

СИНЕРГИЯ МЕЖДУ ГЕМОЛОГИЯТА, МИНЕРАЛОГИЯТА И ТЕХНИЧЕСКИТЕ НАУКИ

Йоана Иванова

A SYNERGY BETWEEN GEMOLOGY, MINERALOGY AND TECHNICAL SCIENCES

Yoana Ivanova

Резюме: Целта на разработката е да бъдат разгледани синергичните взаимодействия, които съществуват между определени направления в гемологията и минералогията от една страна и в техническите науки от друга, за да се акцентира върху иновативни приложения на минерали, скъпоценни и полускъпоценни камъни в телекомуникационните, медицинските, оптичните и лазерните технологии, електрониката и микроелектрониката. Основен аспект в гемоложките и минераложките изследвания е точната идентификация на даден обект чрез съвременни методи, които включват системи с изкуствен интелект и в частност изкуствени невронни мрежи за ефективното им разпознаване. Описанието на експерименталните процеси е подкрепено със софтуерно реализирани примери за идентификация на минераложки образци и симулация на сензорни устройства, резултатите от които допринасят за формулиране на обосновката на научно-приложната стойност на изследването.

Ключови думи: гемология, минералогия, телекомуникации, електроника, медицинска апаратура, кварцови сензорни устройства.

Abstract: The purpose of this paper is to explore the synergistic interactions that exist between certain fields in gemology and mineralogy on the one hand and in technical sciences on the other to highlight innovative applications of minerals, precious and semi-precious stones in telecommunications, medicine, optical and laser technologies, electronics, and microelectronics. A key aspect of gemological and mineralogical research is the accurate identification of an object through modern methods involving artificial intelligence systems and, in particular, artificial neural networks for efficient recognition. The description of the experimental processes is proved by software-realized examples of identification of mineralogical samples and simulation of sensor devices, the results of which contribute to the formulation of the justification of the scientific-applied value of the research.

Keywords: gemology, mineralogy, telecommunications, electronics, medical apparatuses, quartz sensor devices.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

По своята същност гемологията и минералогията са интердисциплинарни научни области, което се обуславя от тясната им връзка с геологията, химията, физиката, кристалографията, материалознанието и други науки. Докато гемологията изучава оптичните, химичните и физичните свойства на скъпоценните (диамант, рубин, сапфир, смарагд, топаз и др.) и полускъпоценните камъни (турмалин, аметист, тюркоаз, топаз и др.) от гледна точка на тяхната точна идентификация за приложения в ювелирната индустрия, то обект на минералогията са геологичните процеси на формиране и видоизменяне на минералите, които са основен компонент на скалите и рудите.

По своята същност скъпоценните камъни също представляват минерали, които се характеризират с особено красиви свойства (блясък, яркост, цвят), но съществува голямо разнообразие от съвременни приложения на скъпоценните камъни в инженерната област и индустрията наред с класическите минерали. В Таблица 1 се съдържа класификация на

минерали, скъпоценни и полускъпоценни камъни, направена въз основа на тяхната приложимост в различни области.

Диамантите притежават отлични електрически и термични свойства, поради което широко се използват за изработка на полупроводници и диамантени покрития [1, 2, 3]. Наред с широко известните си приложения диамантите се използват и в микровълнови устройства, специализирани за космически приложения [4, 5], което се обуславя от следните им свойства: *устойчивост на високи температури и температурни вариации, топлопроводност и топлоотделяне, добра електроизолация и механична твърдост*. Поради възможността за прилагане на специфични методи за деформация чрез опън и огъване върху диамантени структури с цел подобряване на техните електронни свойства или създаване на нови функционалности диамантът е считан за „*върх Еверест*“ на електронните материали [6].

Турмалинът е един от малкото полускъпоценни камъни с индустриално приложение поради свойството си да произвежда електричество при определени условия (промяна на температурата [7] без да може да бъде окачествен като класически пиезокристал за разлика от кварца. На практика кварцът се използва широко в пиезоелектрични сензори, кварцови часовници и пиезоелектрични ултразвукови трансдюсери. Поради своите оптични свойства турмалинът може да се прилага в оптиката наред с диаманта, рубина и сапфира. Освен това сапфирът е подходящ за производство на лещи, докато кристалите от неодимов ванадат Nd:YVO₄ се използват като активни среди в лазери.

Интерес представлява танталитът, който е по-малко известен от кварца, но намира приложение в електрониката за изработка на кондензатори [8]. Заради магнитните си свойства магнетитът се използва за производство на магнити, които от своя страна са компонент на различни електронни устройства (говорители, сензори). Колумбитът е подходящ за производство на висококапацитивни електролитни кондензатори, защото въпреки диелектричните свойства на електролитния разтвор, на практика през него може да преминава електрически ток [9]. Баритът се използва в химическата промишленост и козметиката. Освен това за медицински цели е подходящ за изработка на защитни средства при провеждане рентгенови изследвания, тъй като има свойството да поглъща рентгеновото излъчване.

Таблица 1. Технологични приложения на скъпоценни камъни и минерали.

	Електроника и полупроводникова техника	Оптика и лазерни технологии	Медицински технологии и сензорни устройства
скъпоценни камъни	диамант	диамант, рубин, сапфир	диамант, сапфир,
полускъпоценни камъни	турмалин	турмалин	турмалин
минерали	кварц, силициев кристал, магнетит, танталит, колумбит	неодимов легиран итриев ванадат лазерен кристал Nd:YVO ₄	кварц, гипс, барит

2. ЕТАПИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИЛОЖЕНИЯТА НА СКЪПОЦЕННИТЕ КАМЪНИ В ТЕХНОЛОГИИТЕ

Етапите на изследването на приложенията на скъпоценните камъни в технологиите могат да се обособят, както следва:

- **първи етап: софтуерна идентификация на образец**

Софтуерните продукти за точна идентификация на гемоложки и минераложки образци са базирани на изкуствен интелект, чийто основен инструмент са изкуствените невронни мрежи [10]. Конкретен пример може да се даде с метода Gemtelligence, който се базира на дълбоко обучение и автоматизира определянето на страната на произход и открива обработката на скъпоценни камъни [11]: „Gemtelligence може да обработва измервания от четири различни източника на данни: FTIR и UV (спектроскопски анализ) и ICP-MS и XRF (елементарен анализ), като в кратък времеви интервал в сравнение с човешки експерти предвижда вероятността за произхода на даден скъпоценния камък или дали той е преминал термична обработка. Ако максималната вероятност надвиши предварително определен праг (горен панел), прогнозата за камъка може да бъде приета. Ако максималната вероятност падне под прага (долния панел), резултатът трябва да се отхвърли и камъкът се подлага на последващ анализ чрез стандартни методи като микроскопия и експертен анализ. Стойността на прага, избрана по време на фазата на определяне на прага на достоверността, определя баланса между броя на камъните, които могат да бъдат обработени автоматично, и точността, постигната от модела.“

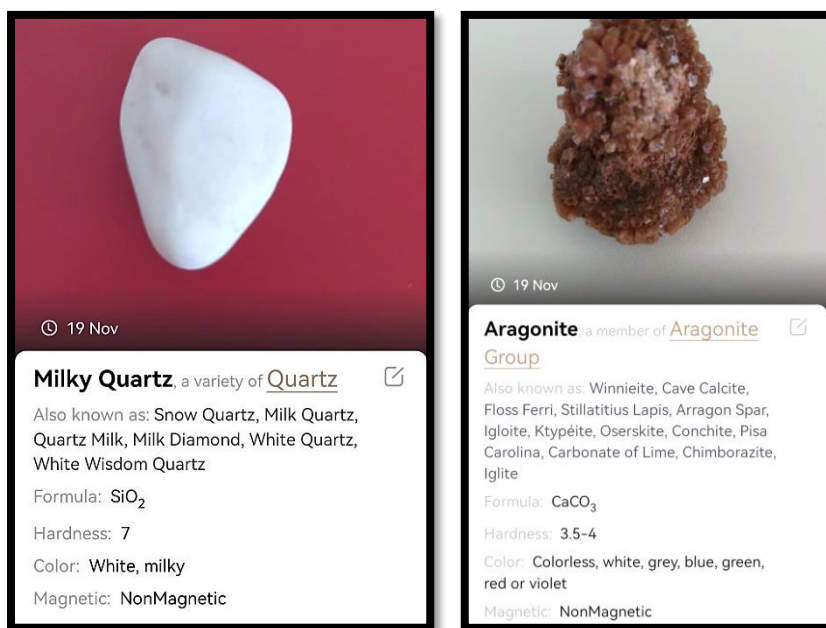
Наред с интегрирания подход за идентификация на образци, който включва машинно обучение, дълбоко обучение и обработка на изображения, съществуват и друг доказано ефективен иновативен модел за идентификация на минерали, „базиран на класификация на изображения с множество етикети, фокусиран върху характеристиките на естествената среда“. Реализацията на метода се извършва на няколко етапа: създаване на набор от реалистични характеристики „чрез симулиране на изображения на образци в реална среда“; използване на „рамката за етикет на заявка (Query2Label) с MaxViT-T (Multi-Axis Vision Transformer-Tiny) като мрежа за извличане на функции и функцията за асиметрична загуба“ [12].

На Фигури 1 и 2 са показани изображения на камъни, разпознати с помощта на достъпното за широкия потребител приложение Rock Identifier [13] по авторски снимки на реални образци. От тях единствено кварцът има широко приложение в индустрията, докато жадеитът, арагонитът и азуритът се използват основно в бижутерията. Арагонитът прави изключение, защото намира приложение в екологията поради свойството си да пречиства водите от замърсители (цинк, кобалт и олово) [14]. В някои случаи визуалното определяне не е напълно еднозначно, защото е възможно няколко камъка да имат сходни външни характеристики (цвят, блясък, форма и др.).

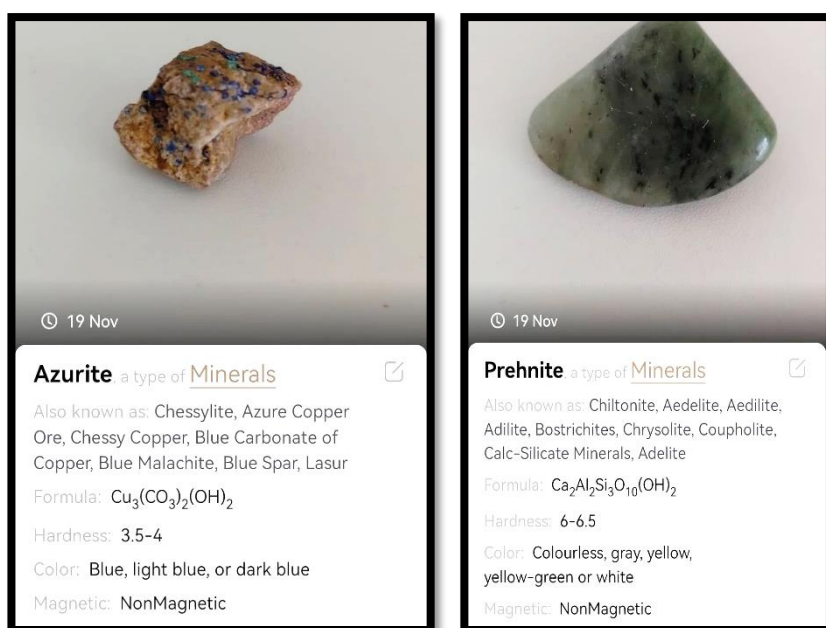
- **втори етап: експериментално изследване на специфични свойства на образец**

На този етап се прави прецизен анализ чрез допълнителни измервания на теглото, твърдостта и чистотата с помощта на специализирани инструменти (микроскопи, рефрактометри, спектрални анализатори и др.). Пример може да се даде със спектрометър Inspectrum, който се появява на пазара през 2021 и записва фото луминисценция във видимия диапазон (410 – 750 nm) и спектри на предаване на свободни и монтирани скъпоценни камъни [15].

Например рентгеновата кристалография е метод за определяне на вътрешната структура на кристалите, т.е. атомния и молекулния им строеж, докато Мащабът на Моос се използва за определяне на твърдостта на принципа на сравнението на твърдостта на изследвания образец с известни стойности на твърдостта на стандартни минерали. В Таблица 2 се съдържат стойностите на абсолютната твърдост, твърдостта по Моос, както и допълнителна информация за два софтуерно идентифицирани в настоящото изследване минерала с технологични приложения – гипс (мек минерал) и кварц (твърд минерал) [16].



Фиг. 1. Софтуерно разпознаване на млечен кварц и арагонит по снимков материал.



Фиг. 2. Софтуерно разпознаване на азурит и жадеит по снимков материал.

Таблица 2. Основни свойства и характеристики на гипс и кварц.

	Цвят	Твърдост по Моос	Абсолютна твърдост	Плътност. g/cm ³	Големи находища
Гипс (CaSO₄)	бял жълт, розов, кафяв	2	3	2.32	САЩ, Канада, Франция, Италия, Великобритания
Кварц (SiO₂)	воднобистър бял, син, зелен,	7	100	2.65	Швейцария, Испания, Италия,

виолетов, розов,
черен, жълтФранция и Русия
(Урал)

- **трети етап: изследване на приложенията на образец в технически устройства**

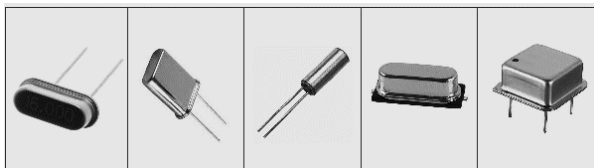
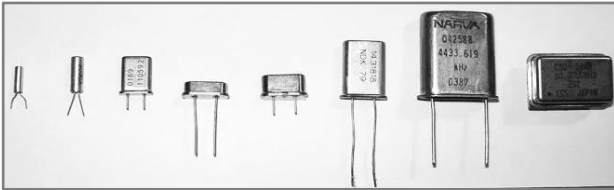
Този етап включва няколко подетапа, свързани с подготовка на образца за приложение в техническо устройство и с оценка и анализ на функционалностите на технически устройства, което първоначално може да бъде изпълнено в симулационни среди преди финалния етап на създаване на функционален прототип, който да бъде подложен на тестване с оглед на последващо серийно машинно производство.

3. СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ НА КВАРЦОВ СЕНЗОР ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В РАДИОЕЛЕКТРОНИКАТА

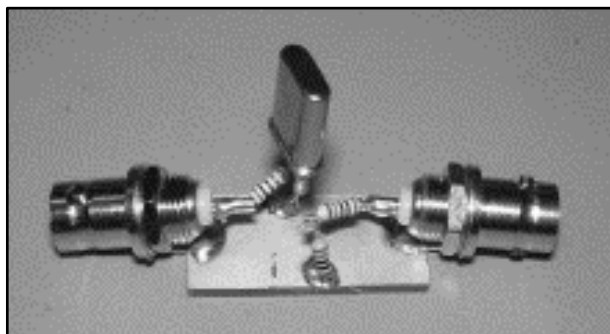
3.1. Класификация на устройства с кварцов кристал

В Таблица 3 са представени основни типове кварцови устройства. Кварцовият кристален осцилатор е устройство за честотна стабилизация [17]. Принципът му на работа се изразява във вибрации на кварцовият кристал с определена честота при прилагане на електрическо напрежение върху него. Термочувствителният кварцов резонатор използва механичните свойства на кварца, които зависят пряко от температурните инверсии. Въпреки механичната си устойчивост, при увеличаване на температурата кварцовият кристал се разширява, а при понижаването ѝ се свива. Има определена резонансна честота при определена температура [18, 19]. Кварцовият филтър осигурява стабилна честотна филтрация. Спецификата в принципа му на работа е, че под въздействие на електрическо напрежение кварцовият кристал започва да се колебае на определена резонансна честота, която се използва за филтрация на честотите в радиочестотния сигнал [20].

Таблица 3. Основни типове кварцови устройства.

Тип устройство	Снимки
Кварцов кристален осцилатор	
Термочувствителен кварцов резонатор (сензор)	

Кварцов филтър



3.2. Изчисляване на параметрите на кварцов кристал

За целта може да се използва калкулатор за изчисление на параметрите на кварцовия кристал [20]. В случая това е направено за устройство от типа кварцов филтър със сравнително проста конструкция, показана в Таблица 3, за определяне на честотата, при която затихването е минимално (последователен резонанс на кристала) и максимално (паралелен резонанс) само с кварц и с два различни последователно свързани кондензатора.

Измервателните методи в този случай са описани както следва:

- *чрез свързване на регулируем RF генератор към входа и осцилоскоп или RF волтметър към изхода;*
- *чрез свързване на генератор на шум към входа и HF приемник към изхода;*
- *чрез използване на спектрален или мрежов анализатор.*

След свързване на кондензатора е необходимо да се намери честота, при която генерираният изходен сигнал е максимален (минимално затихване). Входните параметри и техните стойности са описани в Таблица 4. Честотите трябва да отговарят на условието: $f_{s3} < f_{s2} < f_{s1} < f_p$.

Таблица 4. Входни параметри на кварцов филтър, въведени в калкулатор.

Входни параметри	Дефиниция	Стойност
Кристална паралелна резонансна честота f_p	Честотата, при която кристалът проявява максимален импеданс в паралелна резонансна верига	4 MHz
Резонансна честота на кристална серия f_{s1}	Основна резонансна честота, свързана със серия от подобни устройства или кристали (за кондензатор с капацитет 10 pF).	3 MHz
Резонансна честота на кристална серия f_{s2}	Основна резонансна честота, свързана със серия от подобни устройства или кристали (за кондензатор с капацитет 27 pF).	2 MHz
Резонансна честота на кристална серия (без кондензатор) f_{s3}	Основна резонансна честота	1 MHz
Действителен капацитет C_1 (измерен)	Капацитетът на първия кондензатор	10 pF
Действителен капацитет C_2 (измерен)	Капацитетът на втория кондензатор	27 pF

Изходните параметри и техните стойности, генерирани след стартиране на изчислението са описани в Таблица 5. На Фиг. 3 е показан снимка на екрана, направена по време на изчислението. Следващата част на изследването се изразява в изчисление на т. нар. стълбовидни филтри, които използват кристали като резонатори във формата на стълб, за да се постигне по-добра изолация между честотните канали, честотна стабилност, нисък

вътрешен шум, широк температурен обхват, редуциране на загубите на сигнал, които се изразяват в енергийни загуби на топлина. На Фиг. 4 са показани генерираните резултати в този случай.

Таблица 5. Резултати от изчисляването на кварцов филтър.

Изходни параметри	Дефиниция	Стойност
Сериен капацитет на кристала C_s	Капацитет, който се добавя към кварцовия кристал в електрическата му схема и влияе върху честотната стабилност на кристала.	68000 fF
Серийна индуктивност на кристала L_s	Мярка за индуктивното съпротивление на кварцовия кристал в серийната част на електрическата верига на устройството.	0.373 mH
Кристален паралелен капацитет C_p	Капацитет, свързан паралелно с кварцовия кристал в електрическата верига на резонатора.	11.333 pF

Crystal parallel resonance frequency: $f_p =$ MHz
Crystal series resonance frequency (10 pF): $f_{s1} =$ MHz
Crystal series resonance frequency (27 pF): $f_{s2} =$ MHz
Crystal series resonance frequency (no capacitor): $f_{s3} =$ MHz
Actual (measured) C1 capacitance: $C_1 =$ pF
Actual (measured) C2 capacitance: $C_2 =$ pF

Crystal series capacitance: $C_s =$ fF
Crystal series inductance: $L_s =$ mH
Crystal parallel capacitance: $C_p =$ pF

Фиг. 3. Резултатите от изчисляването на параметрите на кварцов кристал.

Crystal series resonance frequency: $f_{s3} = 1$ MHz
Crystal parallel resonance frequency: $f_p = 4$ MHz
Crystal series capacitance: $C_s = 68000$ fF
Filter bandpass ripple: $RP_{PB} = 0.5$ dB (0..3dB)
Number of poles: $N = \text{2}$ ☐ 3 ☐ 4 ☐ 6 ☐ 8
Target bandwidth: $BW = 2.700$ kHz @ -3 dB

Calculation result:

```
fs = 1 MHz
fp = 4 Hz
Cs = 68000 fF
BP ripple = 0.5 dB (Tchebycheff)
Poles = 2
Target bandwidth = 2.7 kHz

Maximum bandwidth: Bmax = 1205.826 kHz

Center frequency: f0 = 1.001951 MHz
Ultimate attenuation: UAtt = 136.5 dB
Filter impedance: Z0 = 3.2 Ohm
CP1 = 34814.7 pF
CS1 = 34814.7 pF
```

Фиг. 4. Резултатите от изчисляването на параметрите на стълбовиден кристален филтър.

Оценката на експерименталните резултатите е свързана с параметъра RP_{PB} - максималната разлика в амплитудата между входния и изходния сигнал в определен обхват на честотите във филтъра, която указва как се изменя амплитудата на сигнала в честотната област, която филтърът пропуска. Целта е нейната стойност да е ниска, за да се сведат до минимум нежелани изменения в амплитудата на сигнала през филтъра, както е в случая ($RP_{PB} = 0.5$ dB) [21].

Броят на полюсите N на филтъра показва колко са елементите (кондензатори и индуктивности), които съдържа, като по-големият им брой означава, че след определена стойност на честотата сигналът затихва по-бързо. Целевата честотна лента $BW = 2.700$ kHz в случая може да се определи като достатъчно широка за конкретни приложения като ниско-честотна обработка на аудио сигнали (в диапазона от няколко стотин Hz до няколко kHz), както и за определени приложения в радио-комуникациите [22].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се обобщи, че иновативните технологии дават възможност за реализация на цялостни изследвания, които обединяват традиционните аспекти на гемологията и минералогията с редица научни и инженерни области (радиоелектроника, микровълнова техника и технологии, медицински науки и др.). Подходът за изпълнение на последователните етапи от процеса на изследване може да бъде определен като мултидисциплинарен, тъй като от една страна разкрива нови възможности за приложение на скъпоценните камъни и минерали в техническите науки, а от друга позволява задълбоченото изучаване на специфичните им свойства с оглед на тяхното подобряване.

Научно-приложните приноси в проведеното изследване се изразяват в разглеждане на синергичното взаимодействие между гемологията и технологиите, както и в разкриване на предимствата от използване на изкуствен интелект за идентификация на различни образци. Методът на симулационното моделиране се прилага успешно за анализ на различни сценарии и допринася за оптимизация на образците и устройствата, в които са имплементирани. От своя страна идентификационните процеси също подлежат на оптимизация, тъй като изкуствените невронни мрежи за разпознаване на изображения могат да бъдат моделирани и симулирани.

Тенденциите за разширяване на изследването са свързани с внедряване на нанотехнологии, чрез които да се модифицира структурата на скъпоценните камъни, като по този начин се цели да се постигне подобряване на основните им характеристики. Други аспекти за бъдещо развитие са квантовите технологии, в които прилагането на скъпоценни камъни и минерали може да допринесе за усъвършенстване на конструкцията на устройствата и подобряване на функционалностите им.

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ:

- [1] MANI, Nour, Rifai AAQIL, Shadi HOUSHYAR, Marsilea A. BOOTH, and Kate FOX, Diamond in medical devices and sensors: An overview of diamond surfaces, WILEY Online Library, 2020, <https://doi.org/10.1002/mds3.10127>.
- [2] CHEN, Zhihao, Yu FU, Hiroshi KAWARADA, and Yuehang XU, Microwave diamond devices technology: Field-effect transistors and modeling, WILEY Online Library, 2020, <https://doi.org/10.1002/jnm.2800>
- [3] Diamond Microwave, Diamond Transistors, Available at: <https://www.diamondmw.com/diamond-microwave-devices-diamond-transistor-technology/technology/> (visited on: 17.11.2023).
- [4] RUSSELL, Stephen, A. O., David A. MORAN, Claudio VERONA, Ernesto LIMITI, Federica CAPPELLUTI, Giovanni GHIONE, and A. Barnes, Single-crystal diamond microwave devices for space applications, 2014 9th European Microwave Integrated Circuit Conference, IEEE, Italy, 2014, ISBN:978-2-8748-7036-1, <https://doi.org/10.1109/EuMIC.2014.6997815>.
- [5] PLANTE, Jeannette, Henning LEIDECKER, and Norman HELMOLD, Diamonds as a Microelectronics Material with Potential for Space Applications, Diamond in Microelectronic Packaging, Available at: chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiahp/<https://nepp.nasa.gov/docuploads/93AF87FF-E0D3-4639-9F6160B6451CE32D/diampaper.pdf> (visited on: 17.11.2023).
- [6] PHYSORG, Stretching diamond for next-generation microelectronics, City University of Hong Kong, 2020, Available at: <https://phys.org/news/2020-12-diamond-next-generation-microelectronics.html> (visited on: 17.11.2023).
- [7] Rock 'n' gem magazine, Snippets – black tourmaline in industry, Issue 67, 2015, ISSN 1369-1147, Available at: <https://www.rockngem-magazine.co.uk/index.php/content/articles/225-snippets-black-tourmaline-in-industry> (visited on: 17.11.2023).
- [8] Finelib Readings.com, Tantalite (Fe, Mn)Ta₂O₆ Natural Deposits In Nigeria And Its Extraction, Available at: <https://www.finelib.com/about/nigeria-natural-resources/tantalite-fe-mnta2o6-natural-deposits-in-nigeria-and-its-extraction/119> (visited on: 20.11.2023).
- [9] ECKERT Joachim, Karlheinz REICHERT, Christoph SCHNITTER, and Hady SEYEDA, Processing of columbite-tantalite ores and concentrates for Niobium and Niobium compounds in electronic applications, Available at: chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiahp/https://niobium.tech/-/media/niobiumtech/attachments-biblioteca-tecnica/nt_processing-of-columbite-tantalite-ores-and-concentrates-for-niobium-and-niobium-compounds.pdf (visited on: 20.11.2023).

- [10] BAYKAN, Nurdan, A., and Nihat YILMAZ, Mineral identification using color spaces and artificial neural networks, Computers & Geosciences, Vol. 36, Issue 1, January 2010, pp. 91-97, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.04.009>.
- [11] BENDINELLI Tommaso, Luca BIGGIO, Daniel NYFELER, Abhigyan GHOSH, Peter TOLLAN, Moritz A. KIRSCHMANN, and Olga FINK, Gemtelligence: Accelerating Gemstone classification with Deep Learning, Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV), 2023, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.06069>.
- [12] GAO, Qi, Teng LONG, and Zhangbing ZHOU, Mineral identification based on natural feature-oriented image processing and multi-label image classification, Expert Systems with Applications, Vol. 238, Part D, 15 March 2024, 122111, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122111>
- [13] Rock Identifier: AI rock expert in your pocket, Online rock encyclopedia and rock identifier, Available at: <https://rockidentifier.com/app> (visited on: 19.11.2023).
- [14] Арагонит, Минералите на Земята, бр. 20, 2020 EMSE EDPS S.L. Hachette Facicoli srl, 2022 г.
- [15] FLIPHTML5, Instrumentation: Inspectum Spectrometer, The Journal of Gemmology, Vol. 38, Issue 1, 2022, p.1, Available at: https://fliphtml5.com/bfyz/kkiw/The_Journal_of_Gemmology_%7C_Volume_38_%7C_Issue_1_%28Spring_2022%29/, (visited on: 17.11.2023).
- [16] Уикипедия, Скала на Моос, Available at: https://bg.wikipedia.org/wiki/Скала_на_Моос (visited on: 17.11.2023).
- [17] СПАСОВ, Лозан, Високочувствителни кварцови температурни сензори, Трети национален конгрес по физически науки, 29 септември – 2 октомври 2016 г., Херон Прес, 2016, София, ISBN 978-954-580-364-2, Available at: <https://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/3kongres/disk/html/pdf/S011.pdf> (visited on: 19.11.2023).
- [18] theoryCIRCUIT, Design Crystal Oscillator Circuit, Available at: <https://theorycircuit.com/design-crystal-oscillator-circuit/> (visited on: 19.11.2023).
- [19] SANGI MARKET, Кварц на дънната платка как да проверите. Кварцов резонатор - структура, принцип на действие, как да се провери, Available at: <https://sangimarket.ru/bg/iron/kvarc-na-materinskoi-plate-kak-proverit-kvarcevyi-rezonator---struktura/> (visited on: 19.11.2023).
- [20] Narrow band-pass crystal ladder filters, Available at: <https://www.giangrandi.org/electronics/xtalfilters/xtalfilters.shtml> (visited on: 19.11.2023).
- [21] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Теодора ПАСАРЕЛСКА, Методика за изследване и анализ на радиотехнически параметри на универсални мобилни телекомуникационни системи, Сборник научни трудове от годишна научна конференция с международно участие на национален военен „Васил Левски“, Велико Търново, 2013.
- [22] ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Вергиния ТОДОРОВА, Анализ на протоколите и техниките за пренос на глас чрез интернет протокол, Годишник Телекомуникации, 2019, том 6, с. 105-113, <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2019-g-tom-6>

Информация за автора:

Главен асистент д-р Йоана Атанасова Иванова, Департамент „Телекомуникации“ НБУ, ул. Монтевидео 21, e-mail: yivanova@nbu.bg

Contacts:

Chief Assistant, Dr Yoana Atanasova Ivanova, New Bulgarian University, Department Telecommunications, Sofia, 21 Montevideo St., e-mail: yivanova@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 20.11.2023

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 25.04.2024