





БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО
“Академик Георги Наджаков”

*Изследване и внедряване на кварцови резонатори
в България*

чл.-кор. дфн Лозан Спасов

София, 18 Март 2016 година



*РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЯВАНЕ НА КВАРЦОВИ РЕЗОНАТОРИ В
БЪЛГАРИЯ*

- Предистория
- Началото - БРВ при ЗЕПЕ - София
- Сътрудничество и взаимопомощ между ИФТТ-БАН и ЗЕПЕ-София
- Проекто-конструкторски и технологични разработки и внедряване в ЗЕПЕ- София
- Научноизследователски и технологични изследвания в Лаб. “Акустоелектроника”- ИФТТпри БАН
- Кварцови температурни сензори (КТС)
- Предимства на КТС и перспектива



Изграждане на кварцово производство у нас


- Предпоставки- новоизградени заводи за:
 - Завод за УКВ радиостанции в гр. Гоце Делчев
 - Завод за хидро- и радиолокационна техника “Черно море”- Варна
 - Задоволяване нарастналите вътрешни потребности от кварцови прибори за радиоелектронната и отбранителната ни промишленост



**База за развитие и внедряване (БРВ) при
Завод за електронни преобразователни елементи**

**На Базата за развитие и внедряване към
ЗЕПЕ е възложено:**

*Разработка и усвояване в производство
на серия от кварцови резонатори и
филтри за УКВ радиостанции.*



База за развитие и внедряване при Завод за електронни преобразователни елементи


- При много примитивни условия през 1966г. в БТР към ЗЕПЕ са направени първите образци на кварцови резонатори за **8000 кHz**, които са вложени в разработката на първият УКВ радиотелефон в България.
- През 1967 – 1968 години са изготвени образци на КР за 8050 кHz и на серия от КР за 312 кHz и 314 кHz.



През 1970г. е доставена от СССР линия за производство на КР и пусната в действие с помощта на няколко съветски специалисти

Подписан е и Договор Л-8/313 за обучение на 30 наши специалисти в техни заводи, но по-късно обучението категорично е отказано[2].

Това налага България със собствени сили да реши проблема с подготовката на специалисти и квалификацията на производствения персонал.

- 
- По инициатива на проф. М.Борисов ЕЦ по физика при БАН и ЗЕПЕ сключват “Договор за научно обслужване и подготовка на кадри” .
 - Програма за научно сътрудничество и взаимопомощ в областта на кварца и кварцовите прибори
 - проф.М.Борисов въвежда редовен курс по “Увод във физиката на твърдото тяло” за профилирана подготовка на студенти от редовния курс по физика.
 - Организира и вечерен курс за следдипломна квалификация на специалисти от ЗЕПЕ и БРВ “Акустични и оптични вълни в твърди тела”.




Насочва асистенти и аспиранти от ФзФ на СУ към научни и приложни изследвания в областта на кварца и кварцовите прибори.

Подготвя дипломанти в областта на кварцовите прибори с участието на специалисти от БРВ при ЗЕПЕ

Организира общи семинари и технически конференции по проблеми свързани са развитието на кварцовите прибори в България.

Развива сътрудничество в областта на микроакустиката с наши и чуждестранни учени и специалисти чрез участие на Национални и Международни форуми.

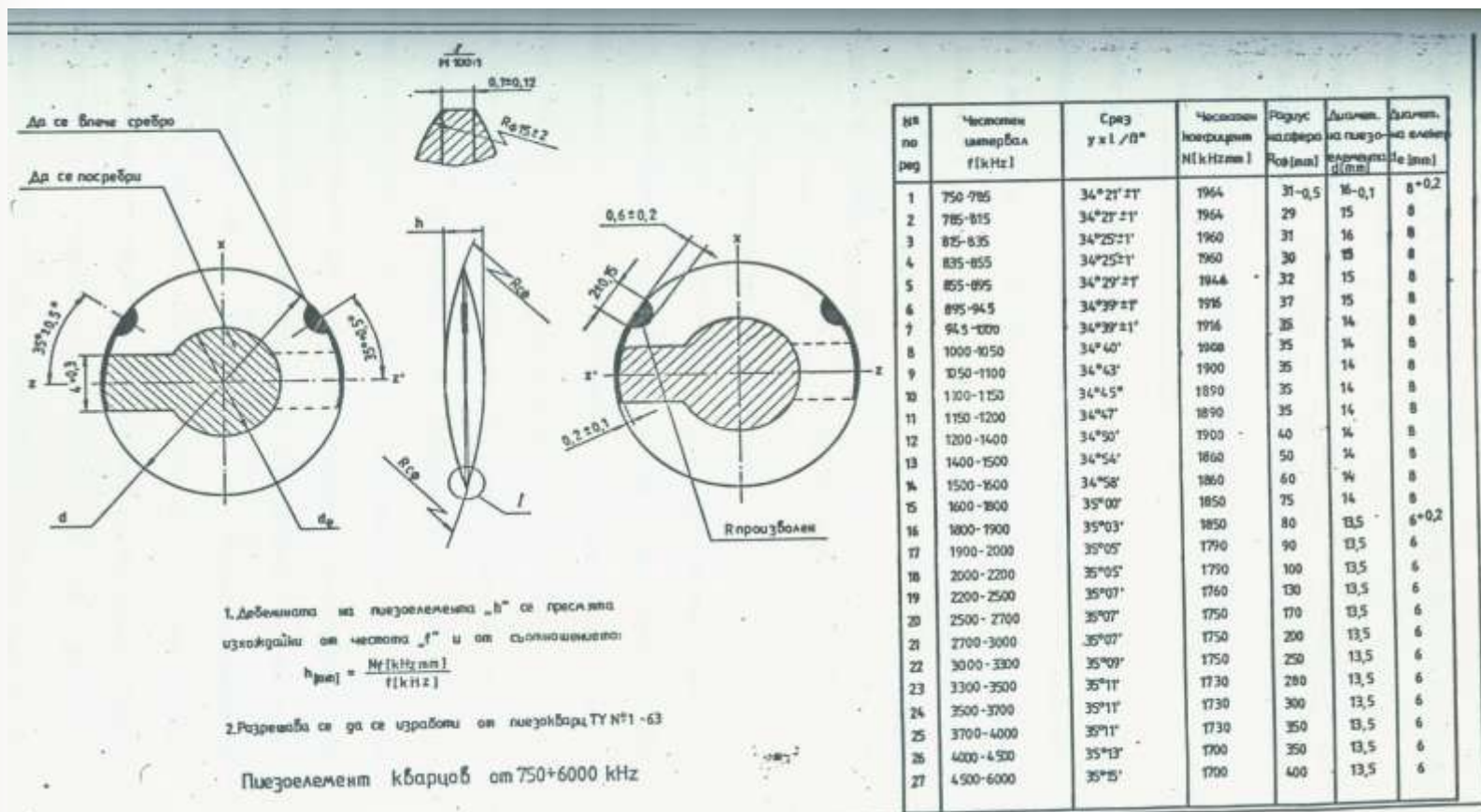


академик М.Борисов поставя началото на
*Международна научно-техническа
конференция по **Акустоелектроника**,*

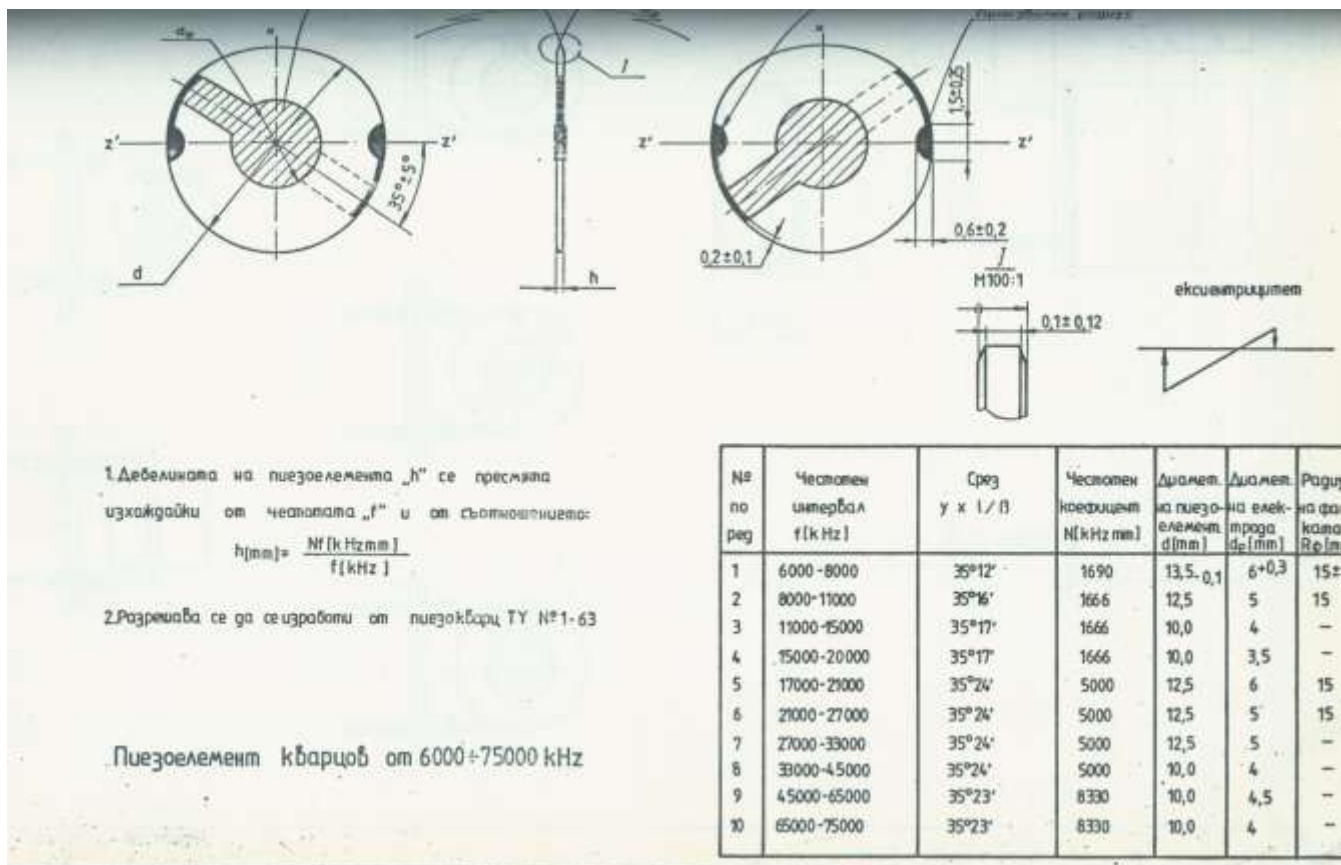
организирана от ИФТТ-БАН, ФзФ на СУ и
ЗЕПЕ и със съдействието на Министерство на
електрониката.


На всеки две години в продължение на две
десетилетия тя събира учени и специалисти от
изследователски центрове и индустрията от
цял свят, работещи в областта на кварцовите
приборите за честотен контрол и селекция

Пректо-конструкторски и технолокични разработки внедряване в ЗЕПЕ-1971-1975




Проекто-конструкторски и технологични разработки внедряване в ЗЕПЕ-1971-1975





**Проекто-конструкторски и технологични
разработки внедряване в ЗЕПЕ-1971-1975**

През периода 1971г. – 1975г. в БРВ успешно са завършени и внедрени в производство серия от проекто-конструкторски и технологични разработки, с които е рзширен **честотния диапазон** за производство на кварцови резонатори от **200 kHz до 350 kHz** и от **750 kHz до 100 MHz**



На база на защитени дисертации
са разработени и усвоени в
производство нови изделия:

- SSB кварцови филтри за
1,7 MHz и 5 MHz за специални
РС



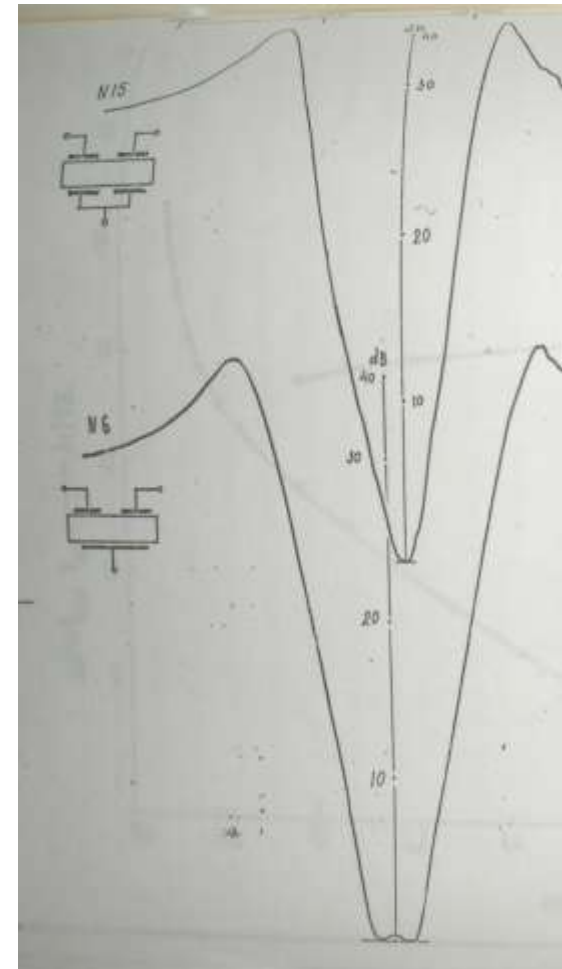
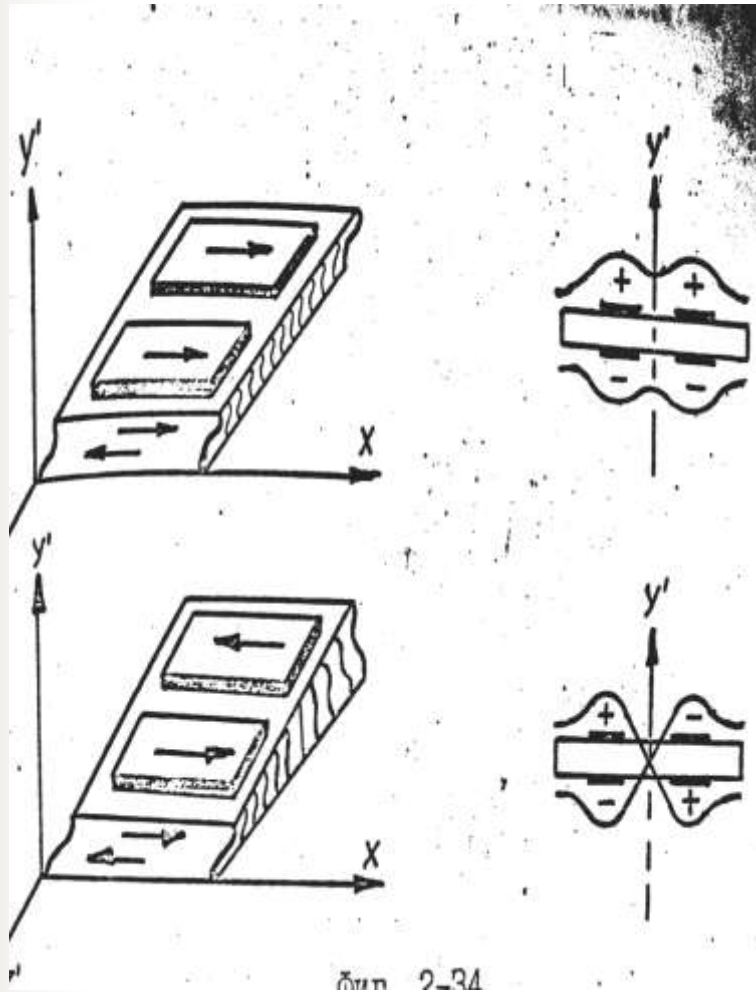
МОНОЛИТНИ КВАРЦОВИ ФИЛТРИ(МКФ)

Двурежимен кварцов резонатор

(основен градивен елемент на МКФ)

- През 1972-1973г. Сътрудник от БРВ специализира в лабораторията на професор Морио Оное, Института за промишлени науки към Токиския университет, Япония
- Темата по която работи *“Многорезжимни кварцови резонатори”* е основата на която се развиват т.н. *“Монолитни кварцови филтри”(МКФ),*

Двурежимен КР и филтровата му характеристика





МОНОЛИТНИ КВАРЦОВИ ФИЛТРИ (МКФ)


- След завръщането си **организира курс за квалификация** на специалистите от Завода по “*Физически основи на монолитните кварцови филтри*” и
- Обосновава необходимостта за **ускорено усвояване** производството на *монолитни кварцови филтри*, **като ново поколение** в прибори за честотен контрол и селекция.
- 1975г. е доставено и монтирано специализирано оборудване за производство на МКФ от Япония и
- 1976г., екип под негово ръководство се пуска линията за производство на МКФ

Двурежимни КР



монолитни кварцови филтри






Завод за електронни преобразователни елементи

Производство на кварцови
прибори за периода

1971г. – 1979г. - 2,000 хил. бр.

- 
- През 1978г. в ЗЕПЕ-София е сключен договор с английска фирма за доставка на автоклави за промишлено израстване на синтетичен кварц (суровина – ломен кварц)
 - 1978г.акад. М.Борисов създава в ИФТТ-БАН лаборатория “Акустоелектроника”, и поставя задача:
 - *Да се намери български суровинен източник за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц с високи акустически характеристики за производството на кварцови резонатори*



Лаборатория “Акустоелектроника”, ИФТТ-БАН

- Изработен е **автоклав с контролно-имерителна система** за хидротрмално израстване на пиезокварц
- Съвместно с колеги от Геологическия институт - БАН са проучени изследвани **кристалофизическите и кристалохимически характеристики** на суровини от находища с промишлено значение.
- Проведени са **серия от хидротермало израстване** на кварцови кристали от различни находища.
- Изследвано е влиянието на **качеството на суровината и условията на растеж въру акустичните характеристики** на кварцовите кристали.
- **Намерени са условия за хидротермално израстватване на кристали с акустически качества сравними с най добрите образци в света.**

Синтетични кварцови кристали





Лаборатория “Акустоелектроника”, ИФТТ-БАН

В резултат на тези изследвания:

- **Определени са изискванията към гранулометричния състав, морфологията и кристалохимичните характеристики на суровината за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц с високи акустични свойства.**
- **Намерено и блокирано е находище, което според геоложките проучвания, обезпечава суровинната база на завода за над 100 години напред.**




С усвояване производството на синтетичен кварц за кварцови прибори от българска суровина, ЗЕПЕ **затвори технологичния цикъл** на производствената си програма за:

- Синтетични кварцови кристали,
- Кварцови ламберти, заготовки и пластини
- Кварцови резонатори, монолитни филтри и генератори за радиосъобщителната техника
- Микропроцесорни кварцови резонатори
- Часовникови кварцови резонатори


Производство на кварцови прибори в ЗЕПЕ

- **1980г. нараства на 969 хил. бр/г.**
- **1985г. достига 1,945 хил. бр/г.**

-

- 
- България края на 80-те години се превърна в една от **най-бързо развиващите се страни в областта на кварцовите кристали и прибори за честотен контрол в Европа** и
 - **третата страна в света** (след САЩ и Япония), която усвои **промишлено производство на Монолитни кварцови филтри** – една върхова (ембаргова по това време) технология





Лаборатория “Акустоелектроника”, ИФТТ-БАН
1985-2005 г. - **научно-приложни изследвания**

- кварцови прибори на повърхнинни акустични вълни (ПАВ) за радарни установки,
- резонансни кварцови сензори за температура и влага за летищни метеорологични комплекси,
- кварцови сензори за токсични замърсявания и контрол на околната среда и други сензори на резонансен принцип.

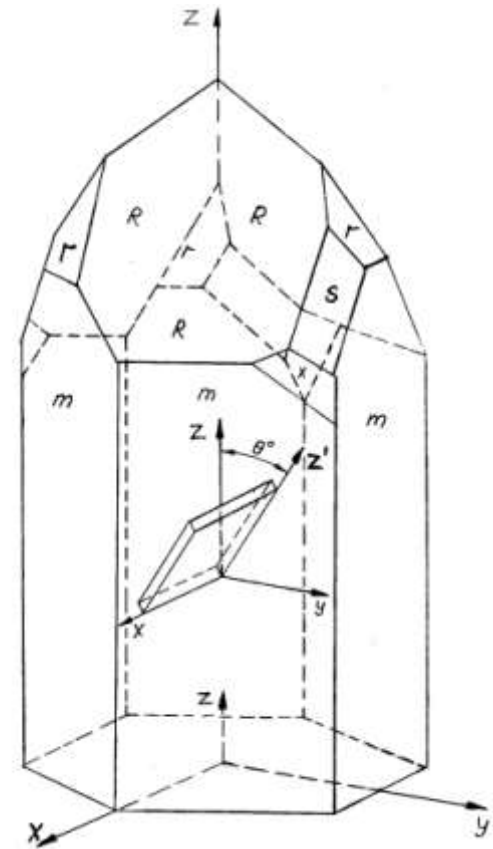


Българска Академия на Науките
Институт по Физика на Твърдото Тяло
лаборатория “Акустоелектроника”

*Кварцови температурни
резонансни сензори*

Кристаллофизически свойства

- Location of AT-cut in rectangular coordinates





$$f = \frac{1}{2h} \sqrt{\frac{c'_{66}}{\rho}}$$

$$f(t) = f_0 \left[1 + \sum_{n=1}^3 T_f^{(n)} (t - t_0)^n \right]$$

$$C(t) = df/dt$$

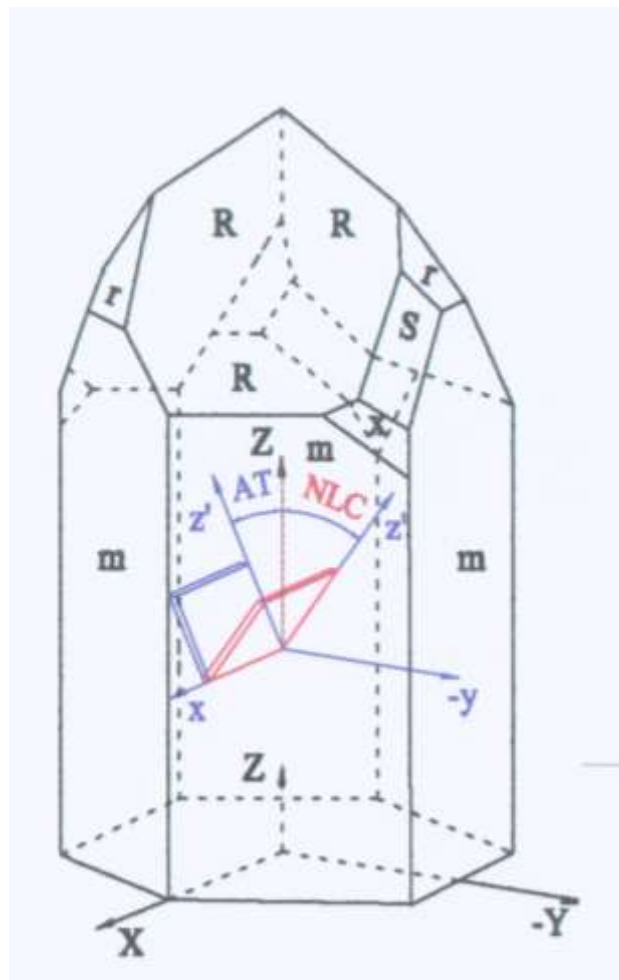
Температурно-честотна зависимост (Y-срез)

- За резонатори със завъртян Y-срез ТЧХ в интервала от -200 С до +200 С може добре да се представи с полином от трета степен (*),

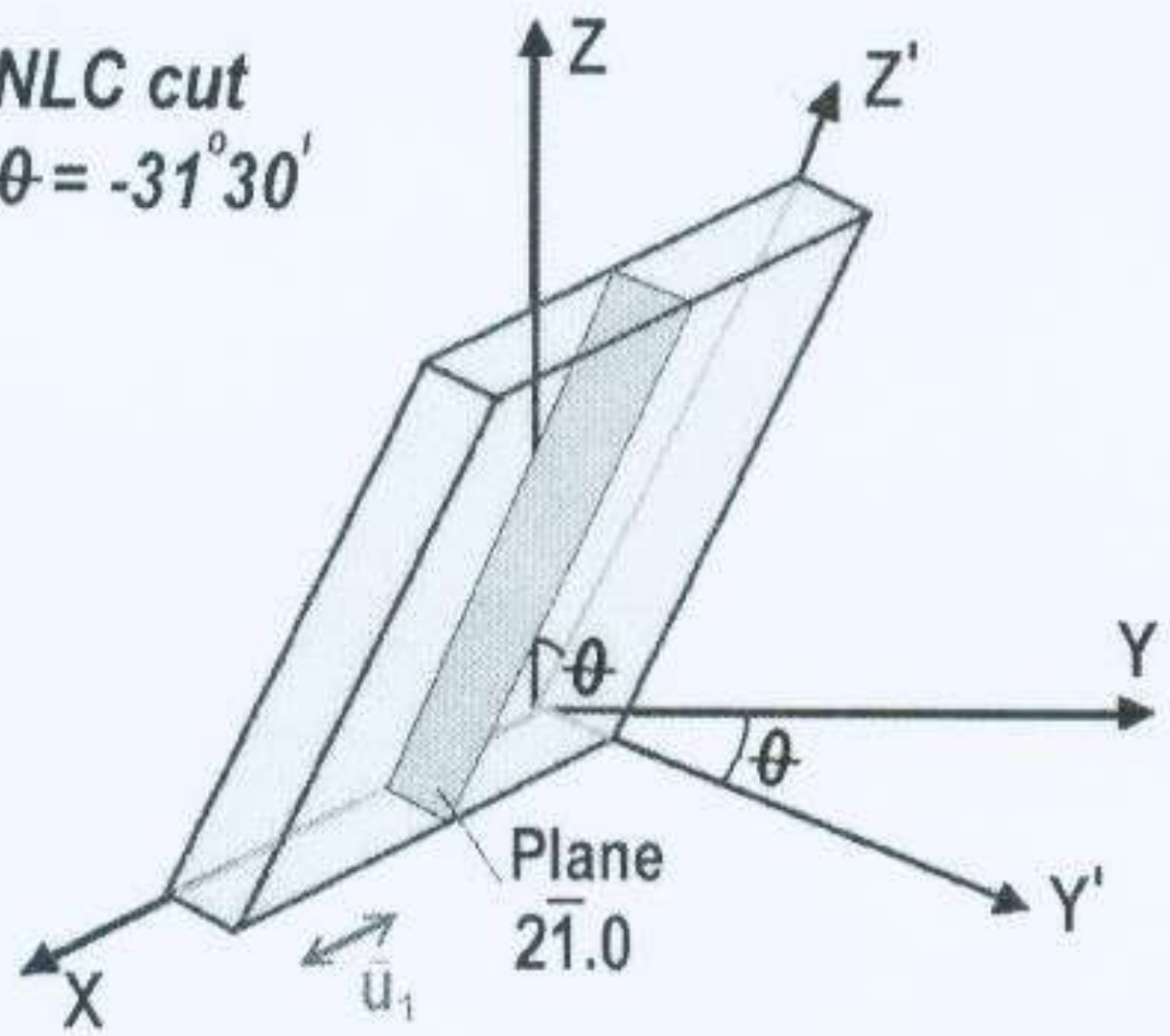
$$f(t) = f_0 [1 + T^{(1)}(t-t_0) + T^{(2)}(t-t_0)^2 + T^{(3)}(t-t_0)^3]$$

(*) Бекман и др.

NLC -нов срез в кварца

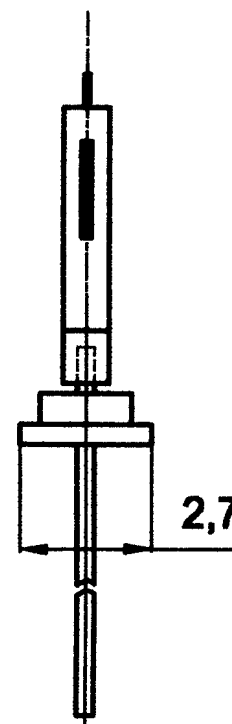
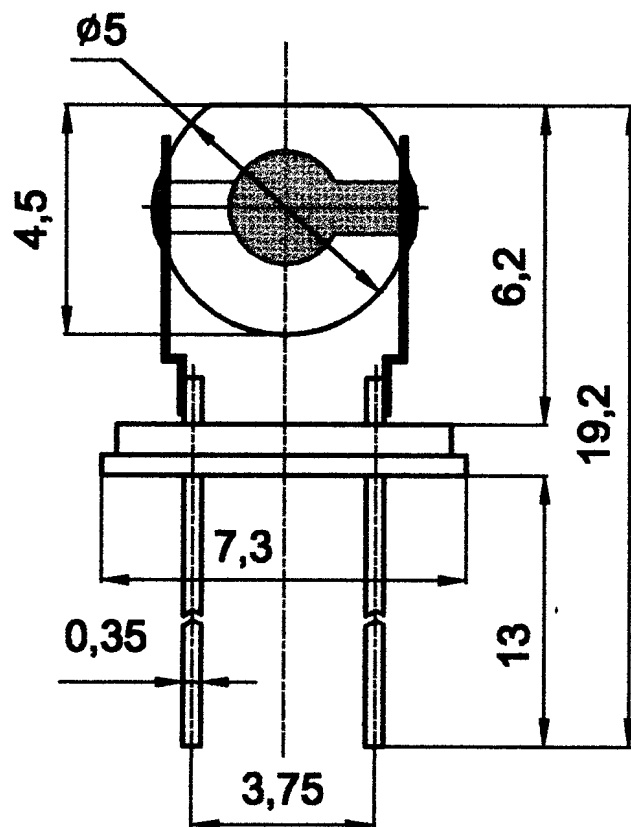


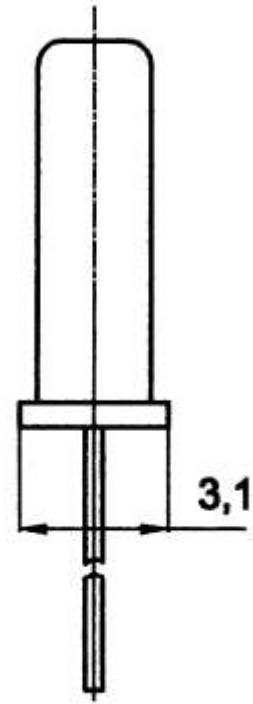
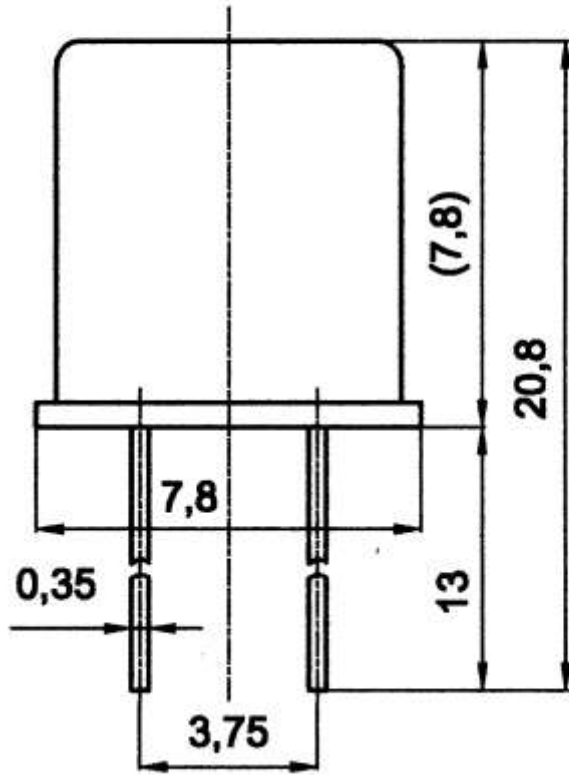
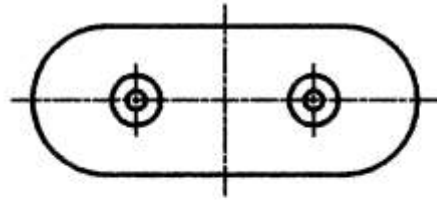
NLC cut
 $\theta = -31^{\circ}30'$



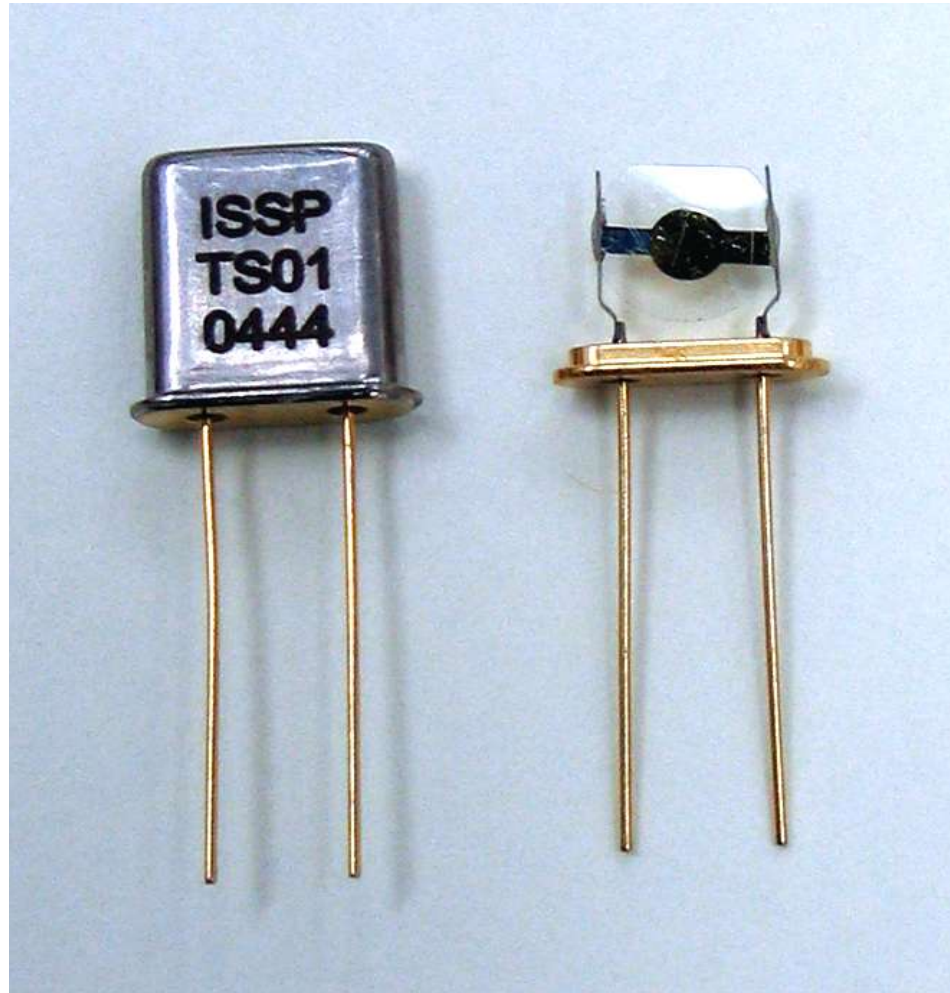


*Кварцов резонатор NLC- срез
монтиран в HC48U корпус*





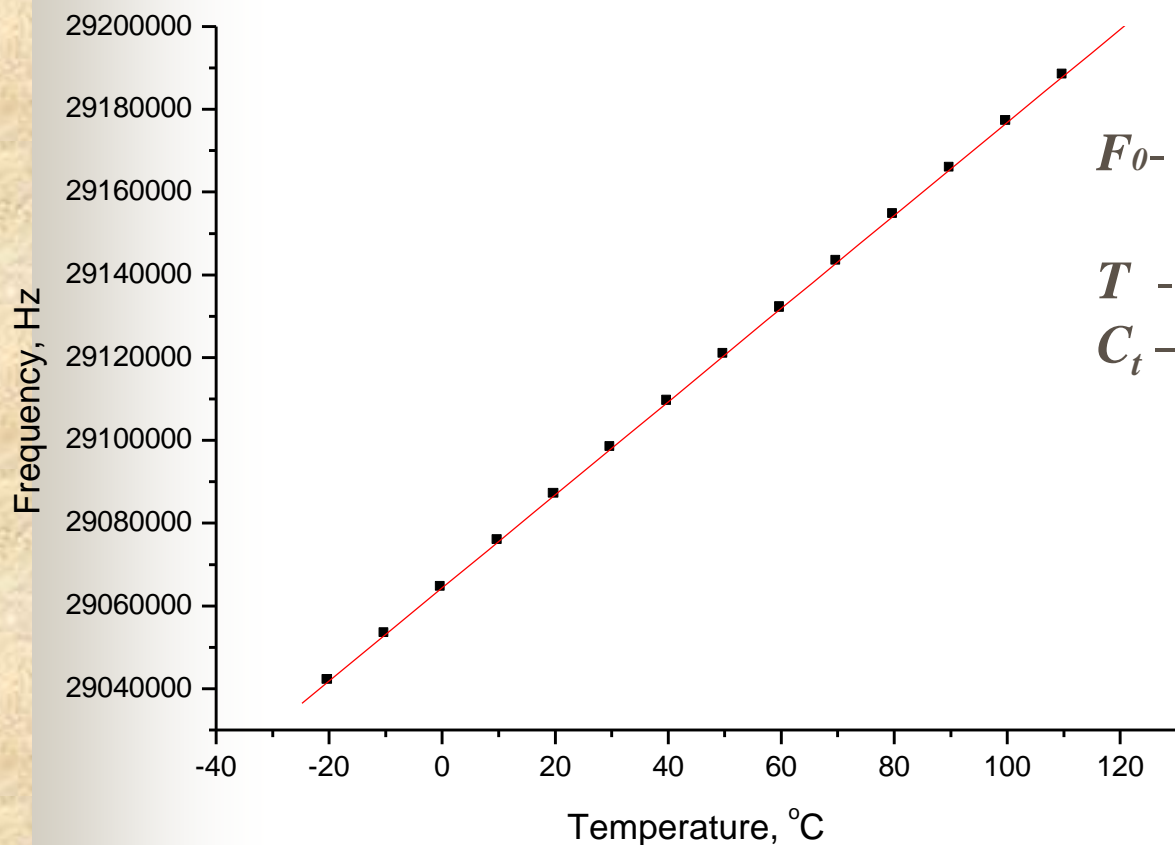
THERMOSENSITIVE QUARTZ RESONATORS





Температурно-честотна характеристика на *KTC* в интервала от минус 20°C до 110°C

$$F(T) = F_0 + C_t \cdot T$$

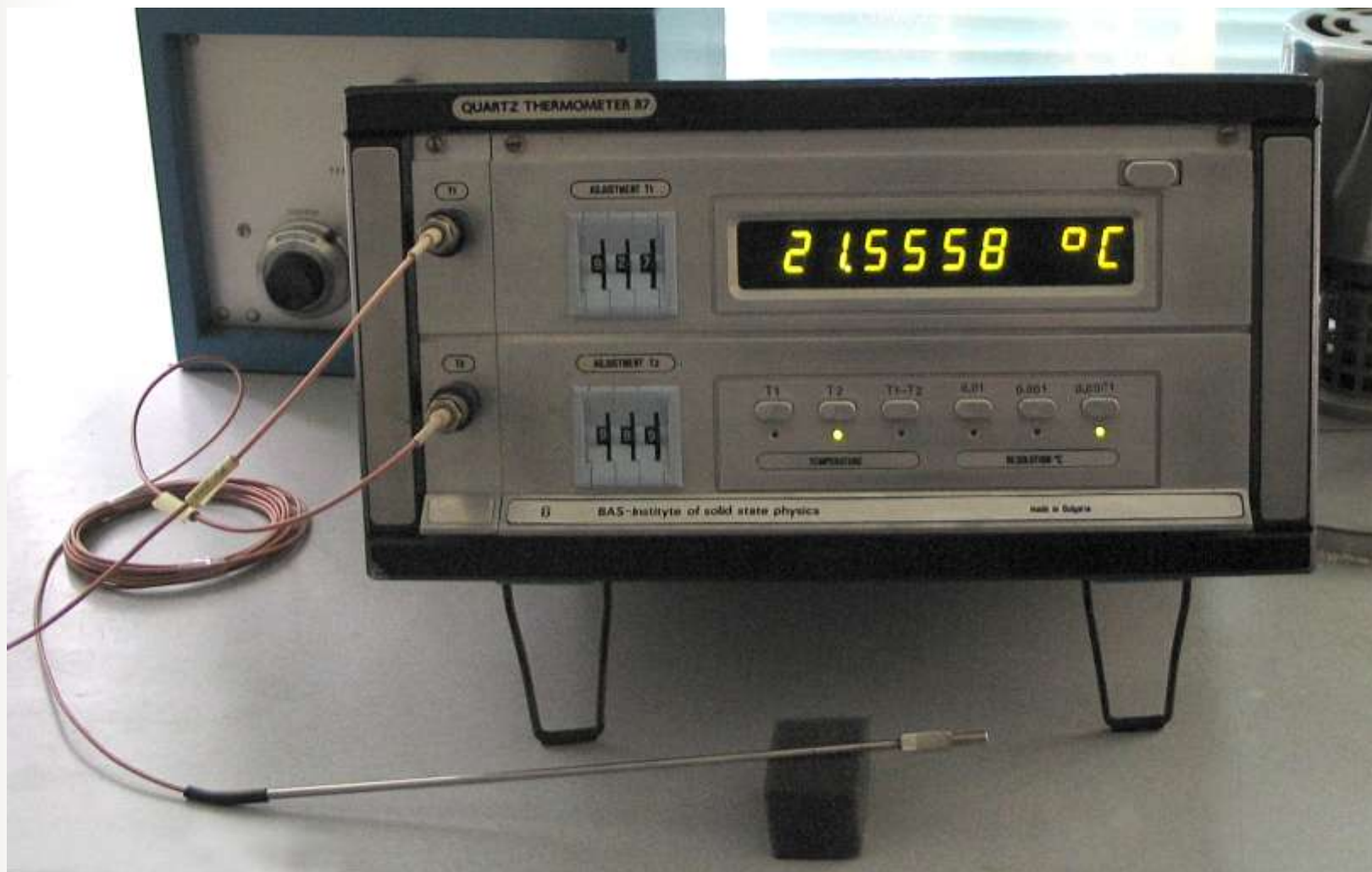


F_0 - резонансната честота в Hz при температура $0^\circ C$;
 T - температурата при $0^\circ C$;
 C_t - температурната чувствителност в $Hz / ^\circ C$ в работния интервал

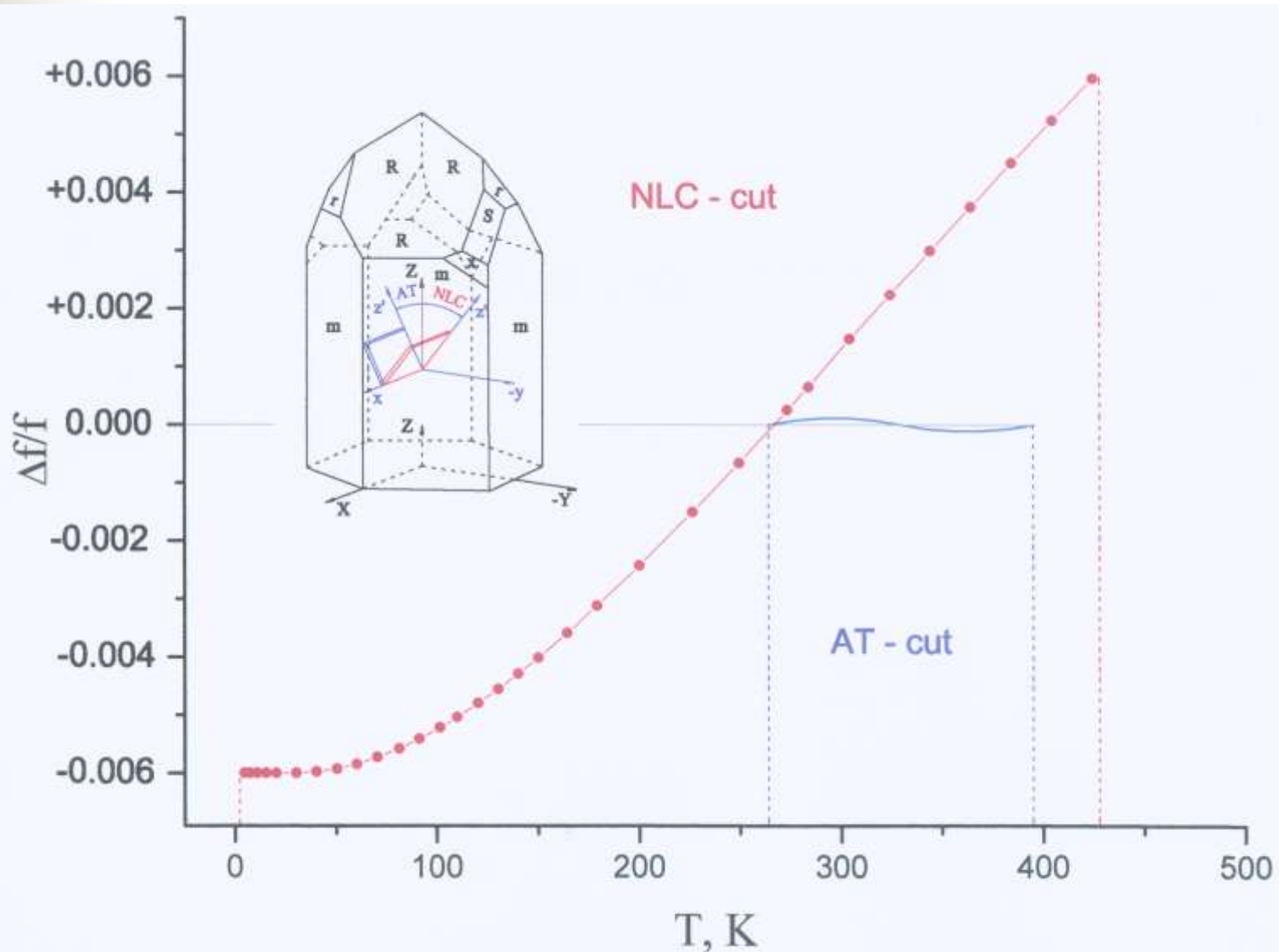
Кварцов термометър (ИФТТ-БАН)



Кварцов термометър (ИФТТ-БАН)



NLC -нов срез в кварца с висока температурна чувствителност



*Криогенни системи за втечняване на
газове - He, H, O₂, N₂*

QTS application
for **measurement**
of temperature at
Cryogenic
complex, **JINR,**
Dubna, Russia



QTS
application for
measurement
of Helium
flow at
Nuclotron
accelerator,
JINR, Dubna,
Russia





Shared-cost RTD Contract
“Multi-channel Measurement and Control System based on Resonant
Piezoelectric Crystal Sensors” (QxSens)

Shared-cost RTD Contract

Contract number: G6RD-CT-2002-00648
Proposal number: GRD1-2001-41816
Project acronym: **QxSens**

Starting date: June 1, 2002

Duration: 36 Month

Total Eligible Cost: **EUR 1 809 077**

EC Contribution: **EUR 1 344 900**

Project Co-ordinator: Vienna University of
Technology, Institute für Allgemeine

Project Sub-coordinator

for Bulgarian partners: Bulgarian Academy of Sciences,
Institute of Solid State Physics



Contractors:

Vienna University of Technology, Institut fuer Allgemeine Physik, *Vienna, Austria* (P1)

**VEcole Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques;
Laboratoire de Chronométrie, Electronique et Piézoélectricité, *Besancon, France* (P2)**

Institute of Solid State Physics - BAS, *Sofia, Bulgaria* (P3)

Flucon Fluid Control GmbH, *Clausthal-Zellerfeld, Germany* (P4)

Piezoquartz Ltd., *Sofia, Bulgaria* (P5)

Point L-Bulgaria Ltd., *Sofia, Bulgaria* (P6)

Institute of Cryobiology and Lyophilization,, *Sofia, Bulgaria* (P7)

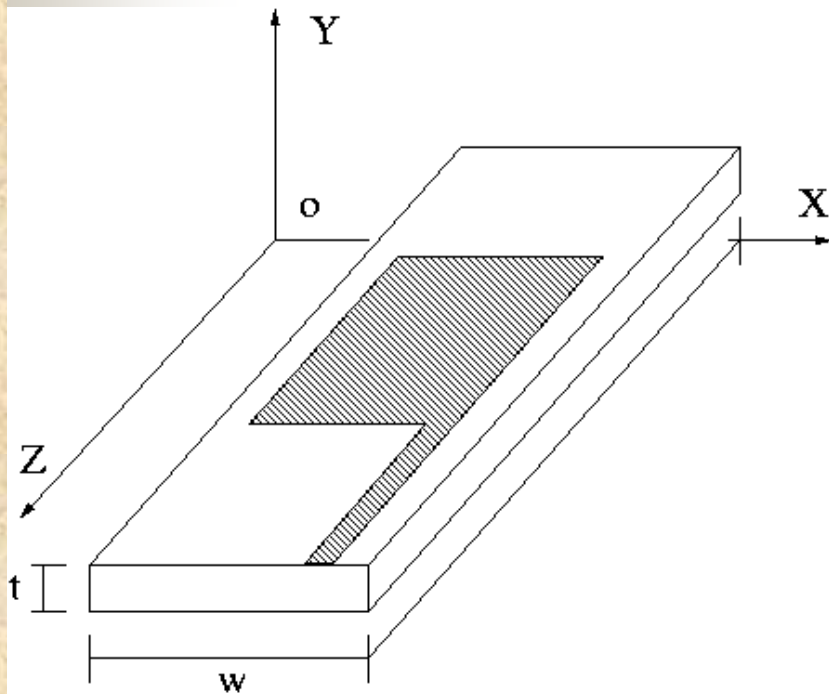
AVL List GmbH, *Graz, Austria* (P8)

Lenzing AG, *Lenzing, Austria* (P9)



Strip resonator design

- Theory known in 2D
- Smaller dimensions
- **w/t must be finely controlled**
- Needs control of edge quality
- Smaller Q factor
- Temperature behavior and activity-dips ?



typical dimensions : $l = 9 \text{ mm}$; $0.1 \text{ mm} < t < 0.2 \text{ mm}$; $w/t \# 15$

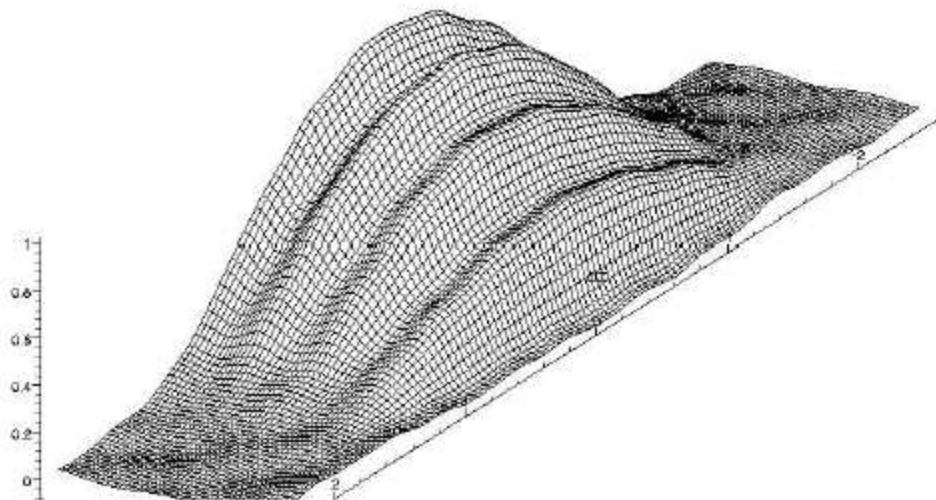


THERMOSENSITIVE QUARTZ RESONATORS



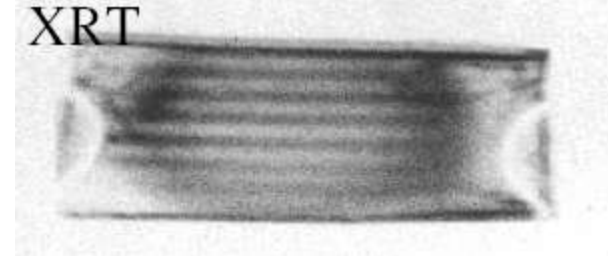
Checking FEA simulations with X-ray topography for strip type

FEA simulation

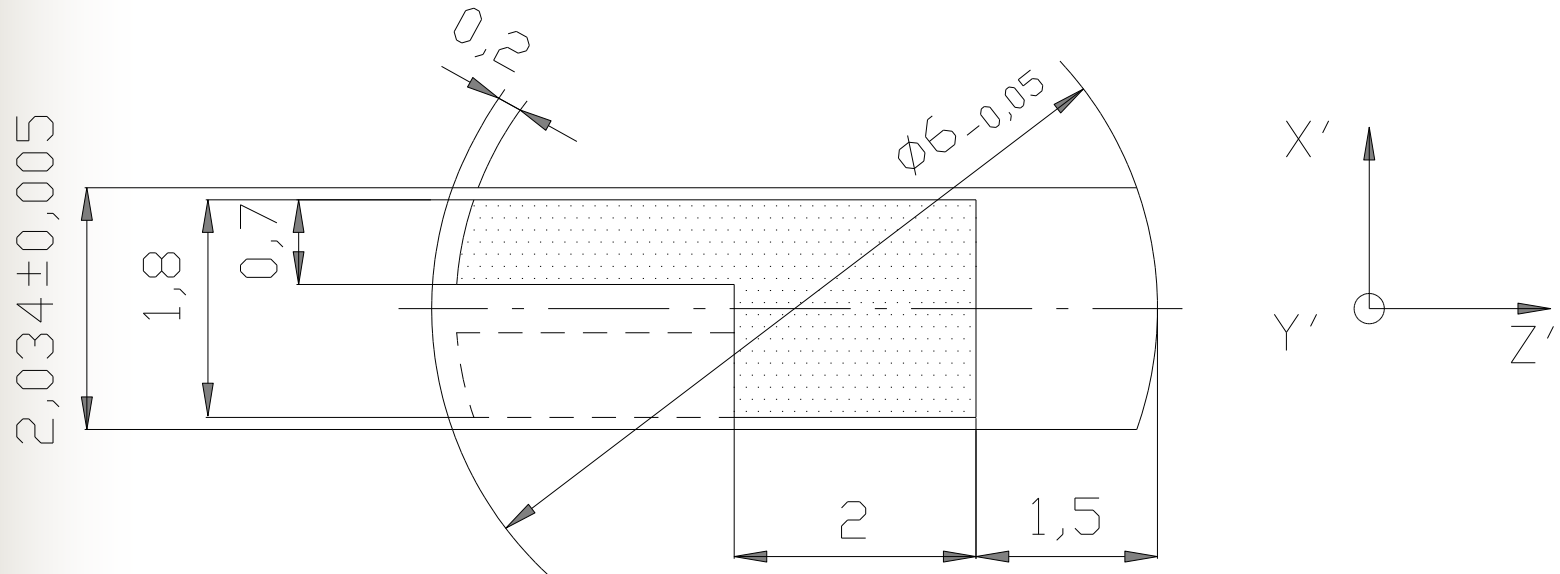


X-ray topography

XRT

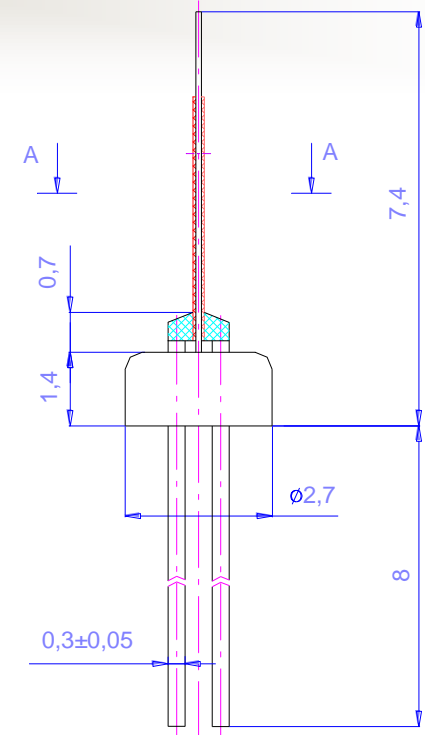
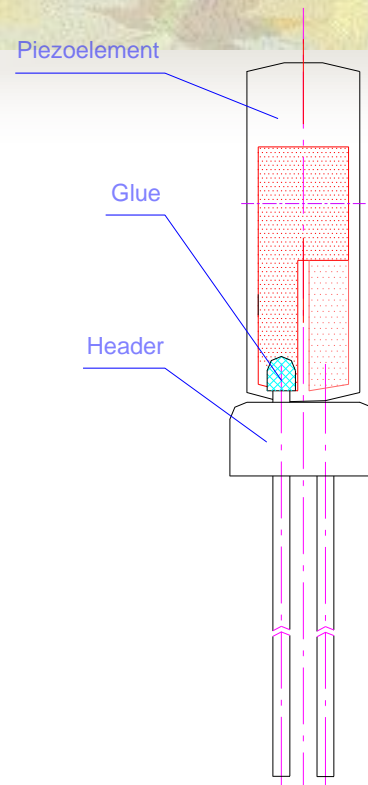


Piezoelement design of Strip QT sensor

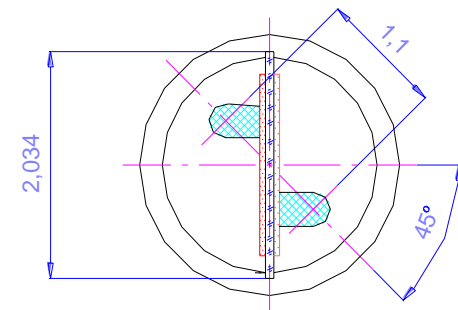




*Нов **лентов**
кварцов
резонатор
NLC- срез
монтиран в
HC48U корпус*



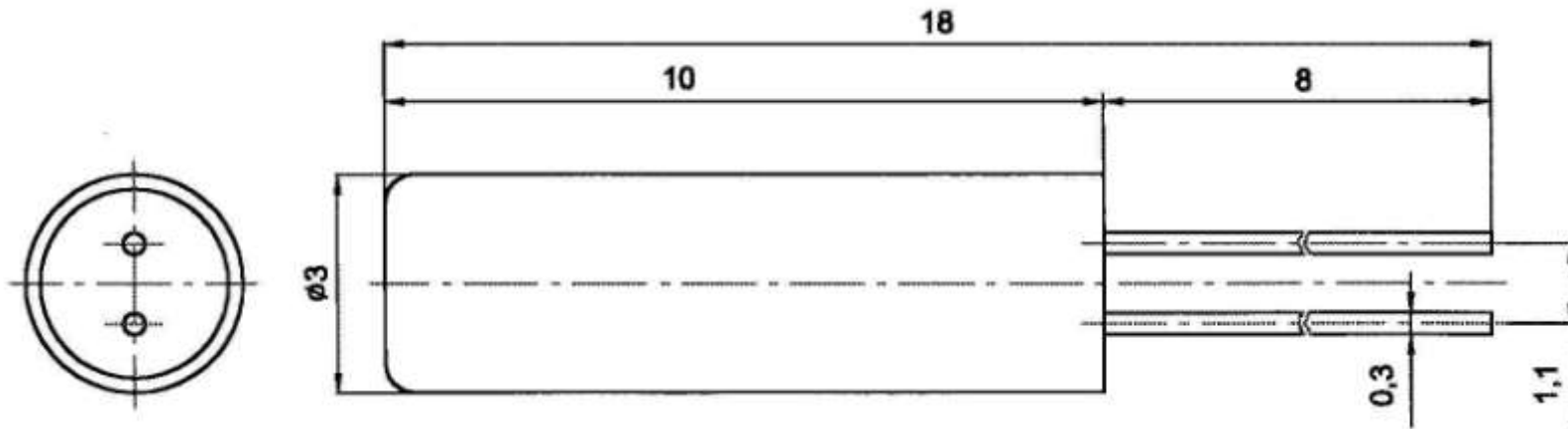
A - A
M20:1



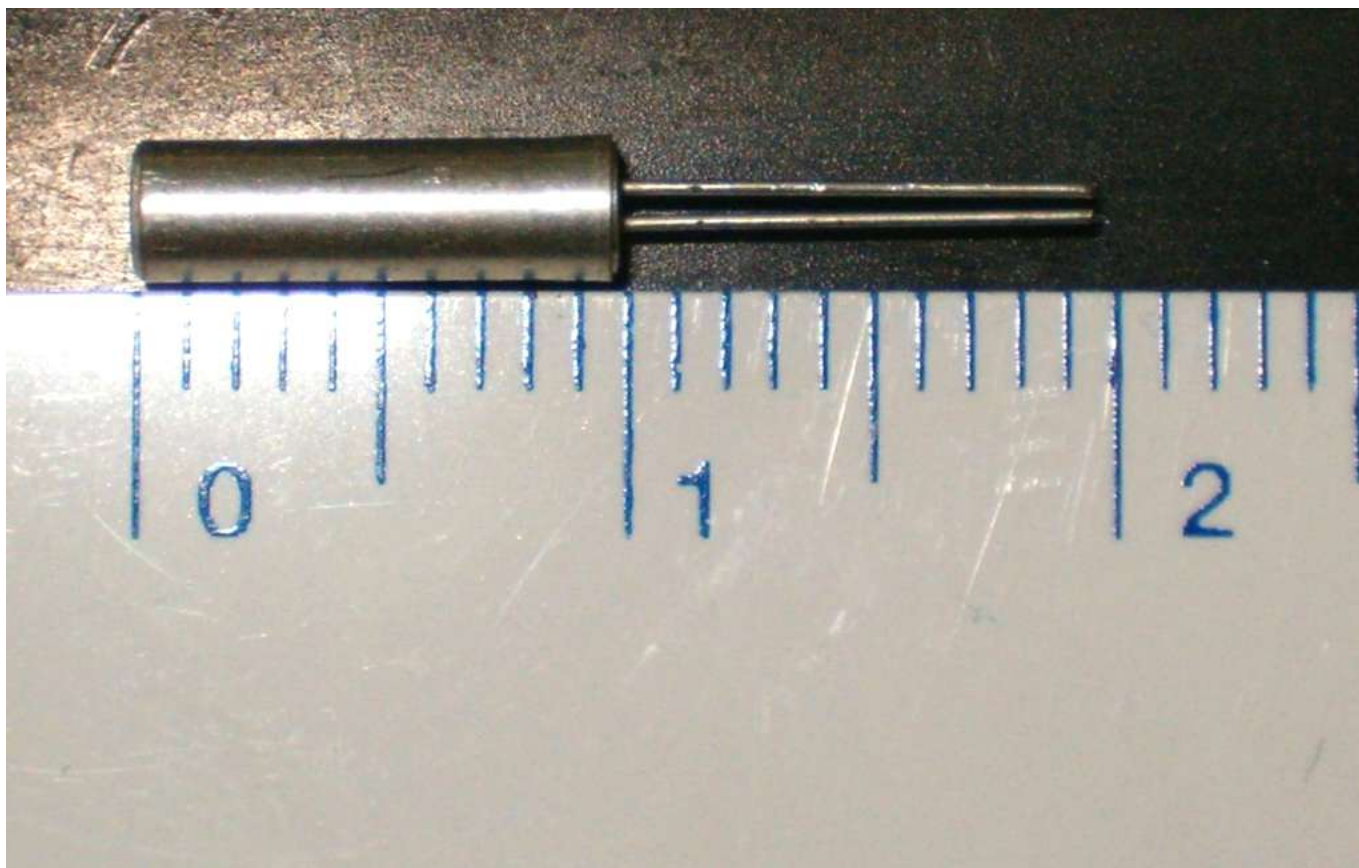
QUARTZ TEMPERATURE SENSOR (QTS) QTS02 0445

91

Package and dimensions – *Package Type TU39*



Кварцови температурни сензори (КТС)

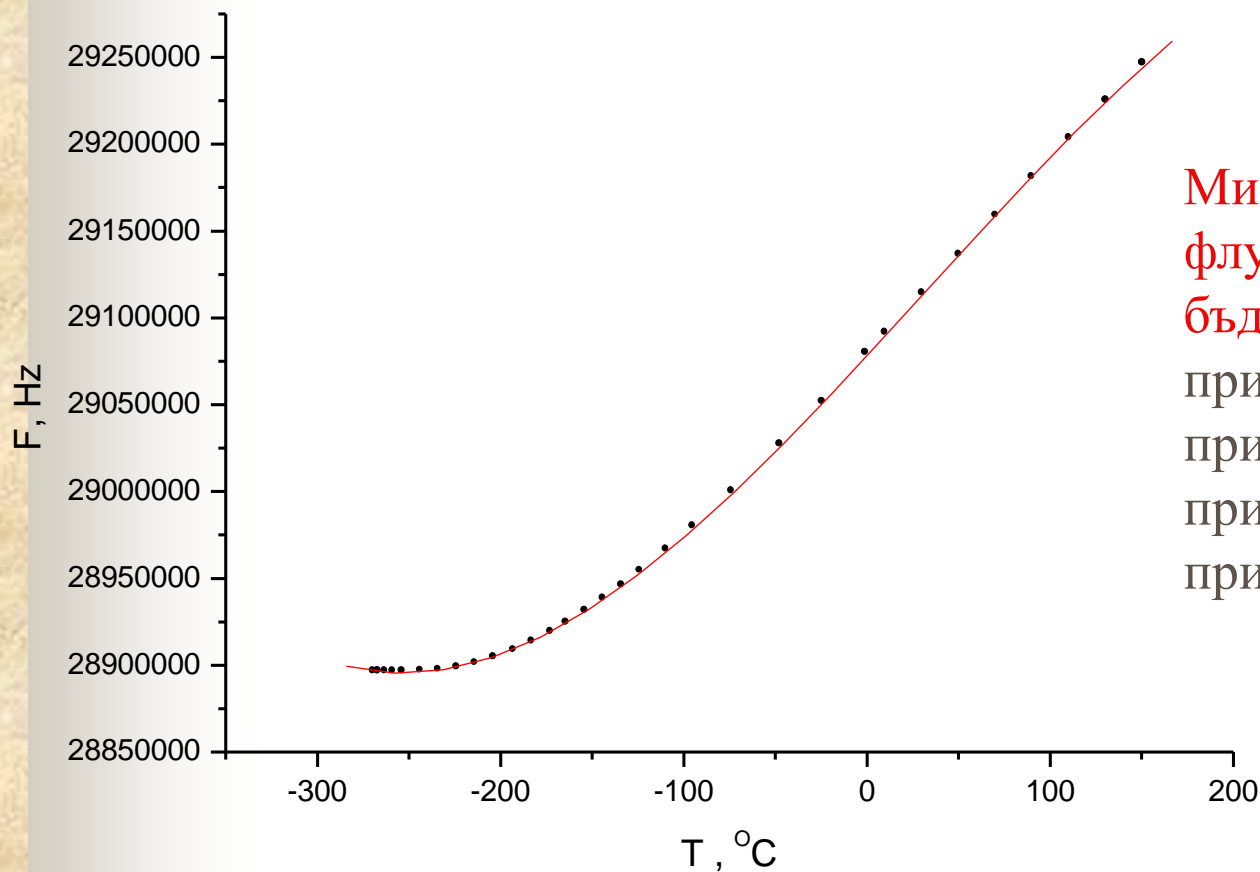


Миниатюризация на КТС





Температурно-честотна характеристика на *KTC* в интервала от 4,2К до 430К



Минимални температурни флукутации които могат да бъдат регистрирани :

при 4,2К, $\Delta T_{\min} = 50\text{mK}$,

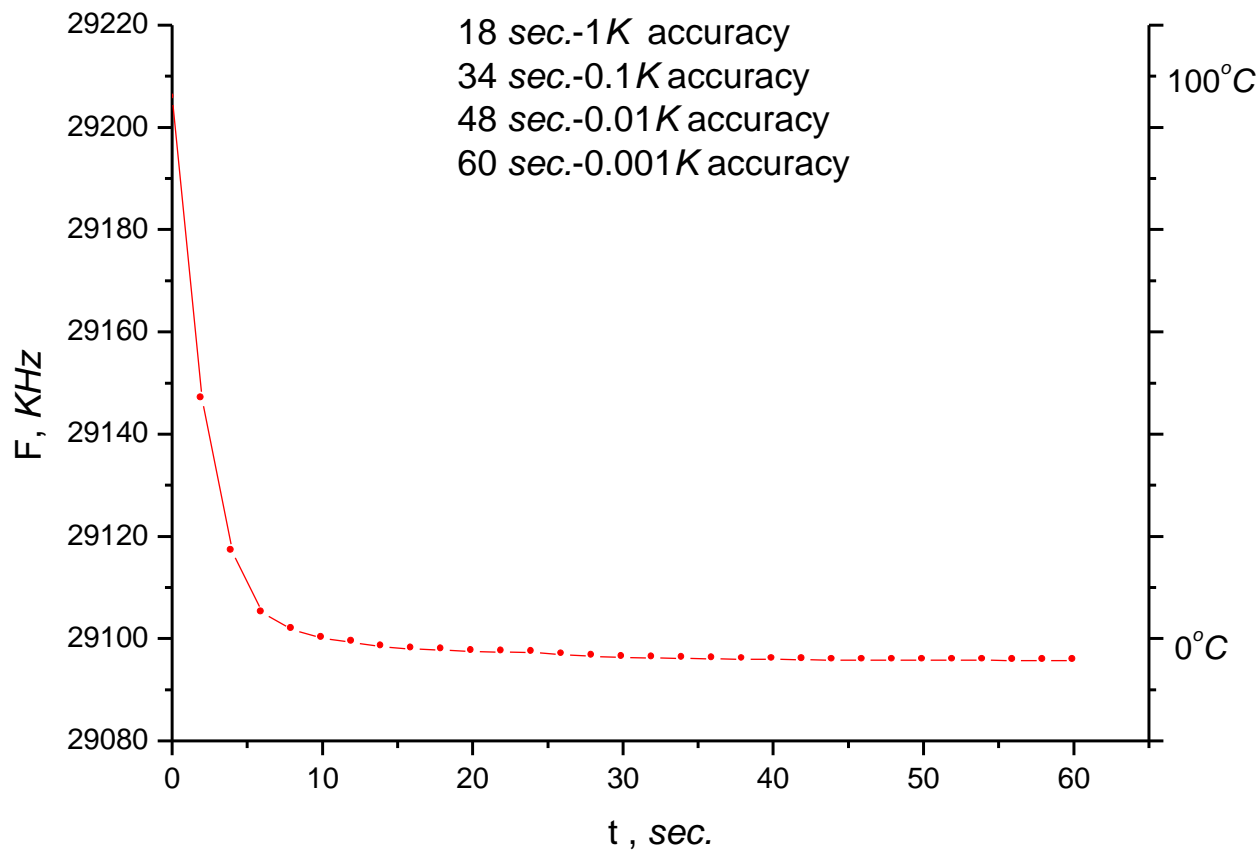
при 20 К, $\Delta T_{\min} = 8\text{ mK}$,

при 130 К, $\Delta T_{\min} = 0,12\text{ mK}$,

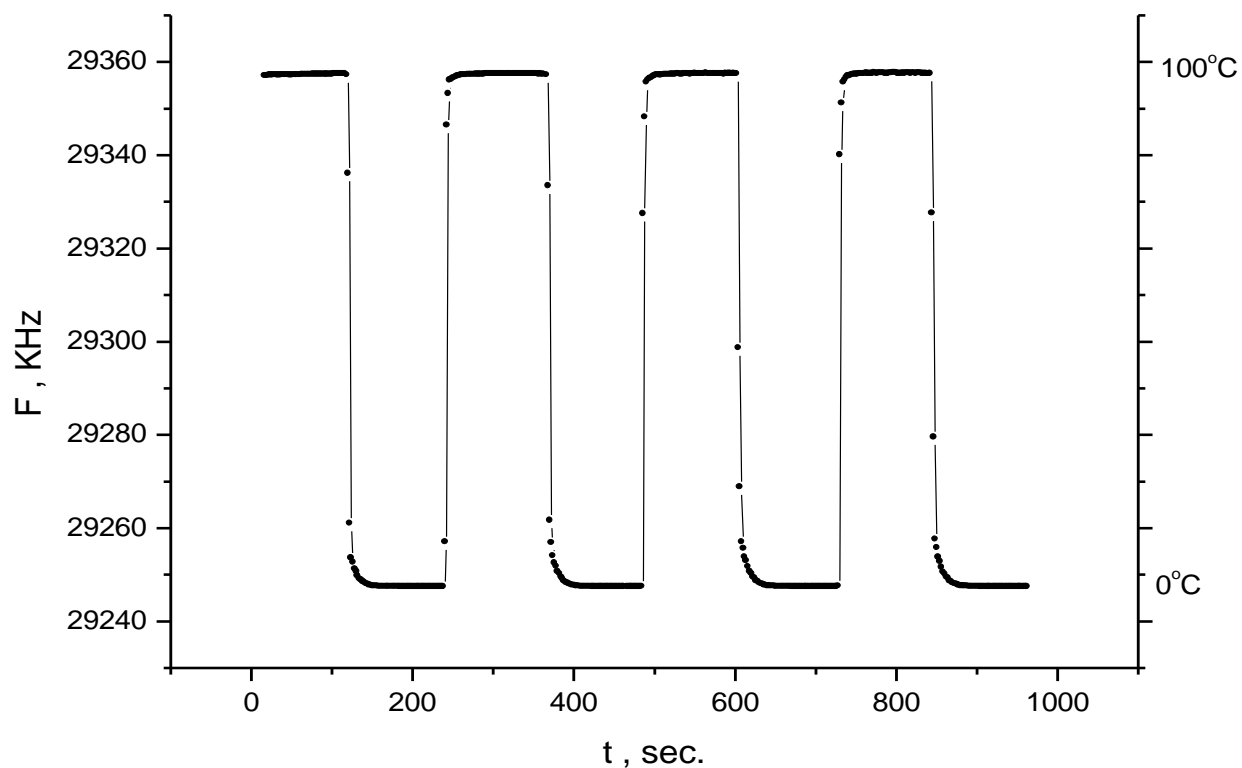
при 300 К, $\Delta T_{\min} = \mathbf{0.085\text{ mK}}$



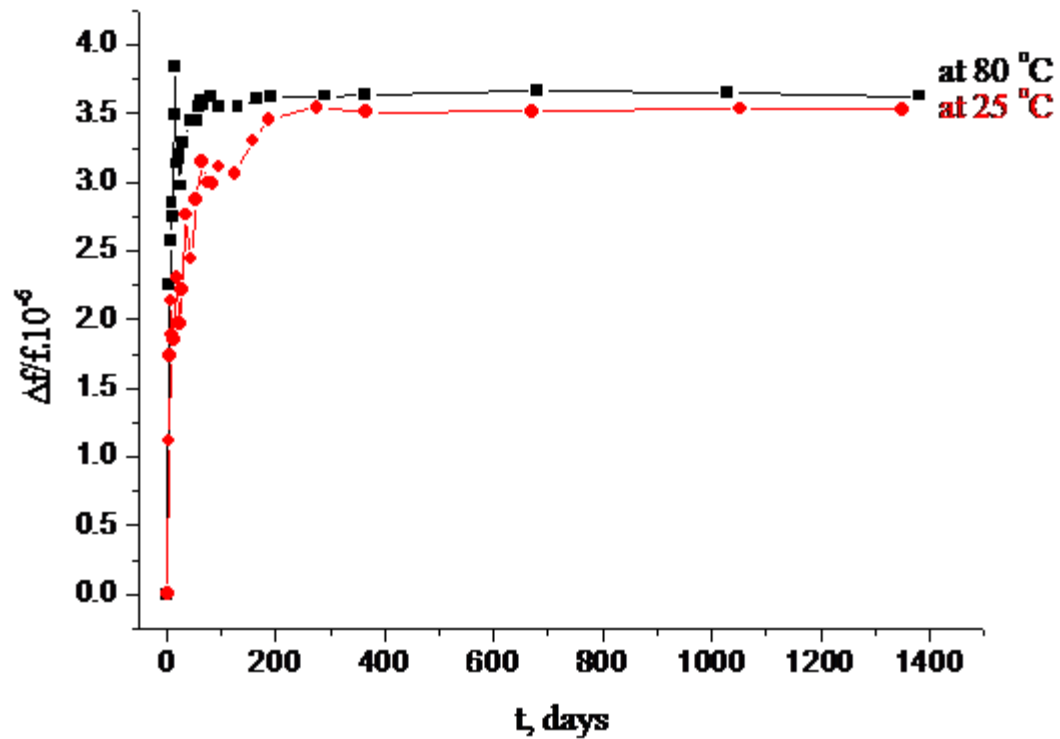
Времеконстанта (време за отклик) на КТС (QTS02 strip type)



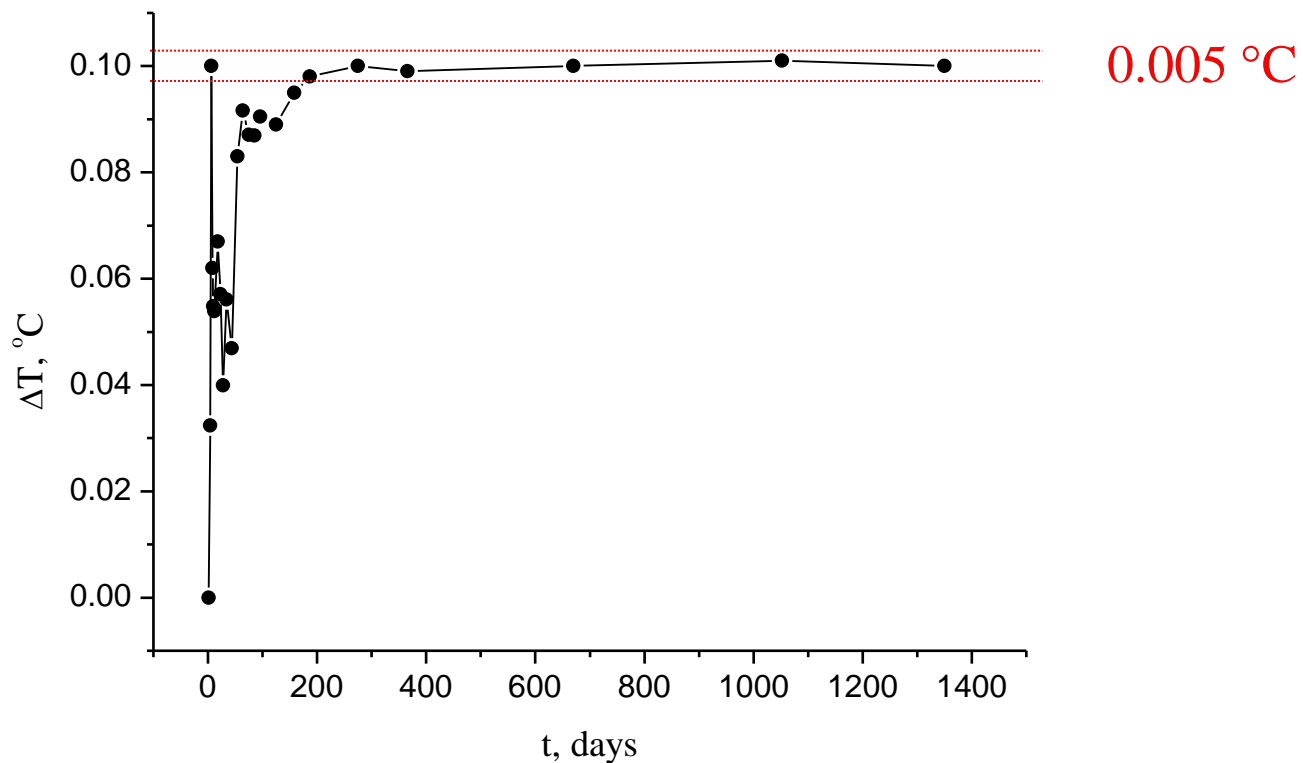
Времеконстанта на QTS02 при **циклична промяна** на температурата от **0°C** на **100°C**



Дълговременна стабилност на резонансната честота в продължение на 1400 days



Дълговременна стабилност на КТС в °C в продължение на 1400 days



Цирцова температурна сонда

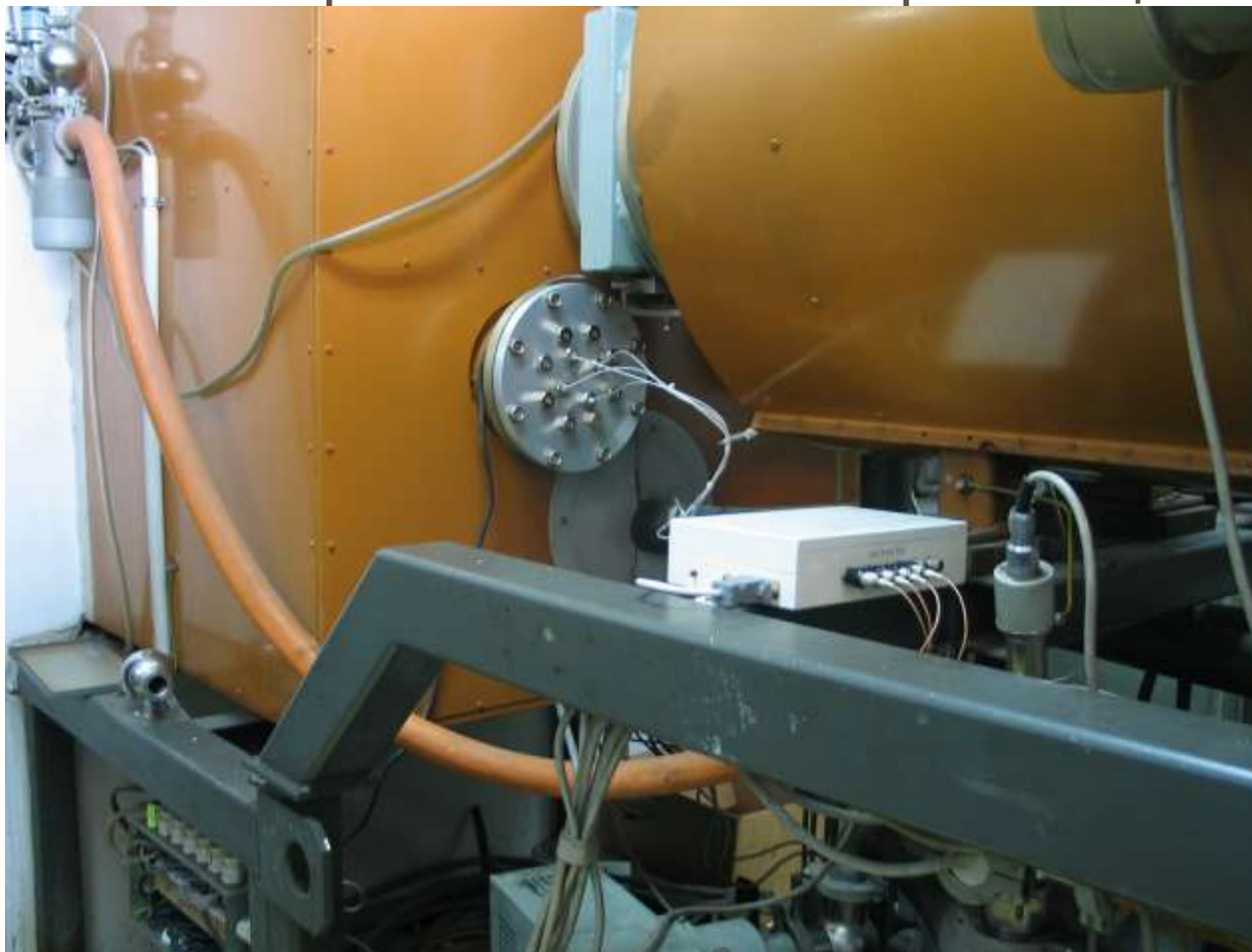


Прецизни температурни сонди





Многоканален кварцов генератор в система за
лиофилизация TG 16.50 в Институт по
криобиология и лиофилизация





Камера за лиофилизация

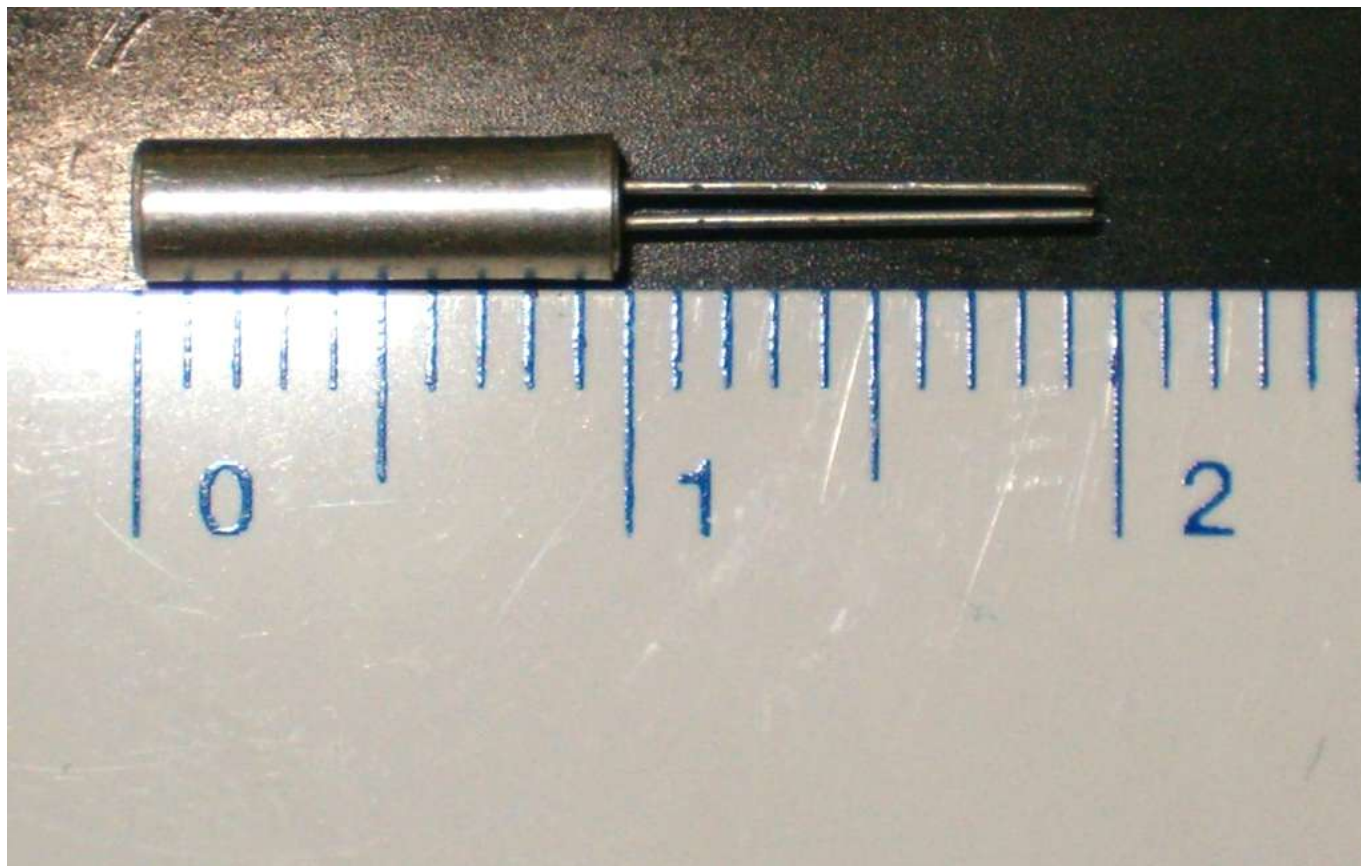




Директен температурен контрол с КТС



*Предимства на разработените
кварцови температурни сензори*





Предимства на КТС и перспектива

- Висока чувствителност (достигаща до 0.0002°C)
 - Висока абсолютна точност (до 0.005°C) *
 - Широк динамичен интервал ($4.2\text{K} \div 420\text{K}$)
включително криогенни температури
 - Независимост от силни електрични, магнитни и
радиационни полета
 - Изходен сигнал много удобен за цифрова
обработка на информацията
 - Дълговременна стабилност, гарантираща
надеждна работа на сензорите в продължение на
повече от 10 години без допълнителна калибровка
- (*) В зависимост от точността на системата за калибриране



THERMOSENSITIVE QUARTZ RESONATORS

The new quartz temperature sensor



*Механична обработка на кварц- рязане,
шлайфане и полиране*



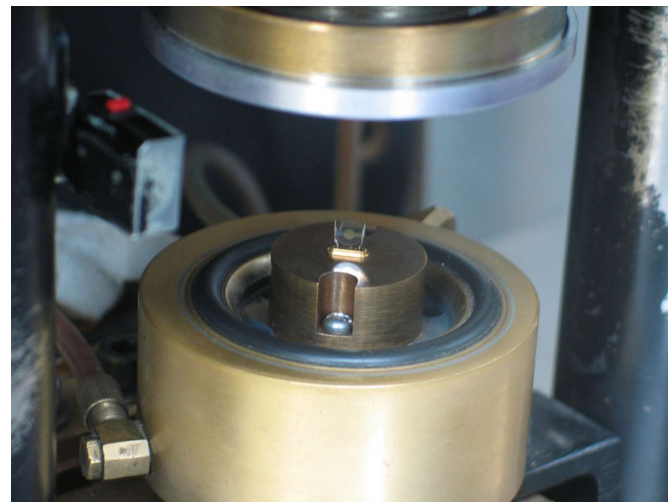
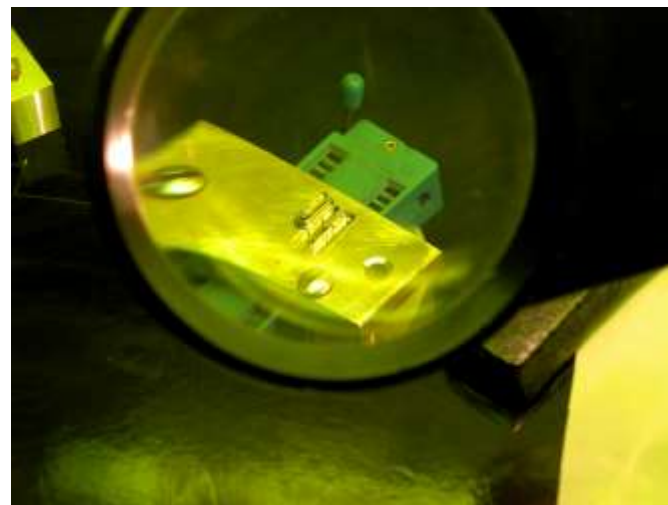
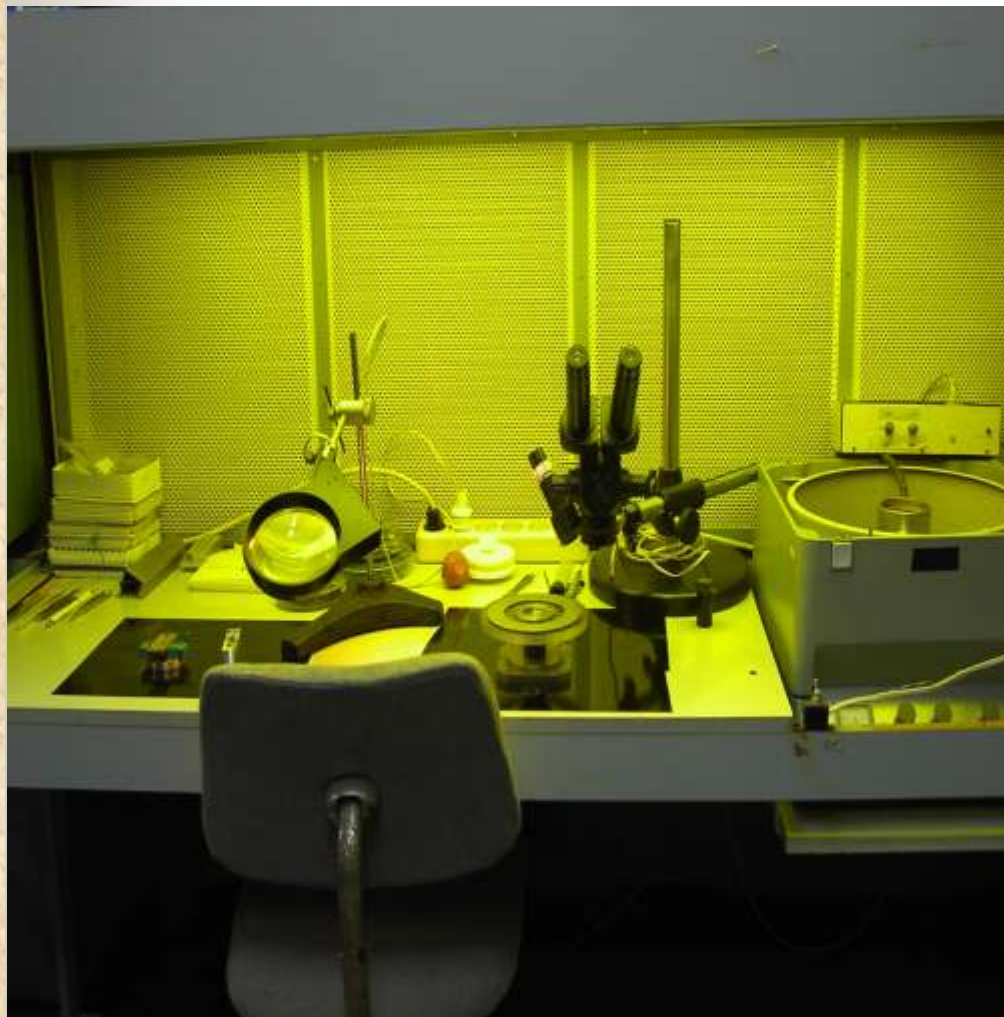
*Рентгенова ориентация на кварцови
кристали и пластини*

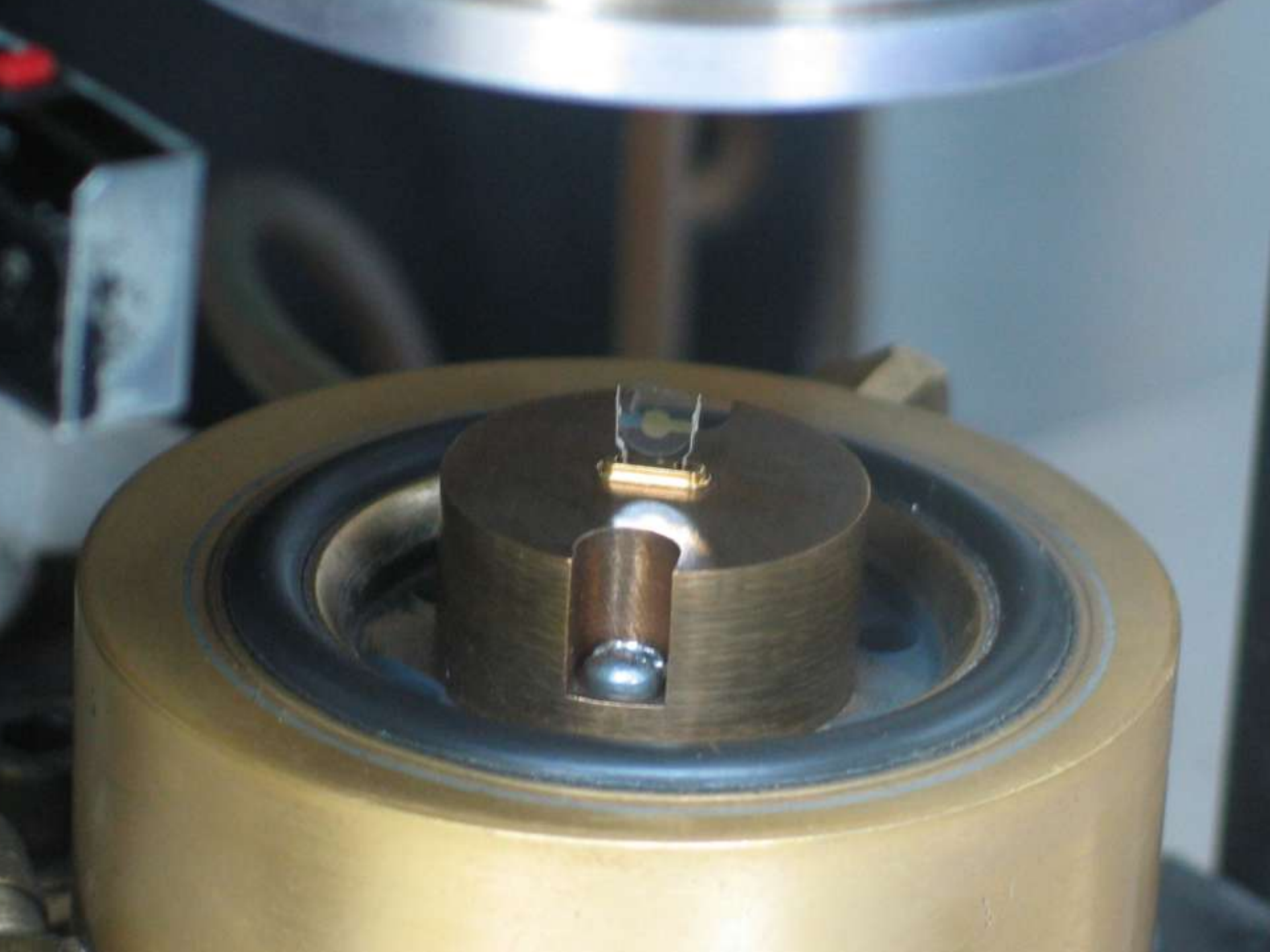


Вакуумно отлагане на тънки слоеве



Монтаж и затваряне на пиезоелементи





*Параметричен контрол на резонаторните
характеристики*



Температурен контрол и калибриране на КТС





Institute of Solid State Physics
Bulgarian Academy of Sciences
Acoustoelectronics Laboratory

Page 3 of 3

CERTIFICATE
for calibration

Issue 01

AE.QD.00.01.18

The relation between F and T is expressed as:

$$F = F_0 + K_1 T + K_2 T^2 + K_3 T^3$$

Where :

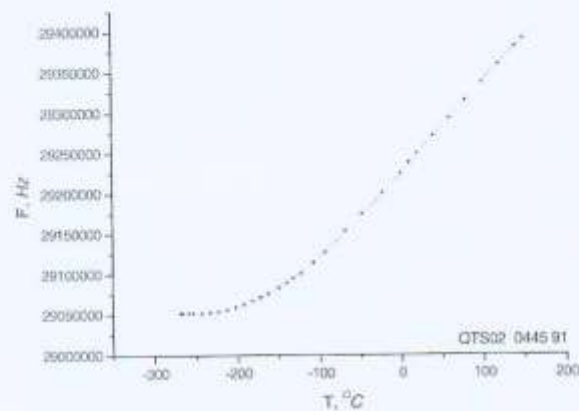
$F_0 = 29224900.0$ is the frequency in Hz at temperature $0^\circ C$;

$K_1 = 1126.39349$;

$K_2 = 0.51225$;

$K_3 = -0.00484$ are the polynomial coefficients.

Temperature-Frequency Characteristic





Institute of Solid State Physics
Bulgarian Academy of Sciences
Acoustoelectronics Laboratory

Page 1 of 3

CERTIFICATE
for calibration

Issue 01

AE QD 00.01.18

Applicant	Institute of Solid State Physics (ISSP) Bulgarian Academy of Sciences (BAS) 72 Tzarigradsko chausee blvd. 1784 Sofia
Item	Quartz temperature sensor (QTS) Manufacturer: ISSP-BAS Type: Thermosensitive quartz resonator Identification number: QTS02 0445 91
Calibration Procedure	The thermometer has been calibrated in a liquid baths by comparison with primary and secondary standard thermometers. After the highest temperature has been reached, measurement was repeated at 0 °C
Calibration Period	February-March 2007.
Results	The result of calibration is given on page 2. The reported uncertainty is based on the standard uncertainty multiplied by a coverage factor of $k=2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.
Traceability	The calibration services of the Acoustoelectronics Laboratory (ISSP-BAS) are traceable to a primary and/or (inter) national accepted measurement standards

Carried out by

Approved by

/V.Gadjanova/

26.03.2007, Sofia

/Prof. L.Spassev/



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЪЛО
• Академик Георги Ноджиков •

КОНСТРУКТИВНА ДОКУМЕНТАЦИЯ

Производство на термочувствителни
кварцови резонатори – лентов тип
TS02

Октомври 2004

Ръководител на проекта:

/ ст.н.с. | ст. Л. Спасов /



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF SOLID STATE PHYSICS

• Georgi Nadjakov •

72, Tzarigradsko Chaussee Blvd.
1784 Sofia, BULGARIA
Fax: (+359 2) 975 36 32
e-mail: director@isp.bas.bg

© Director: (+359 2) 71 44 001
Administration: (+359 2) 875 80 61
Chief Accountant: (+359 2) 875 50 59

ТЕХНОЛОГИЧНА ДОКУМЕНТАЦИЯ

Производство на термочувствителни кварцови
резонатори – плоско- паралелен дисков и
лентов тип

Октомври 2004

Ръководител на проекта: *[Signature]*
/член кор. Л. Спасов/





ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

авторско свидетелство

№ 44694 МПК Н 04 R 17/00

На основание чл. 22 от Закона за изобретенията и рационализациите Институтът за изобретения и рационализации на РБ издава това авторско свидетелство на

ЛОЗАН СПАСОВ СЛАВОВ

за изобретението КВАРЦОВ РЕЗОНАТОР

съгласно приложеното описание и чертежи с приоритет от 07.10. 1987 год.

Ползувател: ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТЪВРДОТО ТЯЛО "ГЕОРГИ НАДЖАКОВ", СОФИЯ

Внесено в държавния регистър на заявките за изобретения рег. № 81377 /1987 год. Действието на авторското свидетелство се разпростира по цялата територия на РБ.

София, 15.12. 1997 год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР:



ПАТЕНТНО ВЕДОМСТВО
на Република България

ПАТЕНТ

ЗА

ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ *65937*

Костадин Манев
председател

Дата:

24.08.2010

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ



(19) **BG**

(11) **65937 B1**

(51) Int. Cl.

H 03 H 9/19 (2006.01)

G 01 K 7/32 (2006.01)

H 04 R 17/00 (2006.01)

ОПИСАНИЕ КЪМ ПАТЕНТ

ЗА

ИЗОБРЕТЕНИЕ

ПАТЕНТНО ВЕДОМСТВО

(21) Заявителски № 109232

(22) Заявено на 18.07.2005

(24) Начало на действие
на патента от:

Приоритетни данни

(31)

(32)

(33)

(41) Публикувана заявка в
бюлетин № 1 на 31.01.2007

(45) Отпечатано на 31.05.2010

(46) Публикувано в бюлетин № 5
на 31.05.2010

(56) Информационни източници:

(62) Разделена заявка от заяв. №

(73) Патентоприитежател(и):

ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО
ТЯЛО "АКАДЕМИК ГЕОРГИ
НАДЖАКОВ" - БАН

1784 СОФИЯ, БУЛ. "ЦАРИГРАДСКО
ШОСЕ" 72

(72) Изобретател(и):

Лозан Спасов Славов
София (BG)

Бернард Мари Клауд Дюлмет
Г 2500 Безансон (FR)

(74) Представител по индустриална собственост:

(86) № и дата на РСТ заявка:

(87) № и дата на РСТ публикация:

(54) КВАРЦОВ ТЕМПЕРАТУРЕН СЕНЗОР И МЕТОД ЗА ПРОИЗВОДСТВОТО МУ

(57) Кварцовият температурен сензор и методът за производството му намират приложение за измерване на температури в широк температурен диапазон, включително криогенни температури, като отпа-



Резултатите от изследванията върху КТС и техните приложения, са:

- **предсавени на повече от 25 наши и международни научни форуми**
- **отразени в повече от 40 публикации**
- **2 патента и**
- **успешно защитени 2 докторски дисертации**
- **1 доктор на физическите науки.**

ртцова температурна сонда



