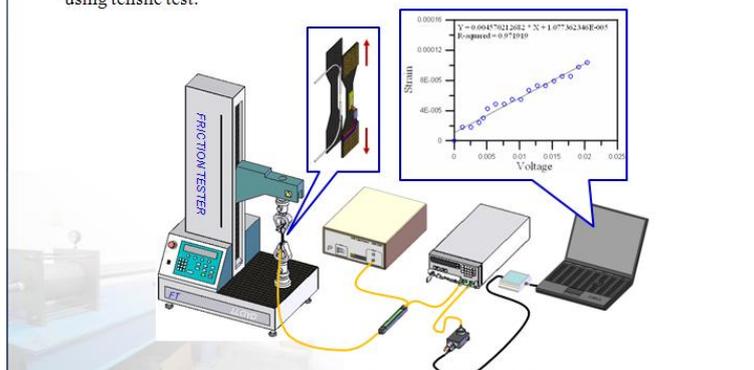


Figure 7. Schematic diagram of static correction for Fiber Bragg Grating sensors

Method and Material

- **Dynamic Experiment**
Using the split Hopkinson tensile bar and interrogation system.
Light source travels through the grating area.
Light energy overlaps with OTF.

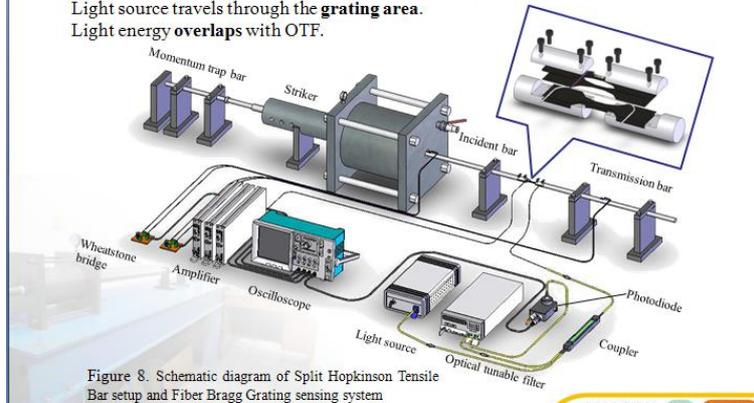
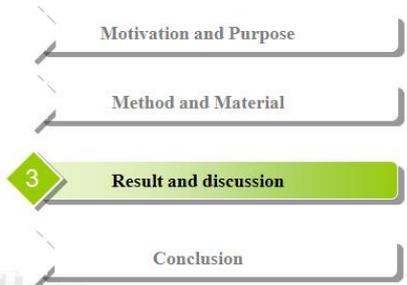


Figure 8. Schematic diagram of Split Hopkinson Tensile Bar setup and Fiber Bragg Grating sensing system

Outline



Result and Discussion

• The FBG sensor embedded inside and pasted on the surface specimen

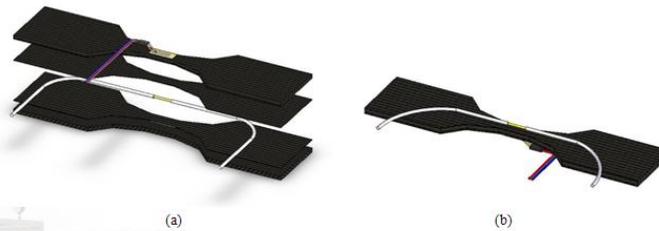


Figure 9. Schematic diagram of FBG sensor were (a) embedded inside and (b) pasted on the surface specimen

Result and Discussion

• The FBG sensor embedded inside specimen

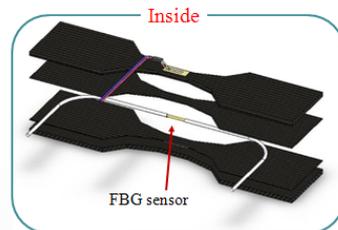


Figure 10. Schematic diagram of FBG sensor were embedded inside specimen [0.45/0/-45/0]s

Table 1 Mechanical property of FBG under high strain rate

Strain rate (s ⁻¹)	Residual Strain	R-Squared
135	1.2543×10 ⁻⁴	0.934712
323	5.1165×10 ⁻⁵	0.926355
492	1.6505×10 ⁻⁴	0.975632
717	9.9029×10 ⁻⁶	0.943653
810	9.4738×10 ⁻⁴	0.955563

- Minimal residual strain effect
- Strain against time from FBG sensor is linearly (**R-Squared**).

Result and Discussion

• The FBG sensor embedded inside specimen

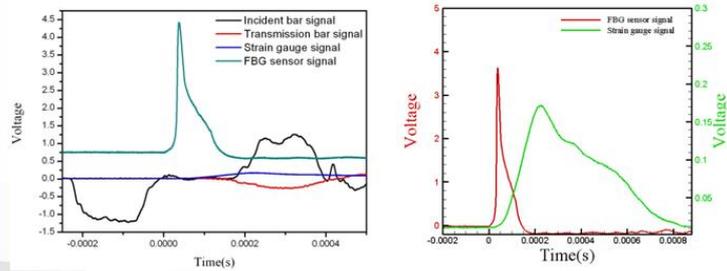


Figure 11. (a) Raw data of SHIB measure, Strain gauge and FBG sensor (b) Signal of FBG sensor and Strain gauge under high strain rate $810s^{-1}$

- The FBG strain sensor has **higher sensitivity** and **quicker response time**.

Result and Discussion

• FBG sensors Embedded inside specimen

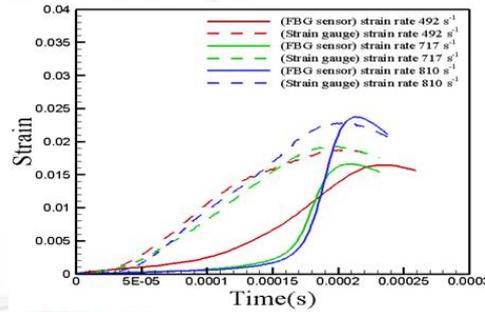


Figure 12. FBGs of strain-time curve under strain rate $492 s^{-1}$ to $810 s^{-1}$.

FBG sensor and strain gauge

- Signal increases along with the increasing strain rate.
- J-shape curve feature.
- Response curve is lower at beginning.

Result and Discussion

• The FBG sensor pasted on the surface specimen

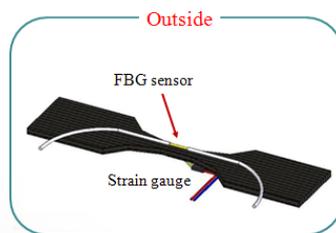


Figure 13. Schematic diagram of FBG sensor were attached outside specimen $[0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}]_s$

Table 3 Mechanical property of FBG under high strain rate

Strain rate (s^{-1})	Residual Strain	R-Squared
149	4.9366×10^{-4}	0.995713
437	6.9651×10^{-4}	0.978329
567	1.6505×10^{-5}	0.988083
717	0	0.965219
820	7.2952×10^{-4}	0.965219
980	4.2913×10^{-4}	0.966783

- FBG sensors attached to the specimen surface after specimens were machined to dog-bone shape.
- Minimal Residual strain effect

Result and Discussion

- The FBG sensor pasted on the surface specimen

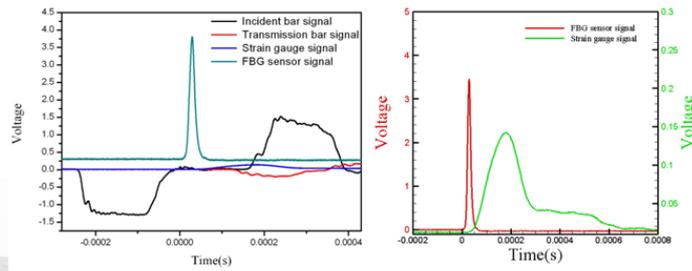


Figure 14. (a) Raw data of SHTB measure, Strain gauge and FBG sensor (b) Signal of FBG sensor and Strain gauge under high strain rate $820s^{-1}$

- The FBG strain sensor has **higher sensitivity and quicker response time**.
- Shows that signal of FBG grows a **peak** under high strain rate.

Result and Discussion

- FBG sensors pasted on the surface specimen

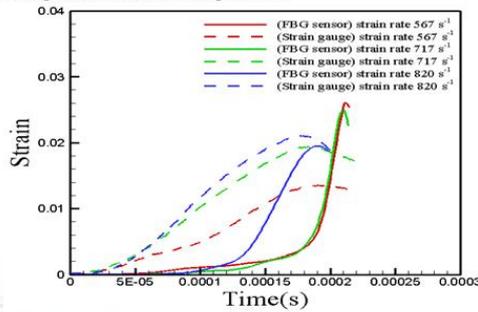


Figure 15. FBGs and strain gauge of strain-time curve under strain rate $567 s^{-1}$ to $820 s^{-1}$.

FBG sensor and strain gauge

- Signal increases along with the increasing strain rate.
- J-shape curve feature.
- Response curve is lower at beginning.

Result and Discussion

- FBG sensors Embedded inside and pasted on the surface specimen

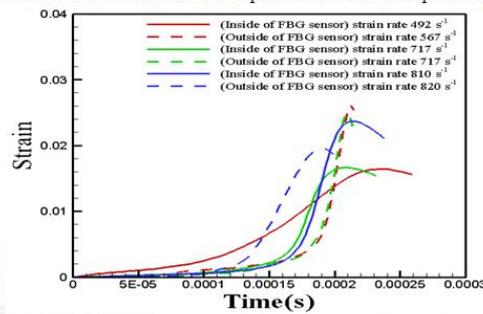


Figure 16. FBGs of strain-time curve under strain rate $492s^{-1}$ to $820 s^{-1}$.

FBG sensor

- Signal increases along with the increasing strain rate.
- J-shape curve feature.

Result and Discussion

- Microscopic –Carbon Fiber Reinforced Polymer (After tested)

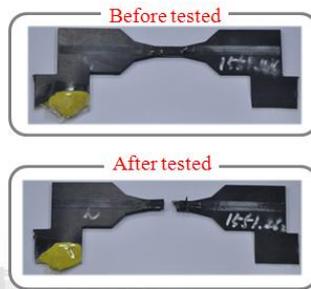


Figure 17. The specimen of (a) and (b) CFRP were before and after dynamic loading

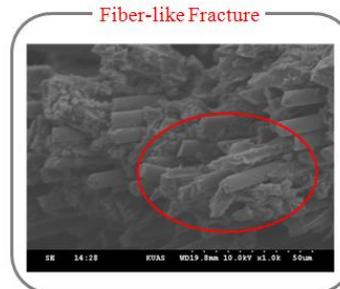
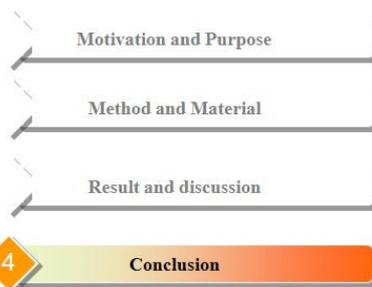


Figure 18. CFRP was surfaced feature under high-speed loading.

Outline



Conclusion

- Inside and Outside FBG sensors
 - Shows that signal of FBG grows a **peak** feature under high strain rate.
 - At **strain rate** conditions, both FBG and strain gauge curves exhibit **J-shape curve** feature.
 - FBG strain sensor has **higher sensitivity** and **quicker response time**.
 - The signal of FBG grows along with the increasing rate.
 - Response curve is lower at beginning.

KUAS-ME

Experimental Mechanics and Nano-Micro Device Fabrication Lab

THE END

Thanks for your listening



Professor:Liren Tsai
Graduate student:W.J. Lin

七、出席證件與報告照片

1. 出席證件



2. 報告照片



