

5b.

Senzory SAW

(Senzory s povrchově akustickou vlnou)

Přednášející: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

husak@fel.cvut.cz,

<http://micro.fel.cvut.cz>

tel.: 2 2435 2267

Cvičící:

Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

Ing. Alexandr Laposa, Ph.D.

A) Princip SAW

(Surface Acoustic Wave)

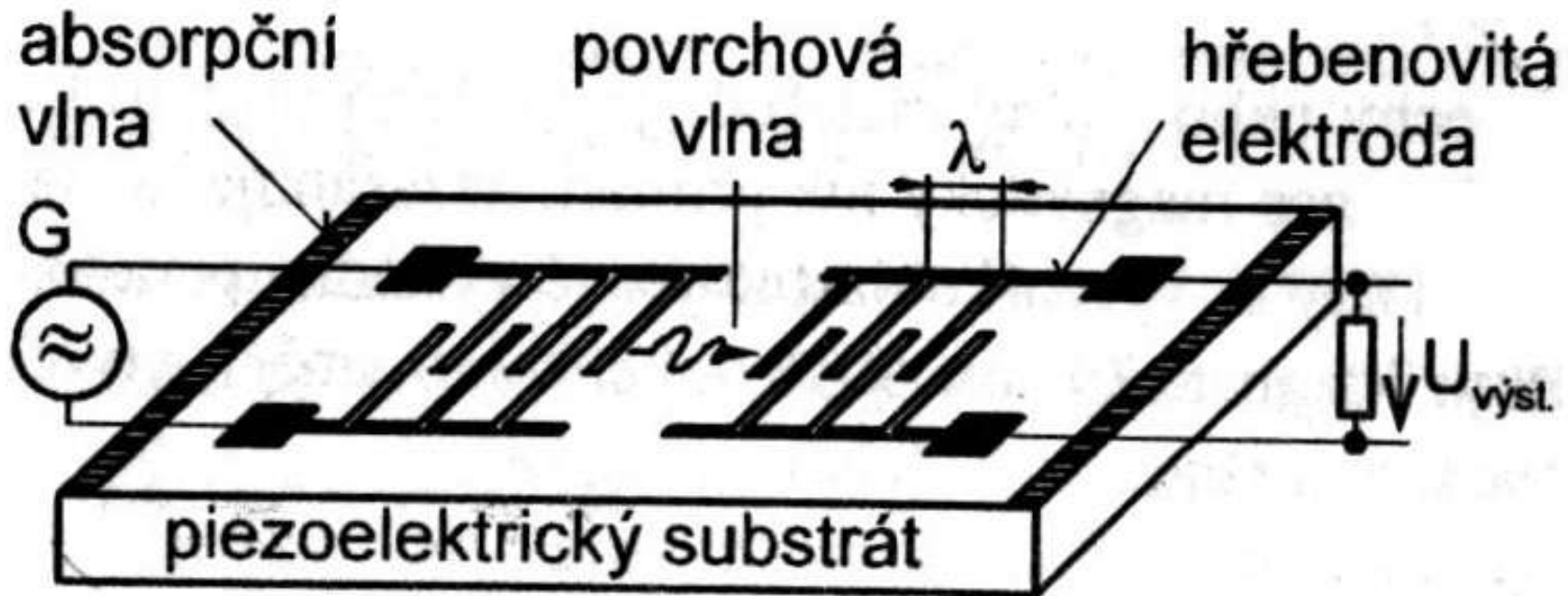
Využití piezoelektrických materiálů pro SAW princip

<https://www.youtube.com/watch?v=NgbXULs669Y>



SAW senzor – princip činnosti

- ❑ Základním principem je závislost mechanické rezonanční frekvence pružného prvku na deformaci vyvolané vnějším působením
- ❑ Senzory SAW – využívají změn parametrů vlnění šířícího se z hřebenové struktury vysílače do místa přijímače

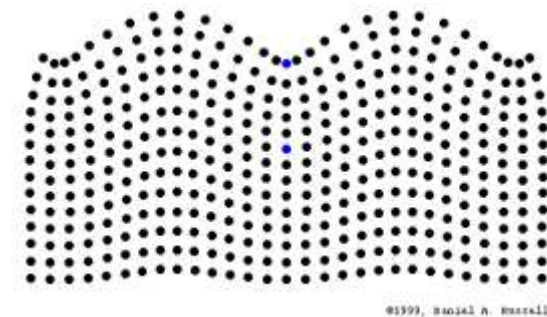
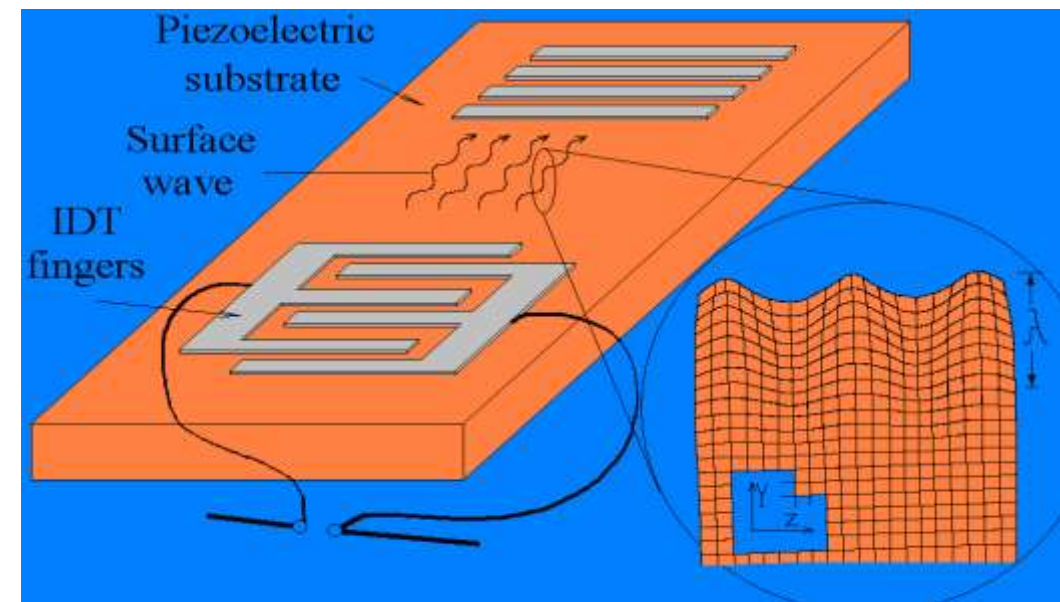
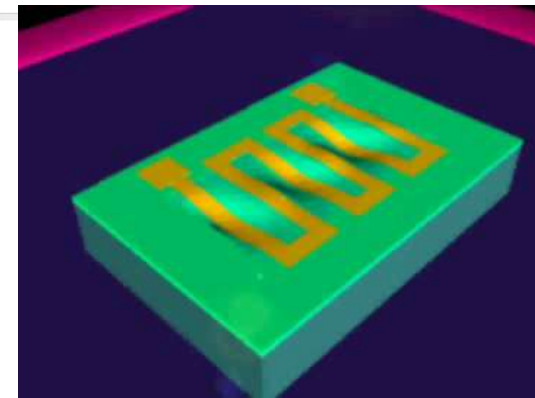
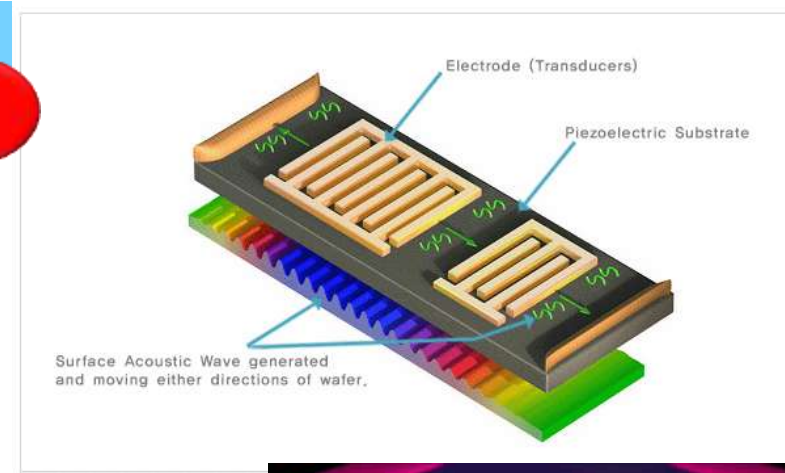


SAW senzor – princip činnosti

Zkouška

Rayleighova povrchová akustická vlna

- **podélná** a **příčná** složka
- vzniká, pokud má podložka piezoelektrické vlastnosti
- Podložka - monokrystalický **Si** nebo **LiNbO₃**



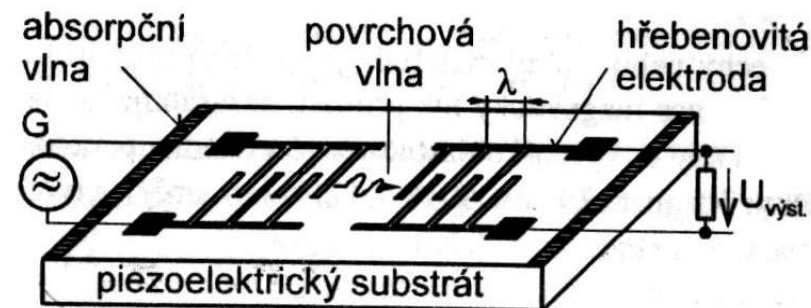
? SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzorů s povrchově akustickou vlnou, význam budící a snímací interdigitální struktury

Zdroj: <http://www.kettering.edu/physics/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>



SAW senzor – princip činnosti

- ❑ Akusticko-elektrické součástky - šíření akustické vlny po povrchu piezoelektrické monokrystalické podložky, na které je interdigitální měnič (IDT – Inter Digital Transducers).
- ❑ Využití tzv. Rayleighova vlnění a piezoelektrického efektu
- ❑ Rychlost šíření po povrchu je ovlivněna vlastnostmi materiálu a působením vnějších neelektrických veličin
- ❑ Základním principem je závislost mechanické rezonanční frekvence pružného prvku na deformaci vyvolané vnějším působením
- ❑ Senzory SAW – využívají změny parametrů vlnění šířícího se z hřebenové struktury vysílače do místa přijímače
- ❑ Nejčastěji se SAW uplatňuje v pásmových filtrech 3 - 300 MHz
- ❑ v rezonátorech a zpožďovacích vedeních je zpožděním signálu 1 μ s až 1 ms

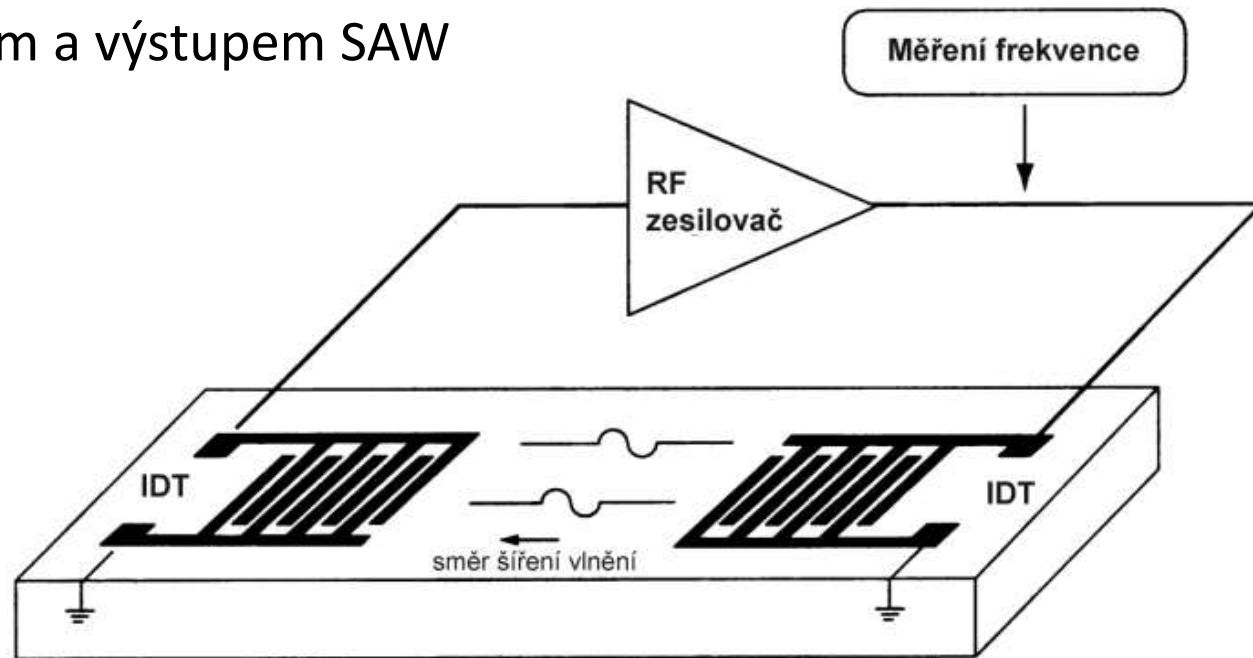


Měření změny parametrů Rayleighovy vlny v závislosti na prostředí mezi elektrodami (nejčastěji změna frekvence)

Lze měřit:

- a) **frekvence** oscilátoru se SAW ve zpětné vazbě
- b) rozdíl **amplitud** na vstupu a výstupu SAW
- c) rozdíl **fází** mezi vstupem a výstupem SAW

? Vyhodnocování signálu ze SAW senzorů: Nakreslete senzor se základním elektronickým vyhodnocovacím obvodem, nakreslete výstup signálu, v jaké formě je výstupní signál.



SAW senzor – elektronické vyhodnocovací obvody

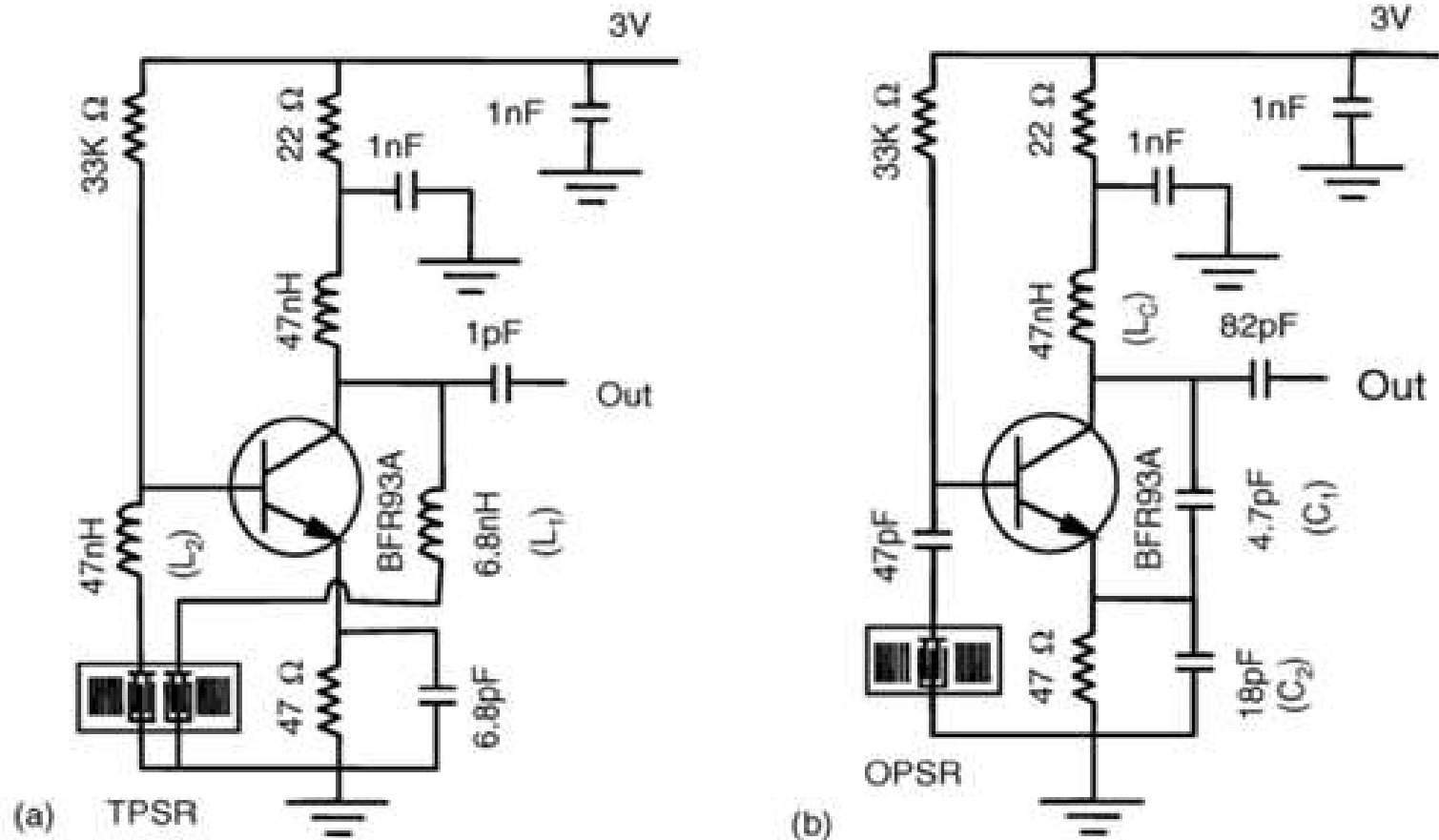


Fig. 1. Schematic circuit diagram of (a) a pierce oscillator with two-port SAW resonator (TPSR) and (b) a colpitt oscillator with one-port SAW resonator (OPSR) devices at 433.92 MHz.

SAW senzor – piezoelektrické materiály pro substráty SAW

- ❑ SiO_2 je nejpoužívanější
- ❑ GaAs , ZnO vrstvy
- ❑ PZT keramika
- ❑ GaPo_4 (*Gallium Phosphate*) - pro teploty převyšující 600 °C

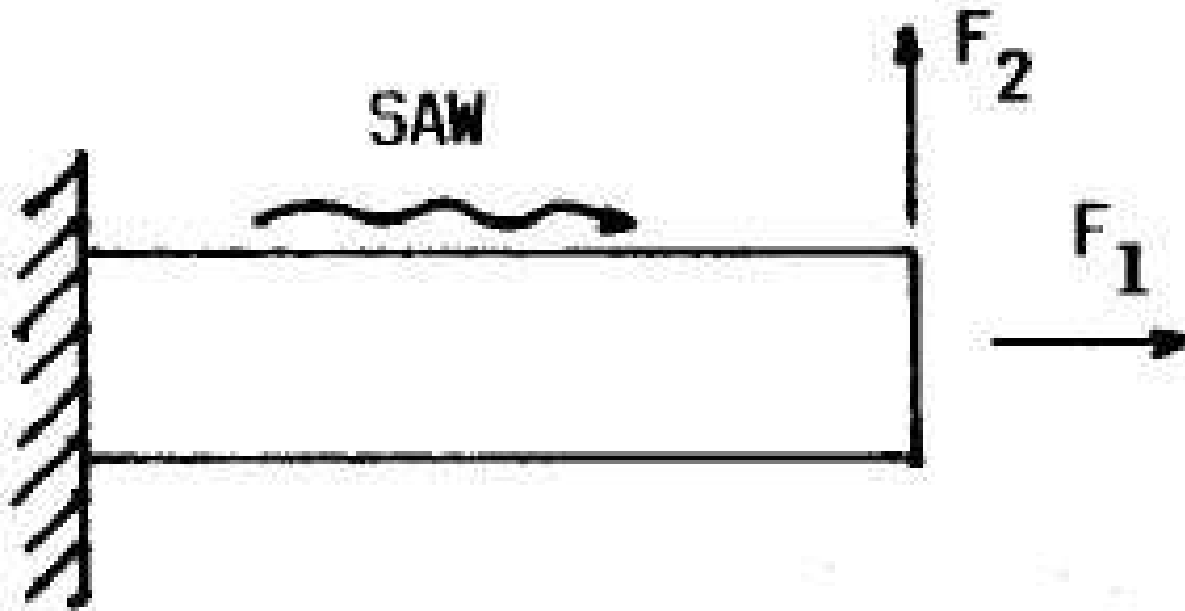


B) Aplikace SAW senzorů



SAW senzor – měření síly a mechanického namáhání

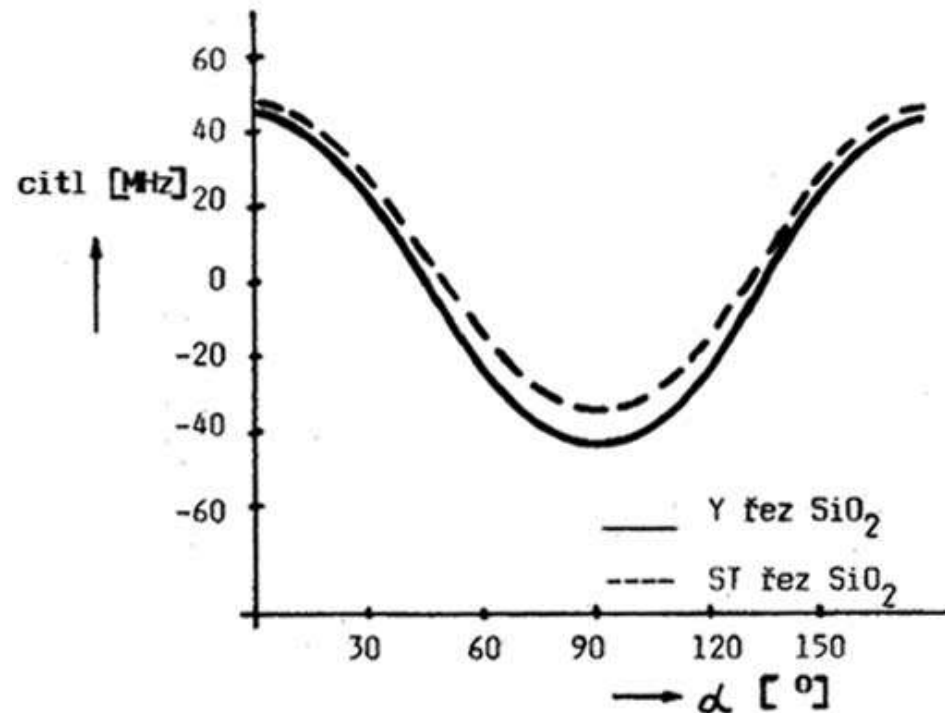
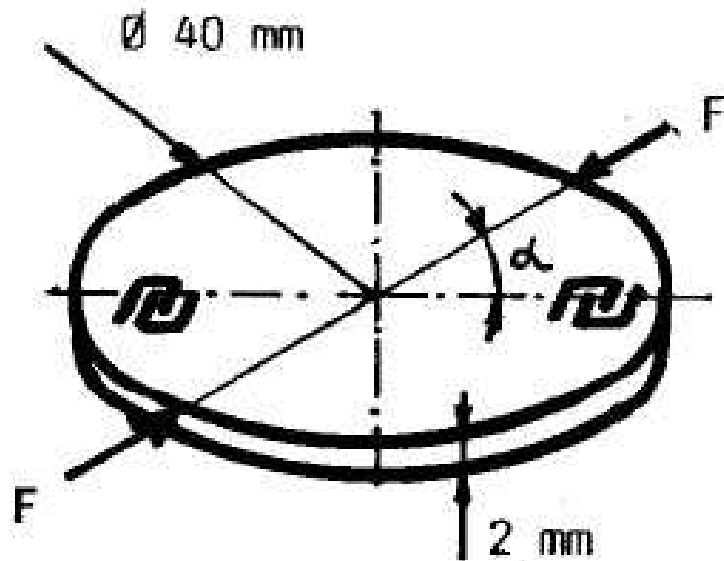
- Podložka je na jednom konci pevně uchycená a na druhém konci je namáhána **axiální** nebo **radiální silou**.
- Frekvence oscilátoru je 100 MHz, citlivost při axiálním namáhání je 50 až 90 Hz/N,



SAW senzor – měření síly a mechanického namáhání

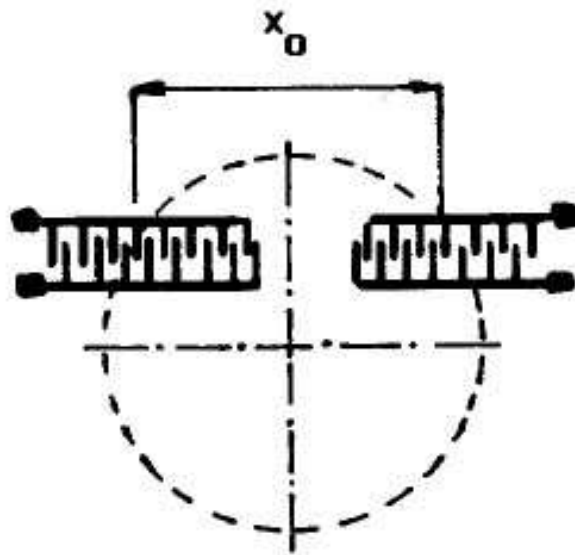
Směrová citlivost

- a) kruhová piezoelektrická podložka přizpůsobená **proti** sobě působící síly
- b) závislost citlivosti na úhlu působení síly

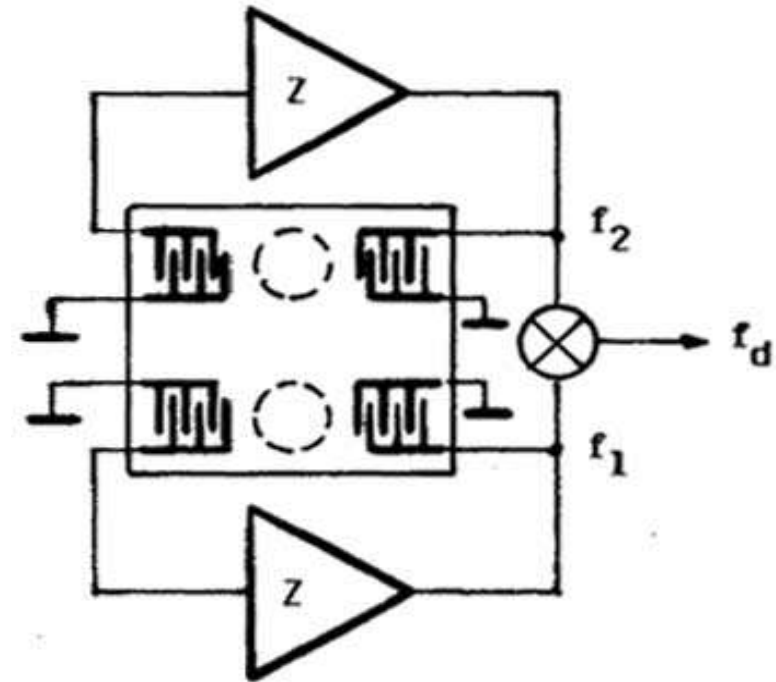
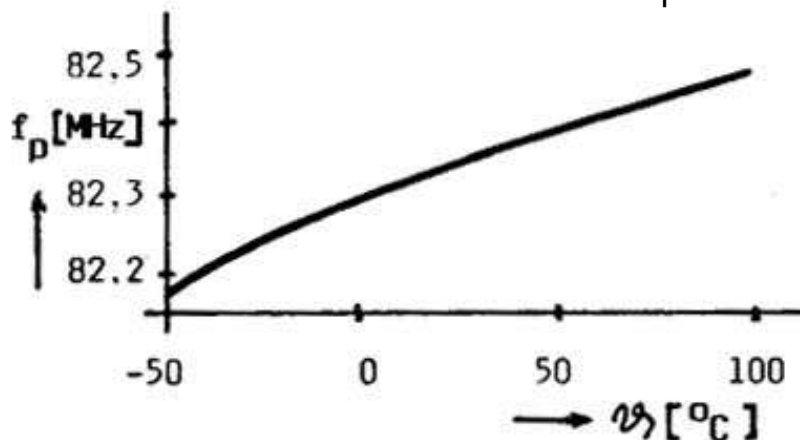


SAW senzor – měření tlaku (mechanické namáhání)

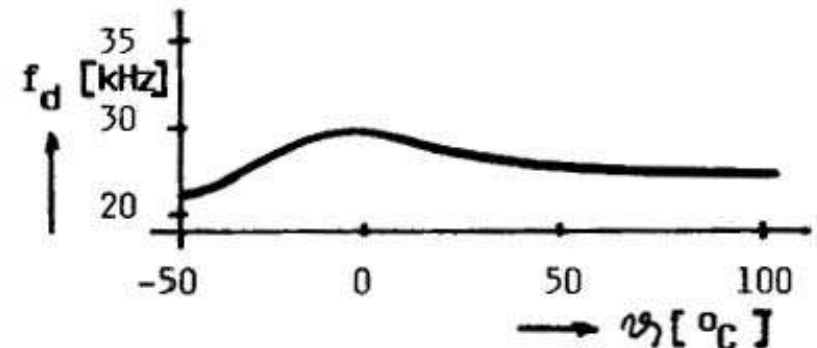
Tlakový senzor



Výstup teplotně nekompenzovaného systému (přímá frekvence f_p)



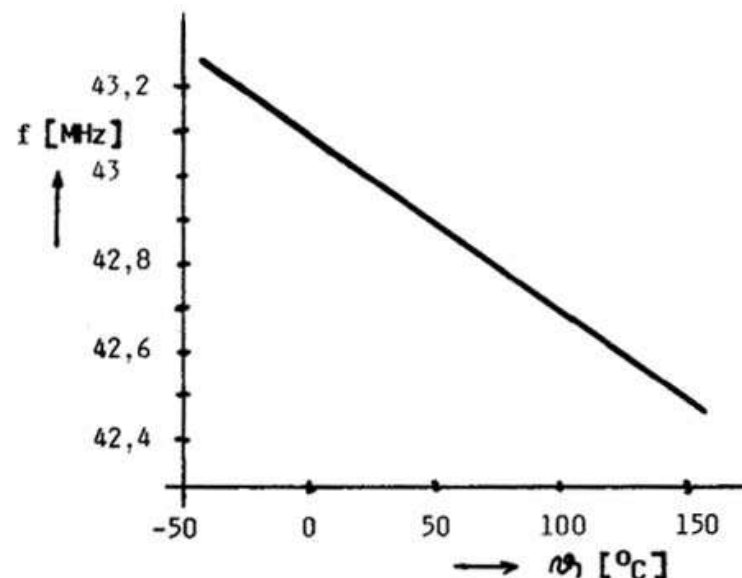
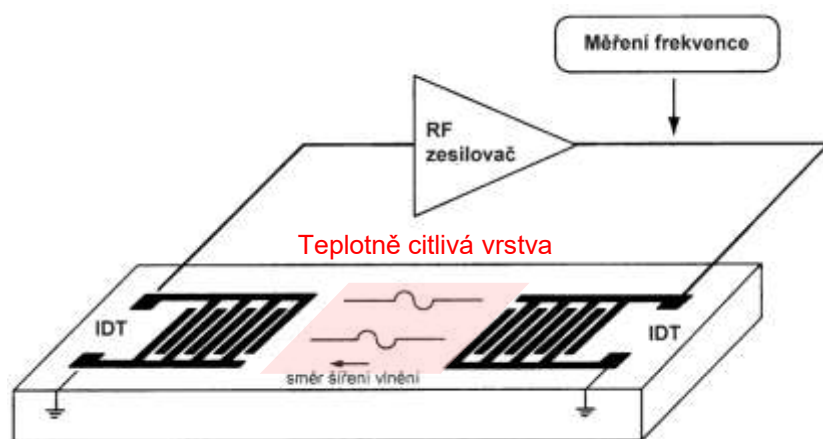
Výstup teplotně kompenzovaného systému (rozdílová frekvence f_d)



Teplotní senzor

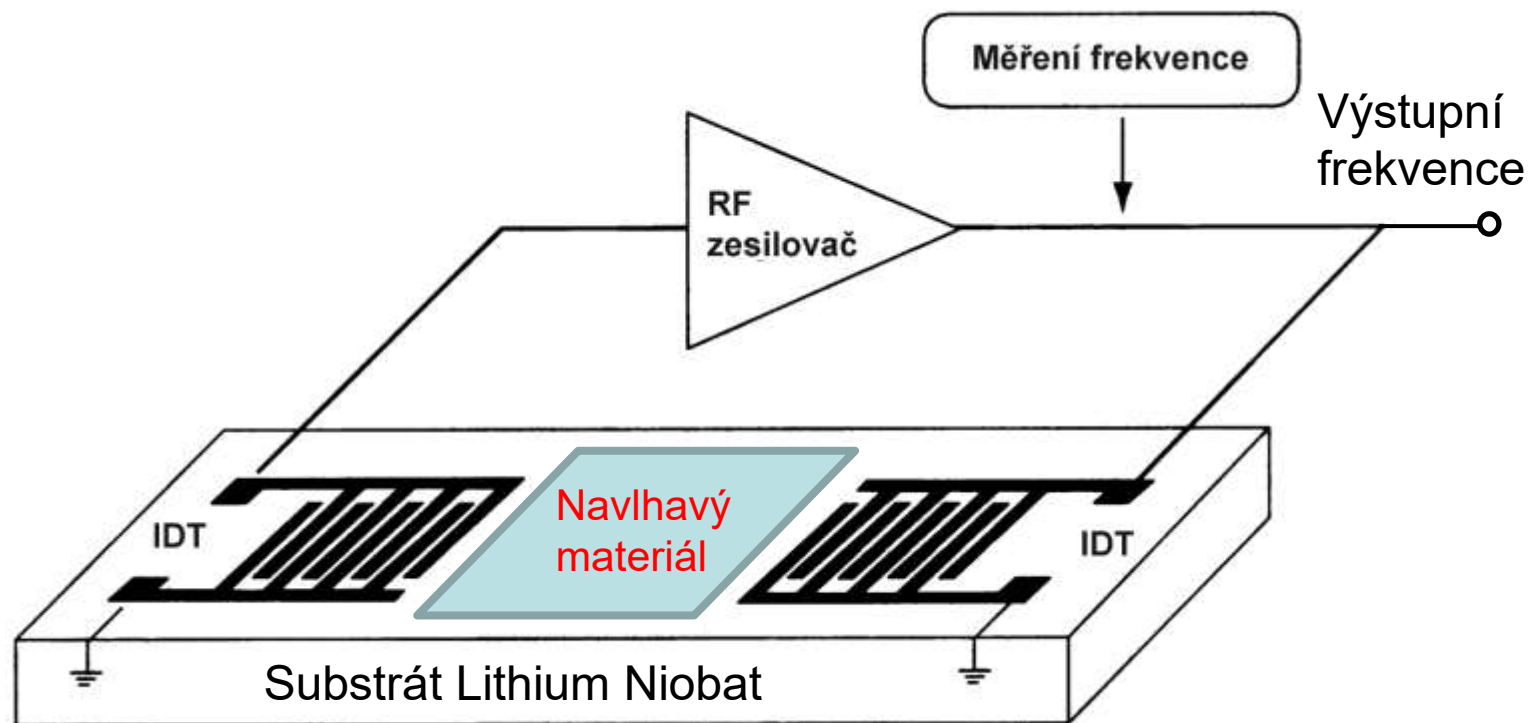
Příklad realizace:

- ❑ $\lambda = 85,2 \text{ um}$, $\lambda/8 = 10,65 \text{ um}$, 15 elektrodových párů s rozměrem $a = 6,1 \text{ mm} = 72 \lambda$, plocha $7 \times 6 \text{ mm}$, substrát LiNbO_3 o tloušťce $0,5 \text{ mm}$ je přilepen na keramické destičce, střed frekvence oscilátoru je 43 MHz .
- ❑ Změna frekvence oscilátoru je funkcí teploty v rozmezí $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+160 \text{ }^\circ\text{C}$
- ❑ Citlivost senzoru je $4 \text{ kHz}/^\circ\text{C}$,
- ❑ Δf mezi nejvyšší a nejnižší teplotou je $\Delta f = 800 \text{ kHz}$.
- ❑ Vyhodnocování **změny fáze** nebo **amplitudy** přijímaného signálu s rezonátorem



? SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření teploty

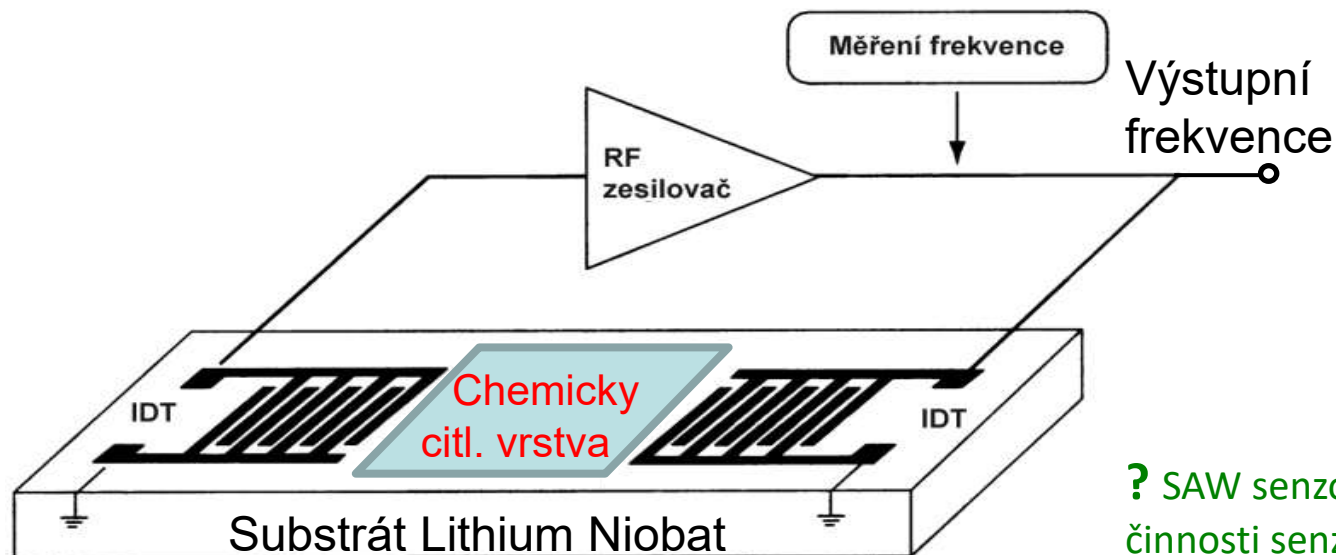
Senzor vlhkosti



? SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti

Chemické senzory - princip činnosti

- **Selektivně citlivá vrstva** na různé plyny nebo páry na povrchu SAW.
- Vrstvy **reagují** s daným plynem nebo párou (Přímá reakce senzoru na absorbované plyny nebo páry by nebyla výrazná a reprodukovatelná).
- Reakcí se **mění hmotnost nebo mechanické vlastnosti** vrstvy.
- Větší citlivosti se dosahuje při **větších tloušťkách**.
- Změna hustoty nebo tloušťky citlivé vrstvy způsobují posuv Δf rezonanční frekvence senzoru.



? SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti

Chemické senzory – konstrukce senzoru

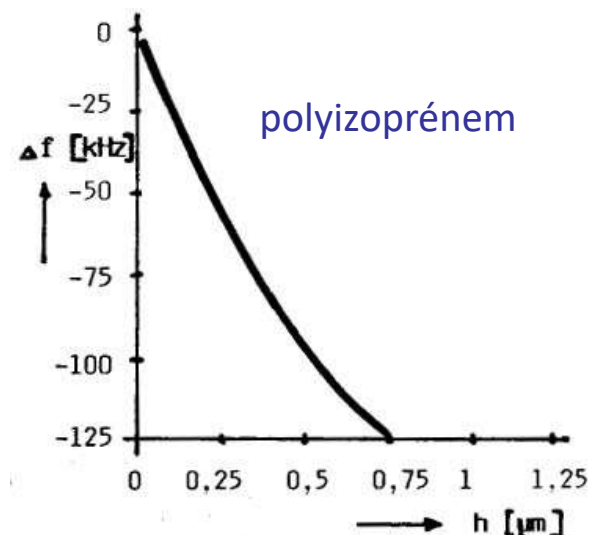
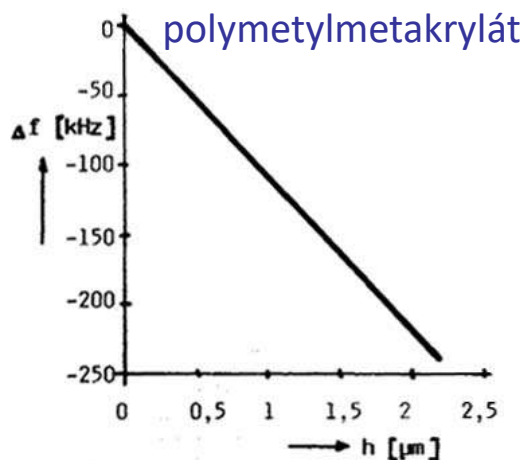
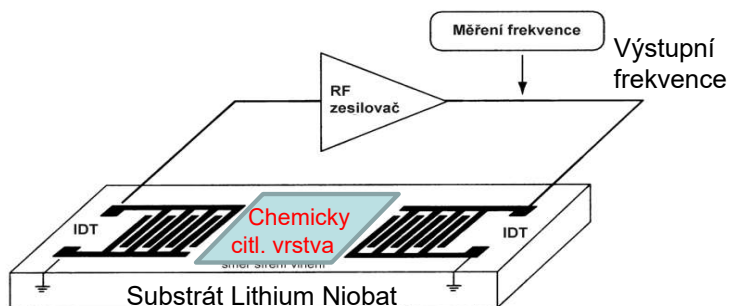
Příklad

Senzor - dva interdigitální měniče na Si substrátu.

IDT obsahuje 50 dvojic palců z dvojvrstvy Cr/Au, šířka palců je 25 μm , vzdálenost 25 mm, překrytí palců je 7250 nm. Vzdálenost obou IDT je 2 cm. Citlivá vrstva je z **polymetylmetakrylátu** nebo **polyizoprénu**.

Poznámka

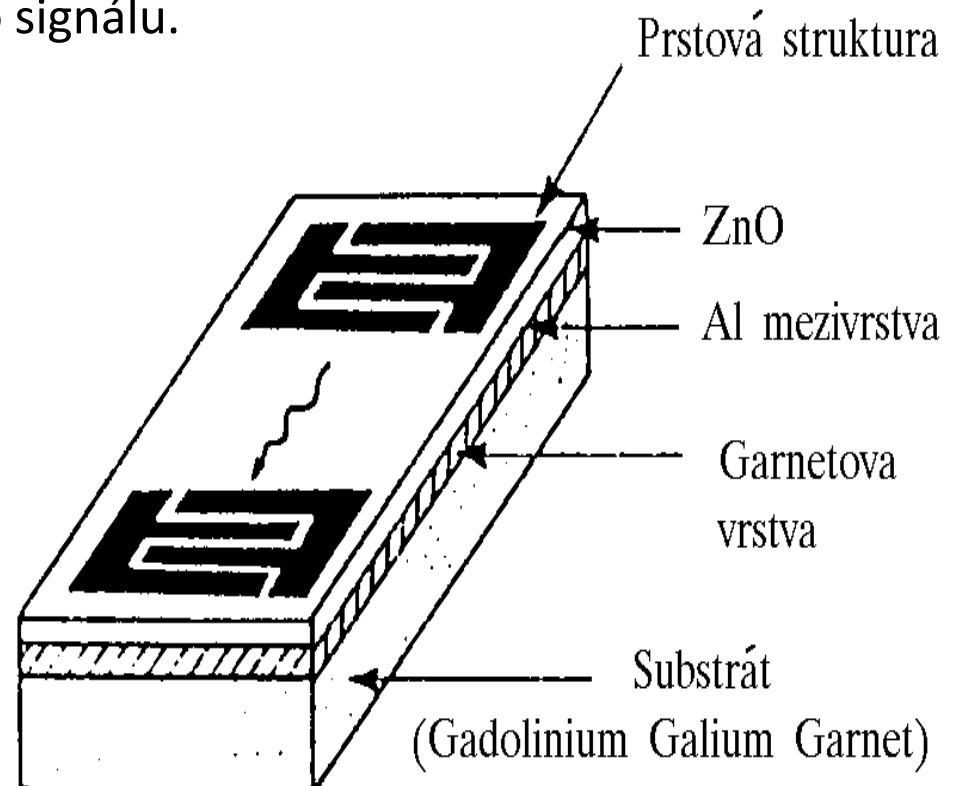
Lze detekovat přítomnost plynů (SO_2) s koncentrací menší než např. 100 ppb (tj. 100 mg SO_2 v 1 t plynu (vzduchu)).



SAW senzor – senzor magnetického pole

Působením vnějšího magnetického pole na tenkou magnetickou vrstvu, kterou se šíří povrchově akustická vlna, dochází k modulaci akustických parametrů magnetoelastických materiálů.

Mikrosenzor má digitální výstupního signálu.



SAW senzor – měření tlaku v pneumatikách automobilu

Senzory SAW se často používají v automobilovém průmyslu - například pro monitorování tlaku v pneumatikách.

Senzor je umístěn přímo v pneumatice a je spojen rádiově s řídicí jednotkou.

TPMS (Tire Pressure Monitoring System) je elektronický senzor tlaku v pneumatice. U většiny aut se senzor načte automaticky po ujetí cca 10 km, ale u některých je třeba spárovat senzory s řídicí jednotkou.

Frekvence senzoru 433 MHz, obsahuje baterii s výdrží 5-7 let, zpravidla se nedá vyměnit, je třeba koupit nový senzor .

- **Výhodou** je především rychlost a přesnost měření a možnost zobrazit konkrétní hodnoty pro každé kolo zvlášť na palubní desce vozidla.
- **Nevýhodou** je cena



C) Aplikace implantovatelných SAW senzorů v biomedicíně



Implantovatelný senzor pro lokální měření tlaku pro dlouhodobé sledování pacientů v nemocnici nebo doma s minimálním rizikem.

Aplikace v klinické péči

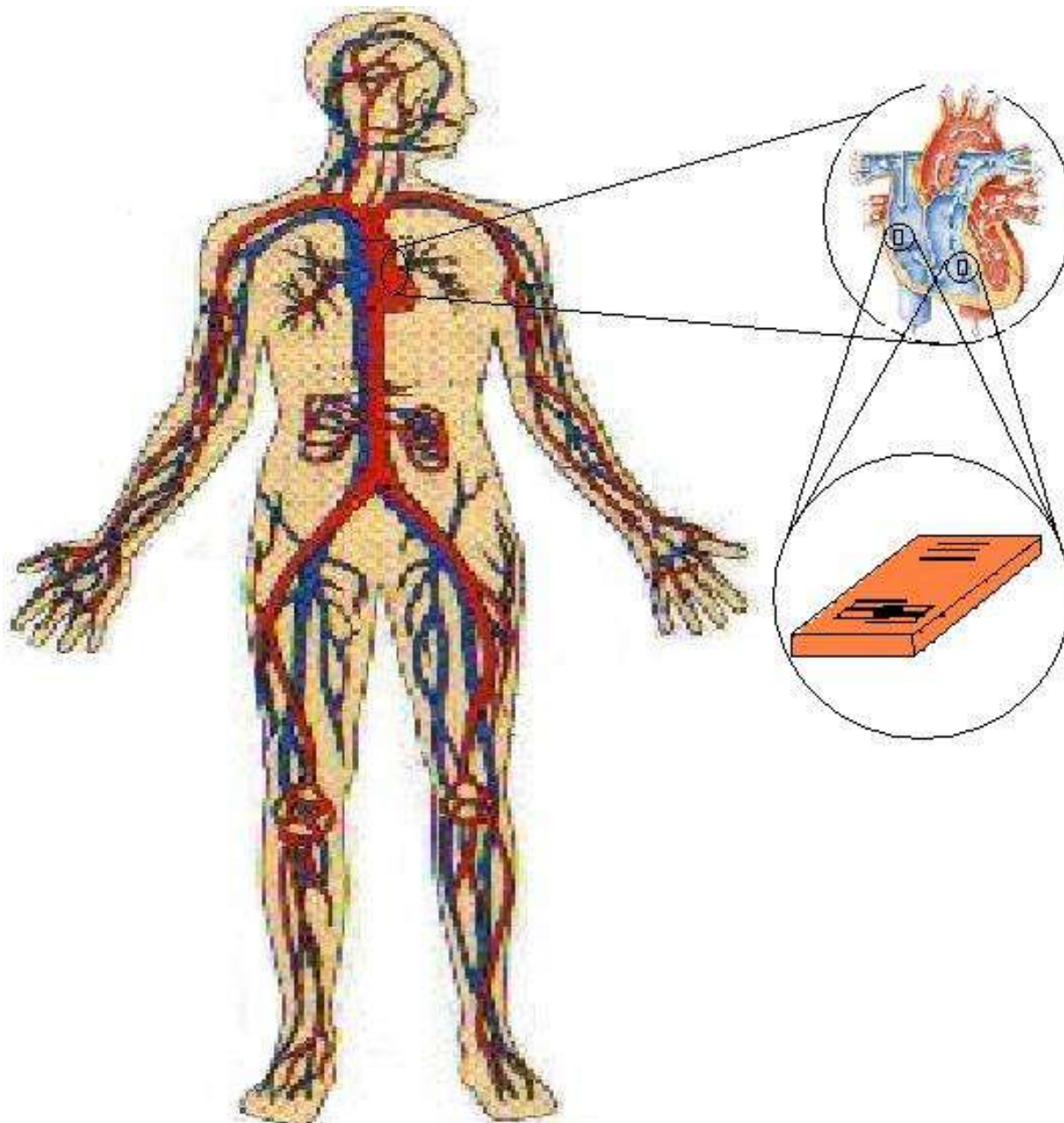
Tam, kde by implantace mohla doprovázet stávající zásah nebo nahradit katetrizaci:

Kardiovaskulární systém: Po transplantaci srdce
Chronické srdeční onemocnění
Arteriální štěpy
Oprava aneuryzmatu
Hypertenze

Neurologický systém: Intrakraniální tlak

Gastrointestinální systém: Tlak močového měchýře





Some Contributions to Market Size UK Figures

- **Implantované srdeční chlopně** (mechanické nebo biologické) c. 6,500 pa
- **Transplantace srdce nebo srdce a plic**. 400 pa
- **Asistenční zařízení pro srdce** (implanted variety) n/a

Major cardiac intervention where implanting would marginally alter the risk.

Benefits: - Local pressure measurement in one or more chambers.

- Continuous and instantaneous measurement.

- No further intervention (catheterisation)

Abdominal Aortic Aneurism

- (High mortality 8,500 deaths/year (England & Wales))
- High volume (15,000 year (England & Wales))
- Small increase in Risk



Some Contributions to Market: Hypertension & Risk

Hypertension

- High total number: c. 1 million
- Risk assessment by classification: Grade 1,2,3
(Systolic >140, 160, 180 and
Diastolic >90, 100, 110)

WHO/ISH¹ Stratification of Risk to Quantify Prognosis

Other Risk Factors and Disease History	Blood Pressure		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3
I No other risk factors	Low	Medium	High
II 1-2 risk factors	Medium	Medium	High
III \geq 3 risk factors or TOD or ACC	High	High	High

Factors: Age, Smoking, Cholesterol >6.1mmol/L, Family history, Obesity.

ACC, associated clinical condition; TOD, target organ damage

¹International Society of Hypertension



SAW Wireless Passive Remote Sensor

- SAW Sensor Unit
- Local Readout (Interrogation Unit)
Transmitter/Receiver held in close vicinity of implanted sensor. Could be worn.
- Remote Readout

Logs data from local readout via wire/Bluetooth/GSM network to a physician on duty in the hospital.



Features for Long Term Use

- Frequency Range in Use**

Industrial Scientific Medical (ISM) band, which requires no licence.

- Power Requirement**

Passive; no battery; infinite life.

There is a maximum allowed radiated power, but it is adequate.

- Range & Accuracy**

Measurable range (0-250mm Hg), with an accuracy of approx. 1%.

- Biocompatibility & Safety**

Made from inert silicon and hermetically encapsulated.

Extremely stable and do not suffer from drift.

No battery; no replacement; no leaking chemicals.



Advantages of implantation

- Single intervention –v- multiple catheterisations (cost)
 - Single intervention – greatly reduced infection risk
- Continuous monitoring possible over years; cf Holter ECG

Alarm
Control

- Confirmed monitoring site
- No interference with normal physiology



Development programme

- **Proof of Principle:** Use existing SAW pressure sensors + readers
 - **Bench-testing :** Simulated implants immersed in saline – communication optimisation and physiological pressure range sensitivity and accuracy.
 - **Animal testing :** Biocompatibility, fixing, thrombogenesis.
- **Approvals:** Manufacturing process (BS 9002/IEC) and MHRA / FDA
 - **Human clinical testing :** Trials : Integrated with arterial grafts
Intra-cardiac : single, then multiple
- **Reader development for remote monitoring :** Bluetooth/GSM-linked.



Alternative /Competing Technologies

MEMS devices: Pressure-dependent
Capacitance

Pressure-dependent Inductance

CardioMEMS Inc. Atlanta GA USA



Otázky ke zkoušce

1. SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzorů s povrchově akustickou vlnou, význam budící a snímací interdigitální struktury.
2. Vyhodnocování signálu ze SAW senzorů: Nakreslete senzor se základním elektronickým vyhodnocovacím obvodem, nakreslete výstup signálu, v jaké formě je výstupní signál.
3. SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření teploty
4. SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti
5. SAW senzory: Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření chemických látek

