

# КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ/ CYBER-SECURITY & CRITICAL INFORMATION INFRA- STRUCTURE PROTECTION

DOI: 10.18372/2225-5036.29.17550

## ЗАХИСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК ВІД ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ НА ПРИКЛАДІ ОДНОШАРОВОГО ВІДБИВАЮЧОГО ПОКРИТТЯ ДІОКСИДУ ГАФНІЮ

Лариса Ракобовчук, Назарій Дзяний, Марія Антоневиц

Національний університет «Львівська політехніка»



**РАКОБОВЧУК Лариса Маратівна**, к. т. н., доцент.

*Рік та місце народження:* 1959 рік, м. Львів, Україна.

*Освіта:* Український поліграфічний інститут ім. Івана Федорова, 1981 рік.

*Посада:* професор кафедри захисту інформації з 2019 року.

*Наукові інтереси:* технічні засоби охорони об'єктів, методи і засоби технічного захисту інформації, лазерні системи акустичної розвідки, лазерні мікрофони, технічні канали витоку інформації, спецвимірювання, та ін.

*Публікації:* понад 100 наукових публікацій, серед яких наукові статті, наукові посібники, монографії, тези та матеріали доповідей на конференціях.

*E-mail:* larysa.m.rakobovchuk@lpnu.ua.

*ORCID ID:* 0000-0001-9437-6137.



**ДЗЯНИЙ Назарій Ростиславович**, асистент.

*Рік та місце народження:* 1995 рік, м. Львів, Україна.

*Освіта:* Національний університет «Львівська Політехніка», 2018 рік.

*Посада:* асистент кафедри захисту інформації з 2018 року.

*Наукові інтереси:* методи і засоби технічного захисту інформації, лазерні системи акустичної розвідки, технічні канали витоку інформації, веб-безпека, цифрова криміналістика, спецвимірювання.

*Публікації:* понад 15 наукових публікацій, серед яких наукові статті, монографії, тези та матеріали доповідей на конференціях.

*E-mail:* nazardz270495@gmail.com.

*ORCID ID:* 0000-0001-9101-3701.



**АНТОНЕВИЧ Марія Святославівна**, студентка.

*Рік та місце народження:* 2002 рік, м. Рогатин, Україна.

*Наукові інтереси:* методи і засоби технічного захисту інформації, розробка та впровадження систем управління інформаційною безпекою, комплаєнс в галузі захисту інформації.

*E-mail:* mariia.antonevych@gmail.com.

*ORCID ID:* 0009-0001-8689-2577.

**Анотація.** Витік конфіденційної інформації вважається однією із найпоширеніших проблем у боротьбі із професійним шпіонажем. Для цього десятиліттями розроблялись різноманітні методи захисту інформації по всіх її можливих каналах витоку. Одним із способів забезпечення інформаційної безпеки є виявлення та своєчасна локалізація можливих технічних каналів витоку акустичної інформації. В даній роботі були проведені дослідження коефіцієнту відбивання скла з напиленим одношаровим покриттям діоксиду гафнію за допомогою спектральних характеристик. В якості показника захищеності було вибрано коефіцієнт відбиття лазерного променя від скла. Запропоновано крім захисних плівок використовувати скло зі спеціальним відбиваючим напиленням. В якості напилювача було обрано діоксид гафнію, так як його показник заломлення набагато більший, ніж у скла. Напилення діелектричного покриття здійснювалось з допомогою установки вакуумного напилення фірми TORR (USA). Спектральний аналіз скла проведено на спектрофотометрі Shimadzu UV-3600, який дозволяє провести вимірювання спектру отриманих плівок в режимі відбивання і пропускання в діапазоні хвиль від 300 до 1500 нм. Встановлено, що коефіцієнт відбивання скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні із чистим склом. Отже, плівка  $\text{HfO}_2$  задовольняє вимогам, що поставлені у задачі. Рекомендовано для підвищення коефіцієнта відбивання використовувати напилення діоксиду гафнію на склі, як захист від лазерного зчитування інформації у діапазонах 300 - 350, 500 - 700 та 1000 - 1500 нм.

**Ключові слова:** лазер, лазерні системи акустичної розвідки, канал витоку інформації, скло, покриття, плівки.

### Постановка проблеми

Інформаційна безпека відіграє ключову роль у забезпеченні життєво важливих інтересів будь-якої країни [1]. Створення розвиненого і захищеного інформаційного середовища є неодмінною умовою розвитку сучасного суспільства, оскільки саме через неї реалізуються загрози національній безпеці в різних сферах діяльності держави [2].

Одним із способів забезпечення інформаційної безпеки є виявлення та своєчасна локалізація можливих технічних каналів витоку акустичної інформації. Одним з таких каналів витоку є оптоелектронний або лазерний. Так, скляні конструкції та вікна можуть бути каналами витоку для акустичної та оптичної інформації, але через них можна зняти також електронну та друковану інформацію (зокрема, текст з екрана ПЕОМ) [3].

В галузі захисту інформації за останній час відбувся великий прорив, особливо в захисті телекомунікаційних систем і програмних середовищ. Багато публікацій присвячено захисту інформації від хакерських атак, шкідливого програмного забезпечення, атак на банківські системи, та розробці нових криптографічних алгоритмів і т. п.

Проте, це все відноситься до так званої комп'ютерної ланки кібербезпеки. А от з точки зору технічного захисту інформації, останнім часом реалізується невеликий відсоток наукових розробок. Одним з найвразливіших питань в технічному захисті інформації – це отримання даних, приватних або неконфіденційних, за рахунок витоку по оптоелектронному каналу. Як відомо, основним джерелом отримання цих даних є лазерні системи акустичної розвідки. ЛСАР - так звані «лазерні мікрофони», є однією з головних небезпек отримання мовної інформації з приміщення. Завдяки лазерно-локаційному зондуванню шибок та інших відбиваючих поверхонь можна відтворити розмову, що ведеться під час конфіденційних перемовин, виступів, та ін. В цій галузі було розроблено багато різних напрямків, таких як захист мовної інформації з

використанням активних методів: спеціальних приладів (генератори шуму, вібратори акустичного захисту, магнітостатики (реалізується шляхом металевого нанесення доріжок або дротиків, розміщених паралельно на різних шибках), електростатики (за рахунок напилення шару металу по всій площині віконної поверхні).

При подачі напруги до напиленого шару виникає електричне поле.

Захист мовної інформації від лазерного зчитування за допомогою так званих пасивних методів (створення спеціальних віконних конструкцій, жалюзі та штори на вікна). Одним з найактуальніших та найперспективніших напрямків пасивного захисту мовної інформації сьогодні є розробка різноманітних покриттів та відповідно спеціалізованих плівок. В даному напрямку роботи почалися практично недавно, як правило, створено багато напилювачів та плівок з вузькоспрямованими характеристиками (протиударні, антиблікові, затемнюючі та ін.) В даній роботі мова йтиметься саме про один із зразків напилення віконного скла, а саме один із видів оксиду.

Лазерний технічний канал витоку інформації утворюється при опроміненні лазерним променем вібруючих поверхонь в акустичному полі, що виникає при веденні розмов [4]. Відбите лазерне випромінювання (дифузне або дзеркальне) модулюється по амплітуді і фазі (за законом вібрації поверхні) і приймається приймачем оптичного (лазерного) випромінювання, при демодуляції якого виділяється мовна інформація. Причому лазер і приймач оптичного випромінювання можуть бути встановлені як в одному, так і в різних місцях (приміщеннях). Як правило, в таких системах використовуються лазери, що працюють в невидимому ближньому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні довжин хвиль (0,8 - 3,5 мкм) [5]. Сучасні лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР) дозволяють «знімати» інформацію не тільки з зовнішніх, але і з внутрішніх шибок, дзеркал, скляних дверей та інших предметів.

Актуальність проблеми захисту інформації через оптико-електронний канал витоку пов'язана з тим, що ЛСАР використовують для зняття особливо важливої інформації, розголошення якої призведе до значних матеріальних та моральних збитків власникові. Така ж потрібно не забувати, що ЛСАР є мобільною системою, що дозволяє використовувати її у тих випадках, коли відсутня будь-яка можливість доступу до об'єкта захисту через існування контрольованої зони.

На сьогодні ведуться розробки для захисту інформації від зчитування по оптико-електронних каналах [6-12].

Наприклад, проводяться дослідження ефективності сонцезахисних плівок для захисту акустичної інформації від перехоплення за допомогою лазерних систем акустичної розвідки. [13]. Проведено дослідження напівактивного блокування спроб оптичного спостереження різними сигналами механічних збурень, викликаних п'єзокерамічним датчиком. Були також проведені дослідження з використання багатопарових діелектричних плівок [14, 15] а також вивчення характеристик відбиття світлового променя [16,17].

У 2020 році ця вразливість набула серйозного поширення. Техніка, яку експерти назвали "Lamphone" [18], заснована на тому, що об'єкти вібрують під час стиснення звукової хвилі. Вібрації створюють невеликі спалахи в постійному потоці світла. За словами дослідників, якщо використовувати досить потужні датчики, ці зміни в освітленні можна виявити, а потім реконструювати звукові хвилі, які безпосередньо можуть впливати на поверхню колби.

Стрімко набуває популярності така вразливість, як канал ВЧ нав'язування (для зняття мовної інформації).

Канали ВЧ нав'язування є різновидом параметричних каналів витоку акустичної інформації на ОІД, подібно параметричним каналам витоку інформації, що обробляється ОТЗС, засновані на впливі противника на параметри схем ТЗС та інші провідні матеріали що розташовані на ОІД, знаходяться в полі акустичного сигналу та приводяться до вібрації. Такими матеріалами можуть бути будь-які струмопровідні матеріали: музичні інструменти, годинники з боєм, навіть звичайний цвях, який має резонансну частоту в мовному діапазоні.

Якщо на струмопровідний елемент впливати високочастотним електромагнітним полем, то в ньому виникатимуть електричні ВЧ струми. Якщо цей самий предмет буде знаходитись і під дією акустичного тиску та вібруватиме, в ньому, як вже розглядалось, коливатиметься власний опір, та здійснюватиметься його модуляція ВЧ струмом. Останній в свою чергу перевипромінюватиме ВЧ поле та модульований небезпечний мовний сигнал, який легко може розповсюджуватись на досить великі відстані за межі

контрольованих зон та об'єктів інформаційно-телекомунікаційних діяльностей і в такому випадку буде перехоплений противником. Окрім цього, такий спосіб перехоплення дозволяє досить нескладно реалізувати перехоплення з когерентним прийомом, який як відомо, забезпечує максимум завадостійкості.

Окрім вище зазначених досліджень, почали проводитись експериментальні спроби нанесення різноманітних напилених плівкових покриттів на вікна автомобілів, транспорту спеціального призначення, броньованої техніки, фіюзеляжів літаючих засобів, різноманітних відбиваючих елементів бпЛА, дронів та навіть турелей. Принцип лазерного опромінення впливає на даний транспорт, техніку та літаючі засоби фактично аналогічно до вже вказаних вище нами конструкцій зі скла і т.д. Проте в даному випадку лазерне опромінення таких засобів в більшості випадків ведеться для наведення, ураження, або знищення. Принцип дії тут фактично такий самий як і у лазерних мікрофонів, проте нас вже не цікавить акустичне поле що може бути викликане різними шумами, розмовами і т.д. Конкретну зацікавленість становить сам об'єкт, оскільки першочергова ціль це виявлення, наведення та ураження тої чи іншої цілі, яку ставить собі противник.

Перехоплення акустичної інформації можливе не тільки в повітрі, а й під час підводного прослуховування [19]. Тому протидія перехопленню акустичної інформації є надзвичайно актуальною.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Для досліджень використовували найбільш розповсюджене в Україні скло.

Скло віконне листове поліроване марок М1, М4, виготовлене за флоат-технологією (ЗАТ "Лисичанський склозавод" Пролетарій). Коефіцієнт пропускання світла - 0,89, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,83, поглинання сонячної енергії - 0,11, коефіцієнт теплопередачі - 5,8 Вт/м<sup>2</sup> [20].

Флоат-скло компанії "Saint-Gobain Glass" марки SGG Diamant (Франція). Коефіцієнт світлопропускання - 0,91, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,88, поглинання сонячної енергії - 0,02 [21].

Флоат-скло з магнетронним покриттям компанії «Guardian» марки ExtraClear (США). Коефіцієнт світлопропускання - 0,81, відбивання - 0,12, пряме пропускання сонячної енергії - 0,89, поглинання сонячної енергії - 0,16 [22].

Euroglas Eurofloat - скло без покриття компанії Euroglas (Німеччина). Коефіцієнт світлопропускання - 0,89 - 0,91, відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,83 - 0,87, поглинання сонячної енергії - 0,05 - 0,10 [23].

Pilkington Optifloat - флоат-скло компанії по виробництву листового скла NSG Group, що працює під брендом Pilkington (Великобританія). Коефіцієнт світлопропускання - 0,75, відбивання - 0,07, пряме

пропускання сонячної енергії - 0,71, поглинання сонячної енергії - 0,44 - 0,10 [24].

Orionglass – найновітніше, листове, безпечне (загартоване) скло компанії Євроглас (Україна). Коефіцієнт світлопропускання - 0,89 , відбивання - 0,08, пряме пропускання сонячної енергії - 0,11 , поглинання сонячної енергії - >25%, коефіцієнт теплопередачі - 5,8 Вт/м<sup>2</sup> [25].

В даній роботі в якості напилювача було обрано діоксид гафнію, оскільки його показник заломлення

набагато більший, ніж у скла (1,9 - 2,07) [26], він є стійким до зовнішніх впливів та широко використовується в якості інтерференційного покриття для оптики.

Аналіз з літературних джерел дозволив сформулювати таблицю 1, де представлено характеристики найбільш поширених оксидів, які застосовуються при напиленні захисних та інтерференційних покриттів, що відповідно мають високі показники заломлення, тобто відбивання.

Таблиця 1

Оксиди, які застосовують при напиленні захисних покриттів

Назва	Форма випуску і діаметр (мм)	Показник заломлення	Область прозорості, мкм
Алюміній оксид для вакуумного випаровування	гранули 1-10 таблетки Ø 12-25	1,63	0,25-7
Церій (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	1,96	0,4-12
Європій оксид для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,75	0,25-9
Гафній (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	1,98	0,2-12
Індій (III) - олово (IV) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø12-25	1,80	0,35-9
Магній оксид для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,70	0,25-8
Ніобій (V) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	2,15	0,28
Кремній (IV) оксид для вакуумного випаровування	гранули 1-10 таблетки Ø 12-25	1,45	0,2-9
Тантал (V) оксид для тонкошарової оптики	таблетки Ø 12-25	2,10	0,3-8
Титан двоокис для оптичних цілей	таблетки Ø 12-25	2,30	0,39-10
Трій оксид для вакуумного випаровування	таблетки Ø 12-25	1,70	0,25-9
Цирконій (IV) оксид для оптичних покриттів	таблетки Ø 12-25	2,0	0,35-7

### Мета та постановка завдання

Нами запропоновано використання захисних плівок з високою відбиваючою здатністю, що ускладнює або робить неможливим зняття інформації оптичним методом. Але крім захисних плівок можна використовувати і скло з спеціальним відбиваючим напиленням. В якості показника захищеності було вибрано коефіцієнт відбиття лазерного променя від скла.

Метою роботи стало дослідження коефіцієнту відбивання скла з напиленим одношаровим покриттям діоксиду гафнію за допомогою спектральних характеристик.

### Виклад основного матеріалу

#### Властивості спектральних характеристик

Спектральний аналіз – сукупність методів визначення складу (наприклад, хімічного) об'єкта, заснований на вивченні спектрів взаємодії речовини з випромінюванням: спектри електромагнітного випромінювання, радіації, акустичних хвиль, розподілу за масою та енергією елементарних частинок та інше. В нашій роботі напилення діелектричного покриття здійснювалось з допомогою установки вакуумного напилення фірми TORR (USA) [17] при вакуумі 10-1 мм. рт. ст.  $1.5 \cdot 10^{-4}$  Torr при обертанні підкладок з швидкістю обертання 20-40 об/хв. Для визначення зміни коефіцієнта відбивання покриття в процесі напилення використовували оптичний монітор Dyn-optic Model 590 [28].

Дана задача полягала у виготовленні покриття, яке збільшить коефіцієнт відбивання на довжинах хвиль 600 - 1100 нм на скляній підкладці з показником заломлення  $n=1,45$ .

Товщина шару  $\text{HfO}_2$  товщиною в 100 нм була розрахована з допомогою програми Berechnung und Optimierung von dielektrischen Spiegeln – Version 0.22 (c) Arnold Stark. В процесі напилення проводився контроль коефіцієнта відбивання (рис. 1) з допомогою оптичного монітора DYN-OPTICS, який при використанні АЦП (аналого-цифрового перетворювача) дає змогу в реальному часі спостерігати зміну коефіцієнту відбивання під час напилення плівки.

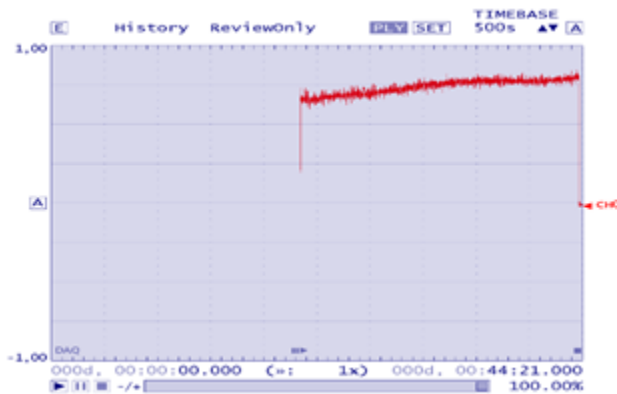


Рис. 1. Графік величини коефіцієнту відбивання в процесі напилення плівки

Режими електронно-променевого розпилювання:

- струм розжарення катода  $I_{кат}=40$  А;
- струм емісії електронного пучка  $I_{ем}=120$ мА;
- прискорююча напруга  $U=9$  кV.

Спектральний аналіз скла проведено на спектрофотометрі Shimadzu UV-3600, який дозволяє провести вимірювання спектра отриманих плівок в режимі відбивання і пропускання в діапазоні хвиль від 300 до 1500 нм. [29, 30]. Залежності отримували за допомогою програмного забезпечення UVProbe.

Спектральні характеристики коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття різних зразків скла мають свої показники (рис. 2-6).

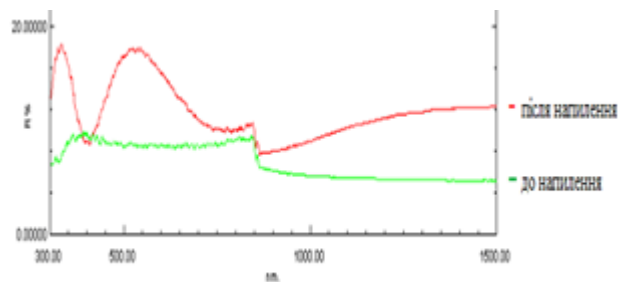


Рис. 2. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Euroglas Eurofloat 4мм

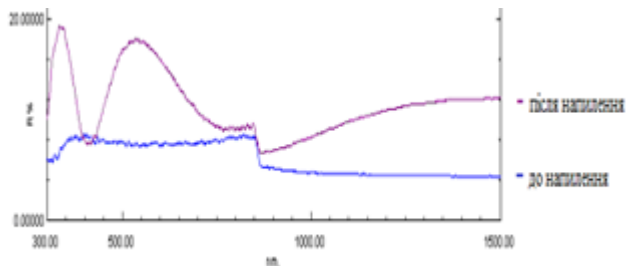


Рис. 3. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Guardian float Guard 6мм

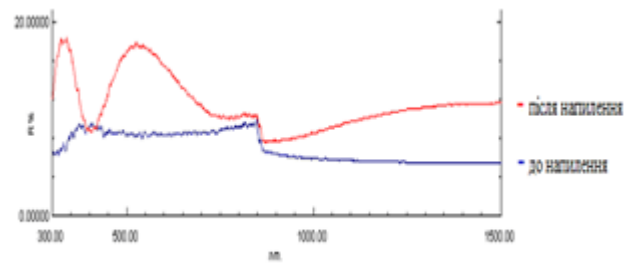


Рис. 4. Спектральна характеристика коефіцієнта відбивання напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Пролетарій М1 4мм

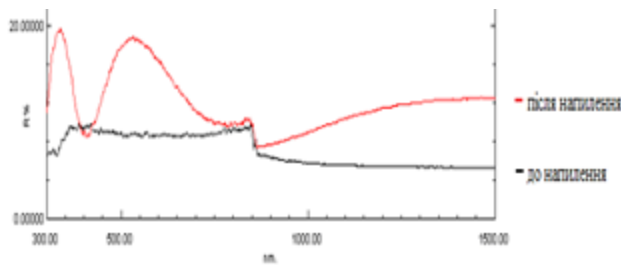


Рис. 5. Спектральна характеристика коефіцієнта відбиття напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Pinkilgton Optifloat 4мм

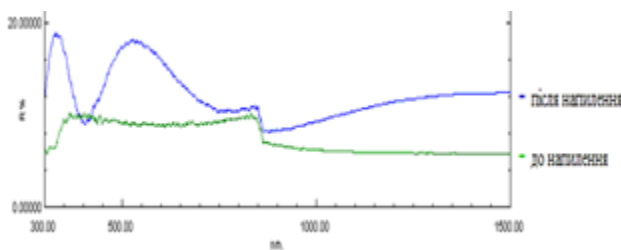


Рис. 6. Спектральна характеристика коефіцієнта відбиття напиленого одношарового відбиваючого покриття скла Saint-Gobain Diamant 3мм

З отриманих спектрів (рис. 2 - 6) видно, що на спектрограмах коефіцієнта відбиття спостерігається наявність двох максимумів в зонах порядку 300 - 350 нм та 520 - 570 нм. Ці максимуми більшою мірою спричинені наявністю напиленого одношарового відбиваючого покриття на основі оксиду гафнію.

В зонах цих максимумів спостерігається максимальне зростання коефіцієнту відбиття порівняно зі спектрами чистого скла. Як видно з цих спектрів, перший максимум досягається за рахунок синергетичного ефекту взаємодії скла і напиленої речовини. На перших порах цей ефект приводить до різкого підвищення коефіцієнта відбиття в порівнянні з чистим склом, але коли вклад основи (скла) завершується, відбувається різке падіння коефіцієнта відбиття навіть зі зміною оптичних властивостей основи (скла). Це проявляється зменшенням коефіцієнта відбиття напиленого скла в порівнянні з чистим.

Другий максимум в зонах 520 - 570 нм повністю обумовлений нанесеним покриттям на основі оксиду гафнію. З отриманих спектрів (рис. 2 - 6) видно, що коефіцієнт відбиття скла з напиленою плівкою при певних довжинах хвиль ( $550 \pm 20$  нм) зростає майже в два рази в порівнянні із спектрами чистого скла.

Отже, провал в зонах 800 - 900 нм зумовлений перш за все процесами, що відбуваються в основі (чистому склі). В цьому випадку синергетичний ефект, тобто взаємовплив плівки і основи, не спостерігається.

З отриманих графіків видно, що коефіцієнт відбиття скла з напиленою плівкою значно вищий в порівнянні із чистим склом. Отже, плівка  $\text{HfO}_2$  задовольняє вимоги, що поставлені у задачі.

#### Перспективи військового призначення та безпека

Напилені на оптичні приціли, біноклі, броньовані вікна БМП та БТР, вікна фюзеляжів винищувачів, гелікоптерів чи транспортних літаків, шоломи пілотів, різноманітні елементи БПЛА, діоксид гафнію може суттєво вплинути на захисні та оптичні властивості даного обладнання та техніки і навіть може змінювати їх оптичні характеристики.

На прикладі літаків та БПЛА, з допомогою нанесення плівки даного діоксиду на скляні, чи відбиваючі елементи можна досягти значного прогресу у захисті від лазерних наведень, котрі безпосередньо направлені для засліплення екіпажів, пілотів, камер спостережень, котрі прикріплені на БПЛА, різноманітних датчиків та радарів, котрі ловлять і перетворюють сигнали і знаходяться на обшивках. Також даний вид діоксиду абсолютно не є метеозалежним і спокійно витримує високі температури, котрі можуть досягатися при польоті на великих швидкостях. Одним із яскравих представників летальної лазерної зброї можна назвати російський лазерний комплекс "Пересвет", основна задача якого є боротьба з повітряними цілями по типу літаків, дронів та БПЛА. Так як відомими недоліками даного комплексу, як і будь якої лазерної зброї, є пряма залежність від погодних умов (туман, дощ, сніг), проте застосування в хороших погодних умовах все ж таки є можливим як вдень, так і вночі, і за різноманітними оцінками становить досить суттєву загрозу літальним апаратам, особливо БПЛА та дронам. Плівки по типу діоксиду гафнію можуть значною мірою повпливати на бойові властивості такого комплексу, оскільки він є дуже чутливим до розсіювання, поглинання або абсорбції лазерного променя. Саме плівкові напилення з діоксидом гафнію можуть забезпечити значне погіршення наведення на наші захищені літальні апарати, оскільки такі плівки значно більше поглинуть лазерне випромінювання і навіть зможуть сильно його розсіяти, що в такому випадку зробить комплекс "Пересвет" значно менш ефективним для ураження повітряних цілей.

На прикладі бойових броньованих машин, бронетранспортерів, та іншої колісної чи гусеничної броньованої техніки, плівка діоксиду гафнію зможе чудово себе проявити у боротьбі проти військових лазерних цілей покажчиків та різноманітних птурів з лазерним наведенням, та ін. летальної зброї, прицілювання якої залежить на пряму від лазерного променя. Одними із яскравих представників лазерної зброї проти такого виду техніки можна назвати російські комплекси "Рефлекс" та його сучасну модифікацію "Корнет". Саме такі сучасні комплекси призначені для знищення як легкої так і важкої броньованої техніки, проте як цілевказівник вони використовують не стару технологію провідів, а нову і сучасну лазерну технологію. Подібно до іншої лазерної зброї, дані комплекси матимуть ті ж самі проблеми з поглинанням та розсіюванням променя лазерного наведення.

На прикладі оптичних прицілів, бусолей, біноклів, та ін. обладнання розвідки та спостереження, нанесення такого покриття може вберегти від навмисних засліплювань, лазерних наведень з далекомірів, указок, тепловізорів та ін. Дивлячись через призми біноклів чи бусолей, попадання лазерного променя безпосередньо у об'єкти не буде нести такого сильного ефекту засліплення і вбереже очі від лазерного випромінювання. Ба більше, дана плівка зі своїми оптичними характеристиками зможе зробити зображення через об'єкти більш чітким та просвітленим.

**Висновки.** Як матеріал для напилення було обрано діоксид гафнію, оскільки його показник заломлення набагато більший, ніж у скла (1,9 - 2,07), він є стійким до зовнішніх впливів та широко використовується в якості інтерференційного покриття для оптики.

Провівши напилення оксиду гафнію на зразки різного скла, встановлено, що одношарове відбиваюче покриття підвищило захисні властивості скла в діапазоні частот 300 - 350, 500 - 700 та 1000 - 1500 нм.

Рекомендовано для підвищення коефіцієнта відбивання та розсіювання використовувати напилення діоксиду гафнію на склі, як захист від лазерного зондування та зчитування інформації у зазначених вище діапазонах.

По-перше, напилення таким елементом як діоксид гафнію являється досить простим завданням, коли мова йде про захист віконного скла від зчитувань засобами ЛСАР, звичайно ж, якщо мати відповідну апаратуру, оскільки такий елемент гарно напилюється як на віконному склі, так і на тонких прозорих плівках, не зважаючи на різноманітних виробників скла та плівок, їх першочергових властивостей та завдань.

По-друге, оскільки з'єднання гафнію з киснем являється неорганічним з'єднанням вони не мають вуглеводного скелета, а значить належать до простих речовин і лягають досить гарно одна на одну. Також це зумовлено тим, що дана сполука складається з атомів і одного елемента.

По-третє, діоксид гафнію є абсолютно безколірним та абсолютно не розчиняється в воді і навіть витримує дуже високі температури, що робить його не тільки сильно витривалим, а і довговічним напилювачем. Якщо мова йде про напилене віконне скло чи плівки, то напилення саме таким елементом забезпечить довговічність, міцність, захист від високих температур і найголовніше, забезпечить абсолютну прозорість віконного скла без будь-яких, навіть найменших натяків на те, що на склі можливо щось нанесено. Тобто неозброєним оком потенційний противник не зможе відрізнити захищене скло діоксидам гафнію від звичайного віконного скла. Скоріш за все, особа може розпочати атаку за допомогою ЛСАР на таке віконне скло, але на його здивування абсолютно не

доб'ється тих результатів, на які очікував перед спробою атаки.

По-четверте, діоксид гафнію використовується як просвітлювальне покриття оптичних деталей. Це означає, що даний напилювач не тільки не робить скло матовим, знебарвленим, менш прозорим і помітним на око, що на нього можливо щось нанесено, а навпаки, підвищує його прозорість та природній блиск за рахунок своїх властивостей просвітлення. В такому випадку це означає, що попадання у приміщення прямого сонячного світла великою мірою може ставати навіть ще кращим, при цьому зовні скло даного приміщення буде здаватись абсолютно звичайним для людського ока і найголовніше – таке скло значно підвищує захисні властивості від лазерів, зчитувачів та лазерних систем акустичної розвідки.

По-п'яте, дане напилення, неважливо чи це плівкове напилення, чи безпосереднє напилення на скло являється значно дешевшим засобом захисту від перехоплення мовної інформації будь-якими сучасними методами що здійснюються не з приміщення, оскільки затрата на виготовлення та нанесення таких покриттів є значно меншою, ніж затрати на розробки та виробництво будь-яких активних засобів захисту у сучасному світі, оскільки вона не потребує жодних електронних, провідникових, та будь-яких інших елементів, що можуть нести значно більші затрати на виробництво.

По шосте, такі плівкові нанесення можуть дуже гарно себе проявляти не тільки на звичайному віконному склі, а й на склі будь-яких транспортних засобів (включаючи літаки, різноманітні літальні апарати, бронетехніку і т.д.) не зважаючи на товщину, цільове призначення, виробника даного скла.

Зрештою, плівкові нанесення з діоксидом гафнію можуть мати величезний спектр застосувань як у цивільному призначенні, так і у військовому, оскільки він має величезний обсяг захисних, оптичних властивостей і навіть може покращувати оптичні характеристики як простого віконного скла, так і військової оптики спеціального призначення. Перевірено, що дані плівки також абсолютно не страждають від погодних умов та високих температур і являються досить зносостійкими. Такі нанесення можуть бути дуже ефективними не тільки від ЛСАР, а й від будь-яких інших лазерних наведень, що відбуваються у різноманітних діапазонах лазерних випромінювань (від 300 до 1500 нм.) що робить дані плівки надзвичайно універсальними і здатними захищати як від зчитування мовної інформації по оптико-електронному каналу, а й захистити різноманітну техніку від лазерних наведень.

#### Список літератури

[1]. Valeriy Dudykevych, Ivan Prokopyshyn, Vasyl Chekurin, Ivan Opirskyy, Yuriy Lakh, Taras Kret, Yevheniia Ivanchenko, Ihor Ivanchenko. A multicriterial analysis of the efficiency of conservative information security

systems // Eastern-european journal of enterprise technologies. Information and controlling system. – Vol 3, No 9(99), pp.6-13, (2019). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.166349>.

[2]. Gergely Takacs, Jakub Otčenaš, Jan Vachalek, Boris Rohal'-Ilkiv. Modal response-based technical countersurveillance measure against laser microphones. *Journal of Vibroengineering*, 2016, vol. 18, Issue 5, Mode of access: <https://www.jvejournal.com/article/16943>.

[3]. Security of the digital transformation. Shanim A., Computers and Security. Open access. Volume 108. September 2021. Article number 102345. ISSN 01674048/ DOI 10.1016/j.cose.2021.102345.

[4]. Dudykevych Valeriy, Berezuk Bogdan, Dzianyi Nazar, Garanuk Petro, Rakobovcuk Larysa. Modern technologies analysis of protection of language information from laser removing // *Захист інформації і безпека інформаційних систем: матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 30-31 травня 2019 р.)*. 2019. С. 132-133.

[5]. Infrared radiation. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://uk.wikipedia.org/wiki/96%D0>.

[6]. Laser-sound: optoacoustic transduction from digital audio streams / Kaleris K., Stelzner B., Hatziantoniou P., Trimis D., Mourjopoulos J. // *Scientific reports*. Open access. Vol. 11, issue №1. December 2021. Article number 476.

[7]. Breakthrough instruments and products PhotoSonus M+ laser for photoacoustic imaging / Juronis A., Jasinskas M. // *Review of scientific instruments*. Open access. Volume 92, Issue 5, 1 May 2021, Article number 059502. ISSN 00346748/ DOI 10.1063/5.0053559.

[8]. Test and analysis of window vibration for anti-laser-eavesdropping / Zeng U., Pan B., Cao Y., Ai H. // *Applied acoustics*. Volume 176. May 2021, Article number 107871. ISSN 0003682X / DOI 10.1016/j.apacoust.2020.107871.

[9]. Listening with curiosity-tracking the acoustic response of portable laser ablation. Kradolfer S., Heutschi K., Koch J., Gunther D./ *Chimia*. Open access. Volume 75, Issue 4, Pages 300-304, April 2021. ISSN 00094293/ DOI 10.2533/Chimia.2021.300.

[10]. Wu and S. Haruyama, "Real-time audio detection and regeneration of moving sound source based on optical flow algorithm of laser speckle images," *Opt. Express* 28, pp. 4475-4488 (2020).

[11]. Liyan Li, Hualin Zeng, Yuze Zhang, Qingshan Kong, Yan Zhou, and Yuliang Liu, "Analysis of backscattering characteristics of objects for remote laser voice acquisition," *Appl. Opt.* 53, 971-978 (2014).

[12]. Molebny V., Steinvall O. (2013) Laser Remote Sensing: Velocimetry Based Techniques. In: Tuchin V. (eds) *Handbook of Coherent-Domain Optical Methods*. Springer, New York, NY.

[13]. A. Horev and A. Savin, "Efficiency Research of Sun Protection Window Films for Speech Information Protection from LEAKAGE by Optoelectronic Channel,"

2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), 2021, pp. 2335-2339, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.939-6253.

[14]. Sen Taner. Reflection Properties of a Gaussian Laser Beam from Multilayer Dielectric Films. Master's Thesis. Urla Izmir, Turkey 2009. 97 p.

[15]. D.O. Smith (1965) Magneto-optical Scattering from Multi-layer Magnetic and Dielectric Films, *Optica Acta: International Journal of Optics*, 12:1, 13-46, DOI: 10.1080/713817902.

[16]. J. Poliak, P. Pezzeri, E. Leitgeb and O.Wilfert, Analytical Expression of FSO Link Misalignments Considering Gaussian Beam Institute of Radio Electronics, Brno University of Technology, Purkyova 118, 612 00 Brno, Czech Republic Institute of Microwave and Photonic Engineering, Graz University of Technology, Inffeldgasse 12, Graz, Austria NOC/OC&I 2013, ISBN: 978-1-4673-5822-4.

[17]. Krenar Sh. Rexhepi. Reflection-Analysis on Different Types of LightBeams for Short Distances. Master's Thesis, Institute of Microwave and Photonic Engineering Graz University of Technology, Austrian, 2014. 103 p. [Electronic resource]. Mode of access: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a750e93c5b&location=browse>.

[18]. Nassi, B., Pirutin, Y., Shamir, A., Elovici, Y., & Zadov, B. (2020). Lamphone: Real-Time Passive Sound Recovery from Light Bulb Vibrations. *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, 2020, 708. <https://eprint.iacr.org/2020/708.pdf>.

[19]. Gao, Y., Song, J., Li, S. *et al.* Hydrogel microphones for stealthy underwater listening. *Nat Commun* 7, 12316 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms12316>.

[20]. Ploretaryi [GOST 111-90], [Electronic resource]. Mode of access: <http://proletarij.com.ua/Ly-sychansk-glass-factory-Proletary>, <http://ukrglass.info/Glass-of-Ukraine>.

[21]. Saint Gobain glass, [Electronic resource]. Mode of access: <http://uk.saint-gobain-glass.com/content/sgg-diamant%20AE-product-brochure>. SGG DIAMANT® Product Brochure.

[22]. Glass Time. Technical Manual. Publisher: GUARDIAN Europe Dudelange/ Luxemburg, 2013. p. 218]. [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.guardian.com/europe/index.htm>.

[23]. [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.euroglas.com>, EUROGLAS. Products and data. – Publisher: EUROGLAS. – Butzberg, 2010, p. 161].

[24]. [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.pilkington.com/>, Pilkington Glass Handbook. Publisher: Nippon Sheet Glass Co. Ltd. 2010. P. 200.



[25]. [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.orionglass.com.ua/>.

[26]. [Electronic resource]. Mode of access: <https://luminophor.ru/catalog/plenkoobrazuyushchie-materialy/oksidy/gafniy-iv-oksid/>.

[27]. Installation of a vacuum spraying [Electronic resource]. Mode of access: [http://www.goldenage.kiev.ua/nitrid\\_2.htm](http://www.goldenage.kiev.ua/nitrid_2.htm).

[28]. Optical monitor Dyn-optic Model 590 [Electronic resource]. Mode of access: <http://dynoptics.com/?product=model-590-optical-monitor>.

[29]. Two-beam spectrophotometer Shimadzu UV-3600 [Electronic resource]. Mode of access: <http://shvaiko.ru/?p=670>.

[30]. Spectrophotometer UV-3600 [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.analyt.ru/catalog/element.php?ID=946>.

## УДК 661.1.056:546.832

*Rakobovchuk I., Dzianyi N., Antonevych M. Protective characteristics of films from laser acoustic reconnaissance systems on the example of a single-layer reflective coating of hafnium dioxide*

**Abstract.** The leakage of confidential information is considered one of the most common problems in the fight against professional espionage. For this, various methods of protecting information through all possible channels of its leakage have been developed for decades. One of the ways to ensure information security is the detection and timely localization of possible technical channels of acoustic information leakage. In this work, the reflection coefficient of glass with a sprayed single-layer coating of hafnium dioxide was studied using spectral characteristics. The coefficient of reflection of the laser beam from the glass was chosen as an indicator of security. In addition to protective films, it is suggested to use glass with a special reflective coating. Hafnium dioxide was chosen as the atomizer, as its refractive index is much higher than that of glass. Sputtering of the dielectric coating was carried out using a TORR (USA) vacuum sputtering unit. Spectral analysis of glass was carried out on a Shimadzu UV-3600 spectrophotometer, which allows you to measure the spectrum of the obtained films in the reflection and transmission mode in the wave range from 300 to 1500 nm. It was established that the reflection coefficient of glass with a sprayed film is significantly higher compared to pure glass. Therefore, the HfO<sub>2</sub> film satisfies the requirements set out in the problem. It is recommended to use sputtering of hafnium dioxide on the glass to increase the reflection coefficient as protection against laser reading of information in the ranges of 300 - 350, 500 - 700, and 1000 - 1500 nm.

**Key words:** laser, laser acoustic reconnaissance systems, information leakage channel, glass, coatings, films.

**Ракобовчук Лариса Маратівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра захисту інформації, Національного університету «Львівська політехніка».

**Larysa Rakobovchuk**, PhD of Technical Sciences, docent, Department of Information Security, Lviv Polytechnic National University.

**Дзяний Назарій Ростиславович**, асистент, кафедра захисту інформації, Національного університету «Львівська політехніка».

**Nazarii Dzianyi**, assistant, Department of Information Security, Lviv Polytechnic National University.

**Антоневич Марія Святославівна**, студентка, кафедра захисту інформації, Національного університету «Львівська політехніка».

**Maria Antonevych**, student, Department of Information Security, Lviv Polytechnic National University.

---

Отримано 3 березня 2023 року, затверджено редколегією 27 березня 2023 року

---