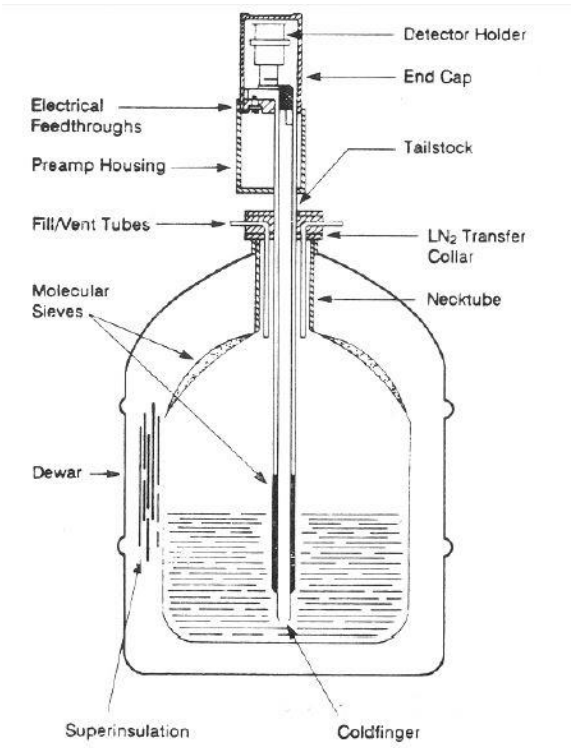
ระบบหัววัด Germanium detector

<u>บทนำ</u>

หัววัด Germanium detector คือหัววัดที่มีรูปแบบโครงสร้างของไดโอดสารกึ่งตัวนำที่เป็นแบบ P-I-N ซึ่งส่วนบริเวณ intrinsic จะมีความไวสูงกับไอออนรังสี ,เอ็กซ์เรย์, รังสีแกมม่า จากการ reverse bias จะทำให้เกิดการขยายสนามไฟฟ้าออกข้ามไปถึงส่วน intrinsic หรือบริเวณส่วน depleted เมื่อโปรตอนทำอัตรกริยากับวัสดุภายในส่วน depleted ของดีเทคเตอร์แล้ว พาหะประจุ (hole , electron) จะถูกสร้างตรงไปสู่บริเวณส่วนของ P และ N อิเล็กโตรด ประจุที่ได้นี้จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานสะสมอยู่ในดีเทคเตอร์โดยที่โฟตอนจะถูกแปลงเป็นแรงดันพัลซ์จากประจุสะสมของปรีแอมปลิไฟเออร์

เนื่องจาก Germanium มีความสัมพัทธ์ของ band gap ต่ำดังนั้นดีเทคเตอร์นี้ต้องถูกหล่อเย็นเพื่อจะได้ลดการสร้างกระแสรั่วไหลย้อนกลับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม มิฉะนั้นกระแสรั่วไหลจะเหนี่ยวนำสัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบต่อ energy resolution ของดีเทคเตอร์ก่อให้เกิดการลดประสิทธิภาพโดยจะต้องใช้ไนโตรเจนเหลวซึ่งมีอุณหภูมิที่ 77°K นั้นเป็นสารหล่อเย็นสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพของดีเทคเตอร์ โดยที่ดีเทคเตอร์นั้นติดกับแวคคัมแชมเบอร์ซึ่งถูกสอดอยู่กับ Dewar เพื่อป้องกันจากความชื้นและการเปรอะเปื้อน

<u>ส่วนประกอบของหัววัด</u>



*Ref.

Cryostat

ประกอบด้วย vacuum chamber ที่เป็นส่วนที่ใส่หัววัดและ Dewar สำหรับการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวและในส่วน Dipstick cryostat มี detector vacuum chamber กับ dipstick-like cold finger ซึ่งสอดเข้าไปที่ส่วนคอของ Dewar ในส่วนของหัววัดนั้นถูกวางในตำแหน่ง detector holder ซึ่งเพิ่มประสิทธิของหัววัดจากการ cooling ผ่าน copper cold finger โดย cold finger ส่งผ่านความร้อนจากส่วนประกอบต่างๆของหัววัดสู่ไนโตรเจนเหลว และ detector holder ถูกจัดวางเพื่อให้เกิดความสเถียรในกรณี anti-microphonic และส่วนของผนังส่วนนนอก vacuum jacket หรือ end cap ซึ่งจะมีความบางเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการลดทอนจาก low energy photon

Dipstick Dewar

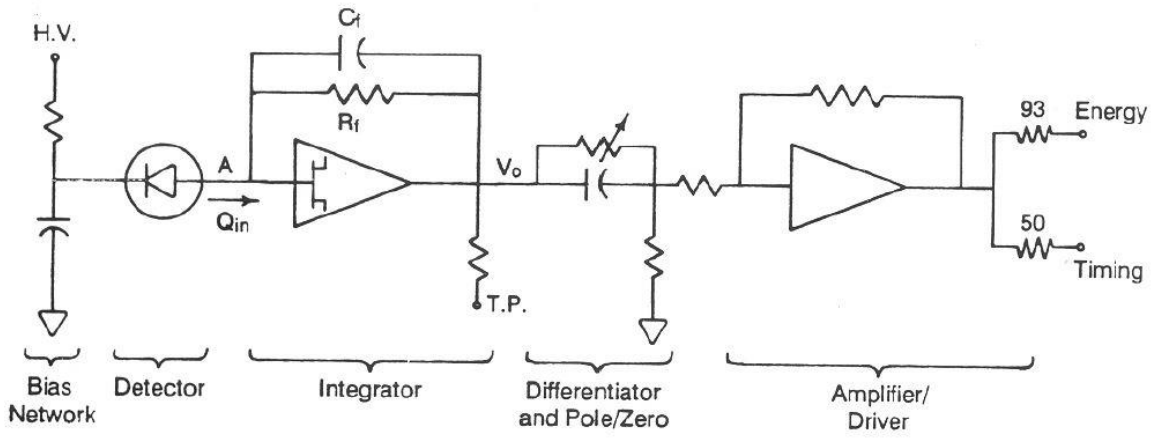
เนื่องจาก Dipstick cryostat จะใช้กับถัง Dewar ขนาดประมาณ 30 ลิตร ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการสูญเสียของไนโตรเจนเหลวที่อยู่ในถัง Dewar จะอยู่ที่ประมาณ 0.5 ถึง 0.7 ลิตรต่อวันในบรรยากาศทั่วไป

Preamplifier

โดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ

- Charge sensitive or RC feedback preamplifier

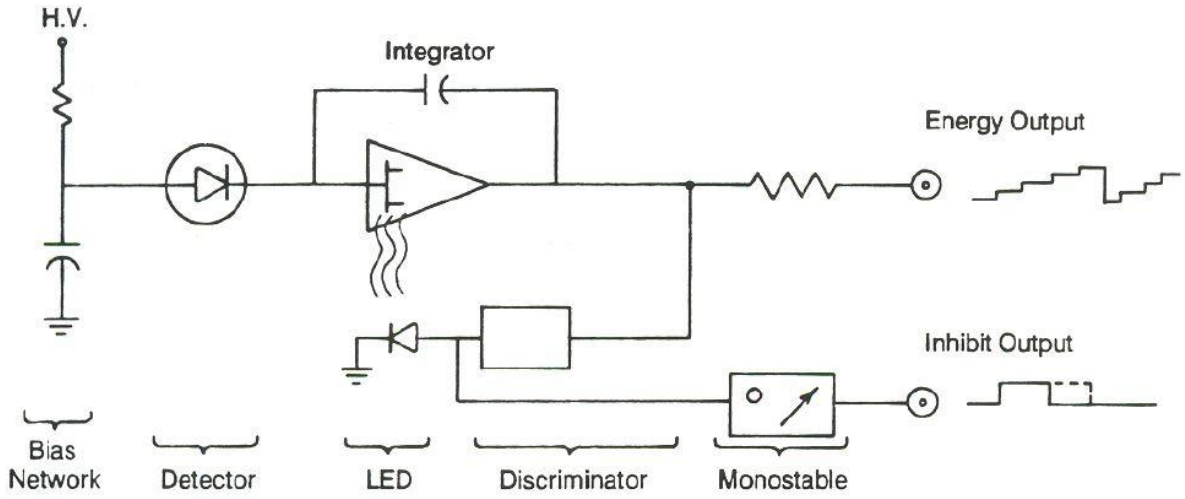
*Ref.



จากไดอะแกรมวงจรอธิบายคือการสะสมประจุจาก detector ที่ส่วน input node โดยจะปรับ Amplifier balancing ผ่าน feedback capacitor (Cf) ดังสมการ Vo = Qn/Cf

อุปกรณ์ความต้านทานสูง (Rf) จะกระทำการ discharge feedback capacitor (Cf) กับ time constant (RfCf)ในส่วนของ Energy rate limit ของ amplifier ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกลับผ่านสู่ feedback resistor และ output จะถูกขยายสัญญาณจากการเลือก Gain (อัตราขยาย)

- Pulse optical reset preamps



*Ref.

เนื่องจาก feedback resistor (RC) ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน,สำหรับ low energy detector นั้น electronic noise มีผลกระทบกับค่า resolution ของการวัดดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงที่จะใช้ feedback resistor มาใช้กับระบบ ในส่วนของ preamplifier นั้นจะถูกรีเซ็ตโดยการทำงานของ LED ที่ติดกับ FET chip ซึ่งทำการ discharge ทำให้เกิดการรีเซ็ตร่วมด้วยกับวงจร monostable ในการ generate gate pulse

<u>Warm –up sensor และ HV inhibit</u>

ในส่วนของหัววัดนั้นจะมีระบบวงจรตรวจจับอุณหภูมิภายเพื่อจะควบคุมตัดการจ่ายไฟฟ้าป้อนเข้าหัววัดในกรณีที่เกิดความผิดปกติของการ warm up ในการป้องกันความเสียหายของหัววัด

สำหรับกรณีอื่นๆในการใช้เพื่อป้องกันระบบหัววัดของฟังก์ชันนี้คือเมื่อหัววัดเข้าสู่กระบวนการ warm up ส่วนที่เป็น molecular sieve ที่อยู่ในส่วนสุญญากาศจะปล่อยแก๊สออกมาสะสมในช่วงอุณหภูมิต่ำเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นสามารถก่อให้เกิดการดิสชาร์ทไฟฟ้ากับวงจร high voltage ภายในส่วน cryostat ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายกับ FET ของวงจร preamplifier

การตรวจระดับไนโตรเจนเหลวใน Dewar และมีการแจ้งเตือนเพื่อระวังก่อนที่จะมีการ warm up เมื่อกล่าวถึงในกรณีที่เซนเซอร์ภายในจะไม่ตอบสนองจนกระทั่งมันถูก warm up ดังนั้นขณะที่มีการปรับสภาพอุณหภูมิในการป้องกัน FET ซึ่งเป็นช่วงเวลาการป้องกันที่ลดลงดังนั้นการเติมไนโตเจนเหลวจึงไม่ควรเติมแล้วใช้งานทันทีโดยไม่รอเวลาในการปรับสภาพของอุณภูมิก่อน

การจำแนกชนิดต่างๆของ Germanium detector

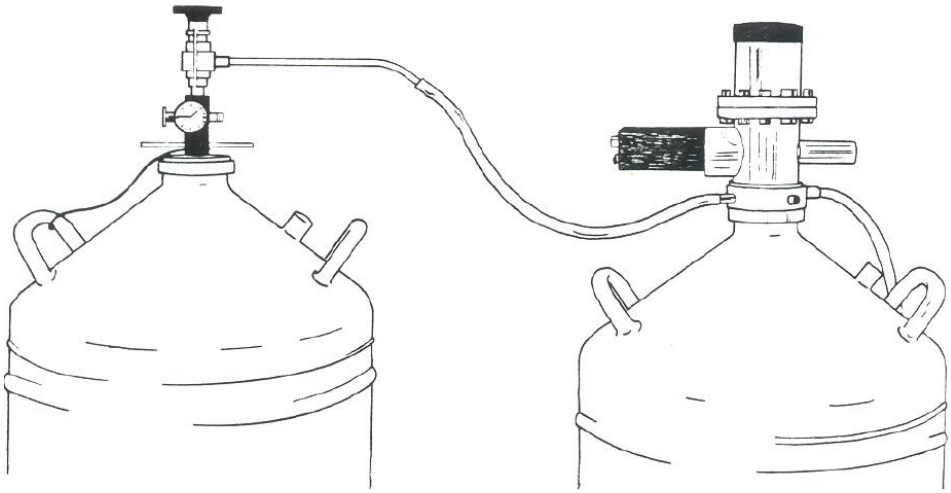
- The Coaxial germanium detector
- The Planar Ge detector
- The Reverse electrode detector
- The Extended range Germanium detector
- The Ge Well detector

<u>การเติม Liquid Nitrogen</u>

กาจัดการใช้ Liquid Nitrogen

การใช้ไนโตรเจนเหลวต้องระมัดระวังอยู่เสมอเนื่องจากอุณหภูมิจะต่ำมากทำให้เกิดการบาดเจ็นที่ผิวหนังจากการสัมผัสได้เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำถึง -196°C พร้อมกันนั้นแก๊สไนโตรเจนสามารถทำอันตรายเช่นกับดวงตา ใบหน้า หรือกับมือได้ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์ป้องกันกับส่วนของร่างกายที่จะสัมผัสโดนที่จะแนะนำเช่นถุงมือหนังหรือแว่นตาป้องกันจากการกระเด็นของไนโตรเจนเหลวมิเช่นนั้นอาจทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ผิวหนังยึดติดกับโลหะและเกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อได้ซึ่งการใช้ที่คีบวัสดุที่จุ่มในไนโตรเจนเหลวต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากยิ่งไปกว่านั้นวัสดุที่นุ่มและยืดหยุ่นเมื่อถูกความเย็นจากไนโตรเจนเหลวจะกลายเป็นของแข็งและเปราะแตกหักง่ายมาก และควรจัดการไนโตรเจนเหลวในส่วนของพื้นที่ระบายอากาศทได้ดีเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการสูดดมไนโตรเจนเหลวที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งจะทำให้เกิด

อาการหายใจไม่ออกเนื่องจากแก๊สไนโตรเจนเหลวนั้นจะไม่มีสีหรือกลิ่นซึ่งจะสูดดมรับเข้าไปสู่ร่างกายโดยไม่รู้ตัวเป็นอันตรายต่อร่างกาย



รูปแสดงการเติมถ่ายโอนไนโตรเจนเหลว*Ref.

Warming up the integral detector

การทำกระบวนการ warm up กับ cryostat จากการถ่ายไนโตรเจนเหลวสู่ถัง Dewar โดยพยายามหมุนถังด้านข้าง(ต้องถอดสายปลั๊กที่คอถังออกก่อน) และพยายามอย่างระมัดระวังในการกำจัดน้ำที่เกิดขึ้นที่อยู่นอนก้นของถัง Dewar เพราะจะทำให้เกิดเสียงสะท้อนก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบการวัด และควรจะทำการ warm up หรือรอกระบวนการปรับอุณหภูมิอย่างน้อย 24 ชั่วโมงซึ่งจะต้องใช้เวลาต่ออีกหลายชั่วโมงต่อจากนั้นในการ warm up ที่สมบูรณ์

Turn bias off

ต้องปิดการจ่ายไฟกับหัววัดในระหว่างการ warm up เนื่องจากอาจเกิดความเสียหายกับหัววัดและปรีแอมป์ในภายหลังได้จากการดิสชาร์ทของประจุจากแรงดันแก๊สที่เพิ่มขึ้นที่ปล่อยจาก molecular sieve

Prevent Moisture Accumulation

ต้องควบคุมกำจัดความชื้นให้ออกจากพื้นที่การใช้หัววัดเพราะหากมีความชื้นสะสมสูงในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ระบบวัดก็จะเกิดการสะสมของความชื้นในช่วงการวัดและอาจจะเกิดกระแสรั่วไหลของวงจร High Voltage ยิ่งไปกว่านั้นอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะเกิดขึ้นในระยะยาว

Precation Vacuum Failure

ถ้า Cryostat เกิดปัญญาหาเกี่ยวกับสูญเสียการรั่วไหลของ Vacuum ซึ่งจะเห็นการสูญเสียอัตราค่าการวัดอย่างมากและจะต้องทำการแก้ไขการรั่วของ Vacuum โดยทันทีมิฉะนั้นอาจนำมาซึ่งการเสียหายที่ถาวรไม่สามารถแก้ไขได้กลับมาเป็นปกติเหมือนเดิมได้

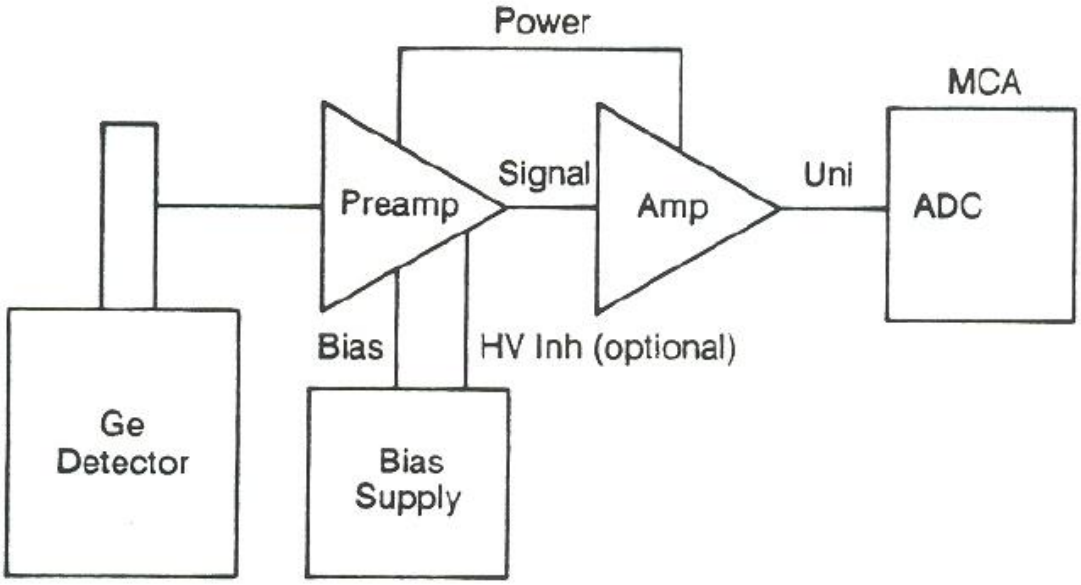
การ Setup และ Test

การจัดระบบวัดที่เหมาะสมและถูกต้องในขั้นตอนการติดตั้งเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการเพื่อให้เกิดความมั่นใจในประสิทธิภาพของระบบวัด ซึ่งมีขั้นตอนการจัดระบบวัดเพื่อทดสอบดังตัวอย่างคือ

- Ge detector, Cryostat ,Preamplifier
- NIM Bin, Power supply
- Amplifier (Ex. Model 2021 หรือ เทียบเท่า)
- MCA – 8192 ADC range, 4096 memory, Digital Readout
- Detector Bias Supply (Ex. Model 3105 หรือเทียบเท่า)
- Voltmeter(Analog หรือ 3-1/2 digit)
- Oscilloscope – 50 MHz bandwidth, 5 mV/div.
- Sources เช่นหัววัด Ge แบบ Coaxial , Primary source = Co60 , Secondary Source = Co57

Test Configuration

จัดต่ออุปกรณ์ดังรูป



*Ref .

ระบบไฟเลี้ยง AC จ่ายให้กับทุกอุปกรณ์ในวงจรเดียวกันเพื่อหลีกเลี่ยง Ground loops โดย Bias Supply และ Amplifier ควรจะอยู่ที่ตำแหน่งแยกกันที่แต่ละด้านของปลาย NIM, หากเป็นไปได้เพื่อเป็นการลด Cross talk ระหว่างกันและต่อสาย output (Unipolar) จากส่วนหลังของ Amplifier ถ้าหากว่าสายสัญญาณระหว่าง Amplifier และ MCA ยาวเกินกว่า 1 เมตรโดยที่ต่อ cable กับ Front panel output ซึ่งควรจะต่อหัว terminated กับ cable ที่ MCA โดยใช้โหลด 93 ohm มิเช่นนั้นอาจก่อให้เกิดการออสซิลเลท ที่เกิดผลกระทบกับประสิทธิภาพการวัดได้

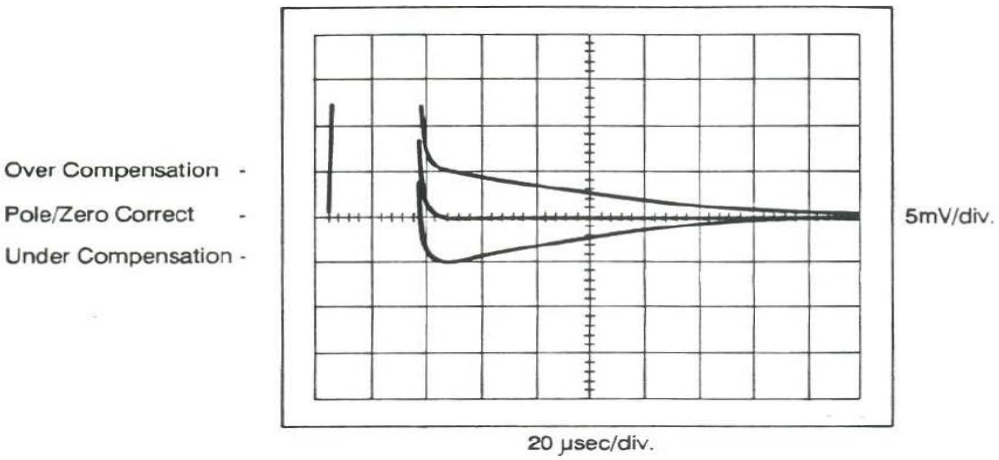
Instrument setting

การ set up สำหรับการทดสอบ resolution ของหัววัด

Detector Type	Preamp	Peak Energy	H.V. Polar.	AMP Controls Input Polar.	AMP Controls Time Constant	MCA Controls ADC Gain	MCA Controls ADC Offset	MCA Controls Memory	Approx. Energy/ Channel
Planar	PO	5.9 keV	Neg	Pos	12 μs	2048	0	1024	7 eV
Planar	RC	5.9 keV	Neg	Neg	4 μs	2048	0	1024	7 eV
Planar	PO	122 keV	Neg	Pos	12 μs	8192	1536	1024	54 eV
Planar	RC	122 keV	Neg	Neg	4 μs	8192	1536	1024	54 eV
LEGe	RC	5.9 keV	Neg	Neg	4 μs	2048	0	1024	7 eV
LEGe	RC	122 keV	Neg	Neg	4 μs	8192	1536	1024	54 eV
Coaxial	RC	122 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	512	1024	91 eV
Coaxial	RC	1332 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	6144	2048	163 eV
REGe	RC	122 keV	Neg	Neg	4 μs	8192	512	1024	91 eV
REGe	RC	1332 keV	Neg	Neg	4 μs	8192	6144	2048	163 eV
XtRa	RC	22/88 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	0	1024	40 eV
XtRa	RC	1332 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	6144	2048	163 eV
Well	RC	122 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	512	1024	91 eV
Well	RC	1332 keV	Pos	Pos	4 μs	8192	6144	2048	163 eV

Pole Zero adjustment

แรงดันไฟฟ้าที่ออกจาก amplifier output ดังรูปซึ่งจะบ่งบอกเป็น 3 ลักษณะ *Ref.



โดยต้องปรับ(ที่ปรีแอมป์)จนได้รูป pulse ที่เหมาะสมคือปรับให้เป็นแบบ Pole/Zero Correct

Troubleshooting ในบางกรณีและการแนะนำ

อาการผิดปกติ :	การแก้ไข :
No output	- Check power supply Voltage
	- Check เคเบิ้ลของระบบ
	- Check V-I characteristic
High leakage current	- พยายามปรับ low bias ของหัววัดซึ่งอาจจะทำงานได้ดีที่ low bias
	- Detector อาจจะมีการ warm up ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นควรจะมีการ
	Warm up อย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการ cool down
Erratic leakage current	- Check ความบกพร่องทางแรงดันไฟฟ้าของ preamp current
	network ในส่วนของ bias supply และ เคเบ้ล HV
Poor resolution	- Check V-I characteristic
	- Check การแทรกสอดรบกวนทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์อื่นๆ
	- Check กราวด์ลูป (50 – 60 Hz noise)

Microphonic noise	- วางแยก Dewar จากพื้นโดยใช้วัสดุที่เป็นฉนวนเช่นวัสดุที่ทำจาก ยางหรือโฟมมาใช้วางหนุนเป็นต้น - Checkตำแหน่งความเหมาะสมของการติดตั้ง dipstick เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนล่างของ dipstick ไม่ได้สัมผัสกับส่วนภายใน ของ Dewar
Low frequency noise	- Check กราวด์ลูปโดยตรวจสอบว่าระบบจ่ายไฟทั้ง ระบบติดตั้งระบบจ่ายไฟที่วงจรแหล่งเดียวกัน
High frequency noise	- เปลี่ยนไบแอส supply ถ้า ความถี่ dc-dc converter เกิดสัญญาณรบกวนที่ preamp หรือ amp output
Peak tailing	- Check pole/Zero setting Check HV เคเบิ้ลและวงจร detector อาจจะไม่ได้รับ rate bias - Detector ได้รับผลกระทบจาก neutron หรือไม่ การ เสียหาย จากรังสีเนื่องจากปัญหาการ สะสมของประจุ

Moisture accumulation	- บ่งชี้ถึงระบบสุญญากาศภายในที่ต่ำเกินไปซึ่งการสะสมความชื้นที่เกิดขึ้นโดยจะต้อง check น้ำหนักของถังที่สูญเสียไนโตรเจนเหลวหลังจาก 24-48 ชั่วโมง
Poor resolution at high energy	- ผลกระทบจากนิวตรอนที่ทำให้เกิดผลกับ resolution ที่ High energy มากกว่า low energy โดยจะทำให้เกิดการเสื่อม ซึ่ง peak ที่ได้จะไม่สมมาตร ดังนั้นเพื่อช่วยให้เกิดการคืนตัวของสมรรถนะโดยการทำกระบวนการ heat treatment ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ช่วงเวลาหลายๆวันในการคืนสภาพ
Peak instability	- ปัญหา gain drift เกิดจากการเลื่อนของพีคซึ่งเกือบทั้งหมดจะเกิดมาจาก Amplifier , ADC ซึ่งต้องเปลี่ยนใหม่ทดแทนที่หากเกิดอาการนี้มากขึ้น - อีกสาเหตุคือการต่อระหว่าง detector และ Preamplifier ทำให้เกิดการ peak shift แก้ไขโดย

	ตรวจสอบและทำความสะอาด contact ระหว่าง
	Preamp และ cryostat
Poor resolution at high rates	- Check amplifier Pole/Zero
	-ปรับ amplifier shaping time constant ให้เหมาะสม

References

Germanium Detector user manual , Canberra industries, inc.